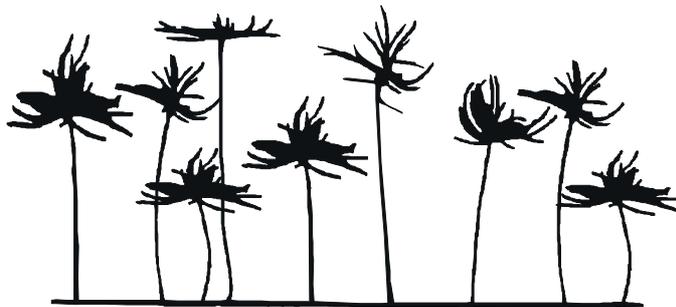


# **Die Technik der Waldverjüngung von Wäldern mit Ablösung der Generationen**

## **Skript zur Vorlesung Waldbau II**

J.-Ph. Schütz



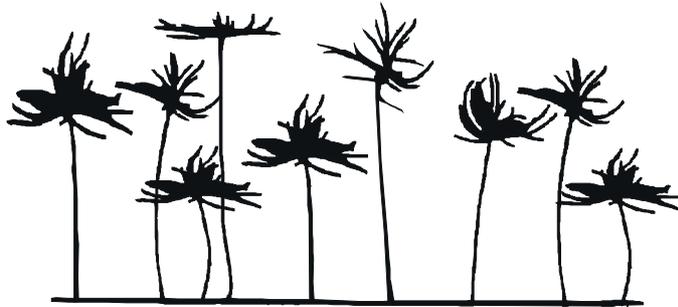
Professur Waldbau  
ETH Zentrum  
8092 Zürich  
2002



# **Die Technik der Waldverjüngung von Wäldern mit Ablösung der Generationen**

## **Skript zur Vorlesung Waldbau II**

J.-Ph. Schütz



Professur Waldbau  
ETH Zentrum  
8092 Zürich  
2002



## INHALTSVERZEICHNIS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. EINFÜHRUNG .....</b>   | <b>3</b>  |
| 1.1 Die zwei Grundformen der Waldentwicklung (Sylvigenese).....                        | 3         |
| 1.2 Charakterisierung der flächenweisen Walderneuerung .....                           | 4         |
| <b>2. CHARAKTERISIERUNG DER VERJÜNGUNGSPHASE .....</b>                                 | <b>6</b>  |
| 2.1 Abgrenzung der Verjüngungsfläche .....   | 7         |
| 2.2 Die physiologische Gesetzmässigkeit der Alterung .....                             | 8         |
| 2.3 Die Verjüngung im Urwald.....  | 10        |
| 2.3.1 Lebensdauer (Ontogenese).....  | 10        |
| 2.3.2 Erneuerungsabläufe .....   | 12        |
| 2.3.3 Dauer des Lebenszyklus und Licht am Boden .....                                  | 14        |
| 2.4 Erkennungsmerkmale der Alterung.....   | 15        |
| 2.5 Konsequenzen für die Walderneuerung.....   | 16        |
| 2.6 Naturnaher Waldbau und Verjüngung.....   | 17        |
| <b>3. ENTSCHEIDUNG DER EINLEITUNG DER VERJÜNGUNG .....</b>                             | <b>19</b> |
| 3.1 Prinzipien der wertbezogenen Leistung oder Wertproduktivität .....                 | 19        |
| 3.2 Kriterien für die Festlegung des ökonomisch optimalen Verjüngungszeitpunktes ..... | 22        |
| 3.2.1 Ausschöpfung der Ertragsfähigkeit.....   | 22        |
| 3.2.2 Einflussfaktoren auf die aktuelle Wertproduktivität .....                        | 24        |
| 3.2.3 Faktoren der Holzwertung .....   | 26        |
| 3.2.4 Kalkulierte, theoretische, optimale Produktionszeiträume .....                   | 28        |
| 3.2.5 Verjüngungszeitpunkt bei nicht optimalen Bestockungen .....                      | 29        |
| 3.2.6 Methoden der Erfassung des Ertragsvermögens .....                                | 30        |
| 3.3 Waldbaulicher und ökonomischer Verjüngungszeitpunkt.....                           | 31        |
| 3.4 Kriterien zur konkreten Festlegung der Verjüngungsdringlichkeit.....               | 32        |
| 3.5 Bedeutung der Nachhaltigkeit .....   | 33        |
| <b>4. DIE MODALITÄTEN DER NATURVERJÜNGUNG .....</b>                                    | <b>35</b> |
| 4.1 Zielhierarchie.....  | 35        |
| 4.2 Verjüngung und Biodiversität .....   | 36        |
| 4.3 Waldbau und ökosystemgerechte Bewirtschaftung .....                                | 37        |
| 4.4 Die Verjüngungstechnik .....   | 37        |
| <b>5. DIE WAHL DER VERJÜNGUNGSART .....</b>  | <b>38</b> |
| 5.1 Vermehrungsbiologische Grundlagen der Waldverjüngung.....                          | 39        |
| 5.1.1 Fruktifikationen .....   | 39        |
| 5.1.2 Die Keimruhe oder Dormanz .....  | 43        |
| 5.1.3 Verbreitung der Samen.....   | 44        |
| 5.2 Genökologische Betrachtungen bei der Wahl der Verjüngungsart .....                 | 45        |
| 5.2.1 Wahl geeigneter Provenienzen.....  | 46        |
| <b>6. VERJÜNGUNGSÖKOLOGIE.....</b>   | <b>48</b> |
| 6.1 Ökologie der Ansamlungsphase .....   | 48        |
| 6.1.1 Bedeutung und Einflussfaktoren der Mortalität.....                               | 48        |
| 6.1.2 Wirkung der adventiven Vegetation.....   | 50        |
| 6.1.3 Licht als Standortsfaktor .....  | 54        |
| 6.1.4 Lichtbedürfnisse der Forstpflanzen für die Ansamlungsphase.....                  | 59        |
| 6.1.5 Anzustrebende Besiedlungsdichte .....  | 61        |
| 6.2 Ökologie der Verjüngungsstellung .....   | 61        |
| 6.2.1 Übersicht der Unterschiede der Verjüngungsstellung .....                         | 62        |
| 6.2.2 Wirkung der Verjüngungsstellungen auf den Faktor Feuchtigkeit .....              | 63        |

|                       |  |            |
|-----------------------|--|------------|
| 6.2.3                 | Wirkung der Verjüngungsstellung auf den Faktor Licht .....                         | 66         |
| 6.2.4                 | Wirkung der Verjüngungsstellung auf den Faktor Fröste.....                         | 70         |
| 6.2.5                 | Beschädigung durch höhere Tierarten.....   | 71         |
| 6.2.6                 | Feldbeobachtungen .....  | 74         |
| 6.2.7                 | Anwuchssicherung durch Pflegemassnahmen (Jungwuchspflege).....                     | 79         |
| 6.2.8                 | Schlussfolgerungen .....   | 84         |
| <b>7.</b>             | <b>VERJÜNGUNGSFORTSCHRITT .....</b>  | <b>86</b>  |
| 7.1                   | Wuchs der Jungpflanzen im Schatten .....   | 86         |
| 7.2                   | Verjüngung von Lichtbaumarten.....   | 88         |
| 7.2.1                 | Arbeit in der Kleinlochstellung.....   | 89         |
| 7.2.2                 | Verwendung von Vorbau- und Treibholzarten .....                                    | 89         |
| 7.3                   | Mischverjüngungen .....  | 91         |
| 7.4                   | Verjüngungstempo .....   | 92         |
| 7.4.1                 | Langsame Ablösung der Generation mit langer Überlappung der Generationen.....      | 92         |
| 7.4.2                 | Langsame Verjüngung von Mischbestockungen .....                                    | 97         |
| 7.4.3                 | Die Technik des Loshiebes.....   | 98         |
| 7.4.4                 | Der Überhaltbetrieb.....   | 98         |
| 7.5                   | Räumlich-Zeitliches Gefüge .....   | 99         |
| 7.5.1                 | Räumliche Ordnung.....   | 99         |
| 7.5.2                 | Staffelung der Verjüngungshiebe.....   | 100        |
| 7.5.3                 | Verjüngungszeiträume .....   | 103        |
| <b>8.</b>             | <b>WAHL DER HIEBSARTEN UND HIEBSFORMEN .....</b>                                   | <b>105</b> |
| 8.1                   | Wind .....   | 105        |
| 8.2                   | Geländeform.....   | 112        |
| 8.2.1                 | Geländeform und Licht.....   | 112        |
| 8.2.2                 | Wirkung der Hangneigung auf den Lichtfaktor.....                                   | 113        |
| 8.2.3                 | Geländeform und Holzabfuhr.....  | 114        |
| 8.3                   | Prägung der Landschaft .....   | 117        |
| 8.4                   | Bedeutung von grossflächigen Endhieben auf nicht vermarktbar soziale Leistungen .. | 119        |
| 8.4.1                 | Schutzfunktionen .....   | 119        |
| 8.4.2                 | Erholung.....  | 120        |
| 8.4.3                 | Naturwerte .....   | 120        |
| <b>9.</b>             | <b>KONZEPTION DER VERJÜNGUNG IM SCHWEIZERISCHEN FEMELSCHLAG .....</b>              | <b>124</b> |
| 9.1                   | Zielhierarchie .....   | 124        |
| 9.2                   | Verjüngungsmodalitäten.....  | 126        |
| 9.3                   | Biologische Rationalisierung .....   | 127        |
| <b>LITERATUR.....</b> |  | <b>128</b> |

---

## 1. EINFÜHRUNG

---

### Empfohlene Literatur:

Als Standardwerke empfohlene Literatur zur natürlichen Waldverjüngung: Burschel und Huss (1987), für Italienischsprechende: Piussi (1994)

### Begriffliche Präzisierung:

In der Fachliteratur werden die Begriffe **Verjüngung** und **Erneuerung** verwendet. Der Begriff Verjüngung charakterisiert sowohl die Tätigkeit der Generationsablösung wie auch ihr Ergebnis, nämlich das Kollektiv von verjüngten Jungbäumen. Unter dem Begriff Erneuerung wird nur der Prozess der Generationsablösung im Wald verstanden.

### 1.1 DIE ZWEI GRUNDFORMEN DER WALDENTWICKLUNG (SYLVIGENESE)

Wie auch im Naturwald kennt der Waldbau zwei Grundformen der Sylvigenese, im Grossen und Ganzen gekennzeichnet durch die Art und Weise der Erneuerung und der Entwicklung, nämlich:

1. Die spontane kontinuierliche Erneuerung und Verselbständigung der Produktion, wie sie im perfekten ungleichförmigen Wald oder Plenterwald erscheint, eine Form ohne nennenswerte Unterbrechung des Waldgefüges. Solche Formen mit vertikalem Mischungsprinzip, wie namentlich Plenterung, Mittelwaldbetrieb und lichter Hochwald werden im Skript „Die Plenterung und ihre unterschiedlichen Formen“ (1999) bzw. in den Textbüchern „Sylviculture 2“ (Schütz, 1997), „Der Plenterwald“ (Schütz, 2001) behandelt.
2. Die Walderneuerung mit klarer Ablösung der Generationen und Entwicklung im Rahmen eines Kollektivs (wie z.B. im Femelschlagsystem) ist Inhalt dieses Skriptes.

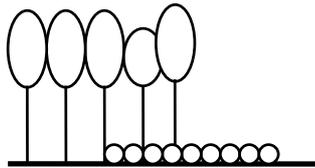
Als Regelprinzip gilt im Plenterwald der Lichteinfall im Bestand, welcher insbesondere für die unteren Bestandepartien minimal ist und die ganze Erneuerung steuert und somit für deren nachhaltigen Aufbau entscheidend ist. Für die flächenweise Walderneuerung gilt als Regelprinzip die Konkurrenz innerhalb der Kronenschicht einer Kohorte (gleichaltrige Elemente einer Bestockung). Damit verbunden ist der Wettbewerb um den Zugang zum direkten Licht entscheidend. Diese Form der Konkurrenz erzeugt auch günstige so genannte erzieherische Wirkungen (Astreinigung, Stammform u.a.m.).

Der Vorteil des Plentersystems liegt in der Kontinuität der Leistungen und Verselbständigung des Waldwachstums (Minimalisierung der seitlichen Konkurrenz). Bei der flächenweisen Erneuerung liegen die Vorteile in erzieherischen Wirkungen.

## 1.2 CHARAKTERISIERUNG DER FLÄCHENWEISEN WALDERNEUERUNG

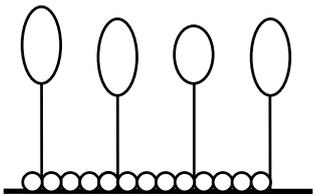
Die Walderneuerung wird durch die Verjüngungsart (Natur- oder Kunstverjüngung) charakterisiert, sowie durch die Stellung der Junggeneration gegenüber der alten und der zeitlich räumlichen Abfolge des Verjüngungsfortschrittes, welches ihr Tempo und das räumliche Muster prägt.

Die Grundformen der Verjüngungsstellung (später Hiebsarten genannt) sind folgende:



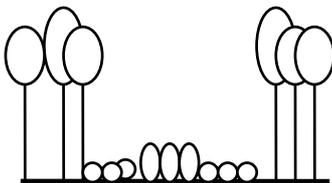
Saumstellung:

Die Erneuerung erfolgt im inneren wie im äusseren Saum des Mutterbestandes



Schirmstellung:

Die Junggeneration befindet sich unter dem regelmässigen Schirm des Altbestandes



Femelstellung (oder Lochstellung):

Die Erneuerung erfolgt im Lichtschacht einer Öffnung des Altbestandes



Kahlstellung:

Keine Beschirmung durch den Altbestand

Mit diesen Grundstellungen sind beliebig viele Kombinationen von verschiedener räumlicher und zeitlicher Ausprägung bzw. Grösse möglich.

Mögliche Einteilung der Verjüngung:

### 1. Nach Art der Vermehrung

- **vegetativ:** Stockausschläge, Wurzelbrut (Ableger)
- **generativ:** mit Samen; es entstehen sogenannte Kernwüchse

Früher wurden die Betriebsarten Hochwald (aus Kernwüchsen) und Niederwald (aus Stockausschlägen) unterschieden. Heute gelten andere Kriterien für die Charakterisierung und Festlegung der Betriebsarten, nämlich im Wesentlichen die Besonderheiten der Erneuerung.

## 2. Nach Verjüngungsart (natürlich oder künstlich)

- **natürliche Waldverjüngung.** Kennzeichnend ist dabei die Technik der Hiebsführung.
- **Pflanzung** (oder Kultur; künstliche Walderneuerung): Im Zentrum steht die Wahl des Pflanzenmaterials, die Mischung der Komponenten und die Pflanzungstechnik.

## 3. Nach Art des Kronenunterbruches beim Altbestand

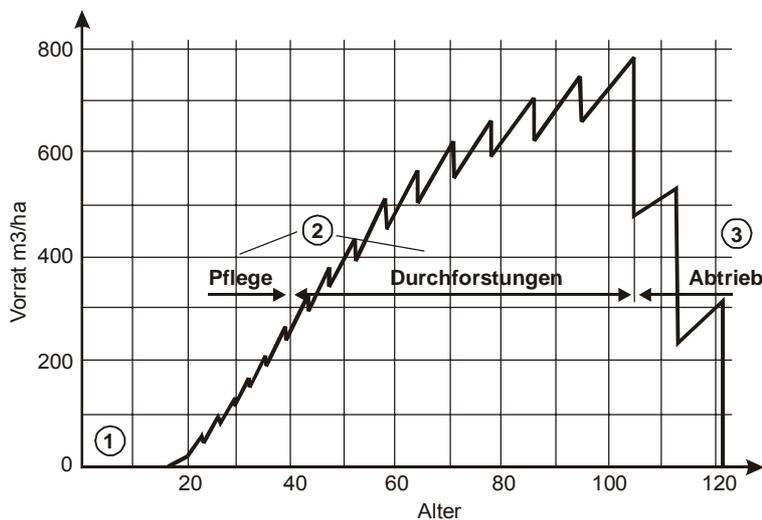
- Systeme mit kontinuierlicher Erneuerung. Plenterung, Mittelwald
- Systeme mit klarer Ablösung der Generationen und kollektiver Erneuerung

In früheren Waldbauwerken stand die Erneuerungstechnik im Vordergrund bzw. prägte sie die möglichen Systeme (oder Betriebsarten). Man unterschied zwischen Saumschlag-, Schirmschlag- und Kahlschlagbetrieb usw., wenn die entsprechenden Schlagstellungen im System zur Anwendung kamen. Im modernen polyvalenten Waldbau sind die Waldbauziele (z.B. Form der Funktionserfüllung, Baumartenwahl) der Verjüngungstechnik hierarchisch übergeordnet. Die Verjüngungstechnik ist nur ein Instrument. So werden z. B. im so genannten schweizerischen Femelschlagbetrieb alle Hiebsarten nebeneinander angewendet. Diese Befreiung von schematischem Vorgehen wurde von Leibundgut (1949) als Prinzip der **freien Hiebsführung** bezeichnet. (Schütz, 1994, 1997<sup>b</sup>)

## 2. CHARAKTERISIERUNG DER VERJÜNGUNGSPHASE

Grundsätzlich unterscheiden wir im Lebenszyklus eines Waldes drei wichtige Phasen der Bestandesentwicklung (oder des **Produktionszeitraums**, auch **Umtriebszeit** genannt): Eine **Installationsphase**, in welcher der Schwerpunkt bei der Sicherstellung der neuen Generation liegt. Es geht dabei im Grossen und Ganzen um die Jungwuchsphase. Dann eine **Erziehungs- und Ausformungsphase** (Pflege und Durchforstungen) und schliesslich eine Phase der Erneuerung oder der Verjüngung.

Diese **Verjüngungsphase** grenzt sich von der Erziehungsphase primär durch die Absicht der Walderneuerung bzw. der Einleitung der Verjüngung (siehe Abbildung 2.1) ab und weniger durch das Vorhandensein von Verjüngung. Die Verjüngungsphase ist im Vergleich zum Zeitraum der Bestandesentwicklung wesentlich kürzer. Im Falle des Kahlhiebes kann sie 0 Jahre betragen. Im Normalfall dauert sie 10 bis 15 Jahre, bei langsamerem Verjüngungstempo bis 40/50 Jahre.



**Abb. 2.1:** Schematische Darstellung der wichtigsten Phasen der waldbaulichen Behandlung in flächenweise erneuerten Waldsystemen, am Beispiel der Vorratsentwicklung

Phase der Installation ①, Phase der Erziehungs- und Ausformungseingriffe ② (oder Durchforstungsphase) und Verjüngungsphase ③.

Die Erneuerung wird durch sukzessive Eingriffe entsprechend des Aufkommens der Folgegeneration bzw. ihrer Bedürfnisse und ihres Entwicklungszustands sowie den entsprechenden ökologischen Bedürfnissen (an Licht, Wärme, Feuchte) gesteuert. Somit unterscheidet man in der Verjüngungsphase folgende mögliche Hiebe:

Nach funktionellen Kriterien:

- Vorbereitungshieb      Der Bestand wird auf eine gute Fruktifikation oder auf gute Stabilität vorbereitet (Kronenpflege).
- Besamungshieb      Es werden Voraussetzungen für die Keimung und Ansamung der Folgegeneration geschaffen.
- Lichtungshieb(e)      Lichtdosierung für eine optimale Entwicklung der vorhandenen Verjüngung.
- Räumungshieb      Befreiung der Verjüngung und Abschluss des Generationswechsels

NB: Werden einige Bäume der Altgeneration (< 50/ha) bis zur Hiebsreife der Folgegeneration stehengelassen, so spricht man von **Überhalt**(betrieb).

Nach Verjüngungsstellungen:

- Schirmhieb Die Erneuerung erfolgt unter gleichmässiger Öffnung des Kronendaches.
- Saumhieb Die Erneuerung erfolgt am Saum des Altbestandes.
- Femelhieb Die Erneuerung erfolgt im Lichtschacht einer meistens kreisförmigen Öffnung des Kronendaches.
- Schlitzhieb Im Gebirgswald ein Kompromiss zwischen notwendigem Licht und Wärme und Verhinderung übermässiger Schneeablagerung. Auf die Sonnenbahn ausgerichtete, schmale, langezogene Öffnungen (sog. Schlitze). Sie dürfen nie in der Hangrichtung erfolgen (Lawinengefahr).

In der alten Literatur hat man Begriffe wie Dunkelhieb und Lichtungshieb verwendet bzw. einander entgegengesetzt. Dunkelhiebe bezeichneten Durchforstungseingriffe und Lichtungshiebe die Eingriffe der Waldverjüngung. Diese Bezeichnungen sind nicht mehr gebräuchlich.

Eine Charakterisierung der Verjüngungstechnik erfolgt primär durch die Antwort auf die folgenden drei Fragen:

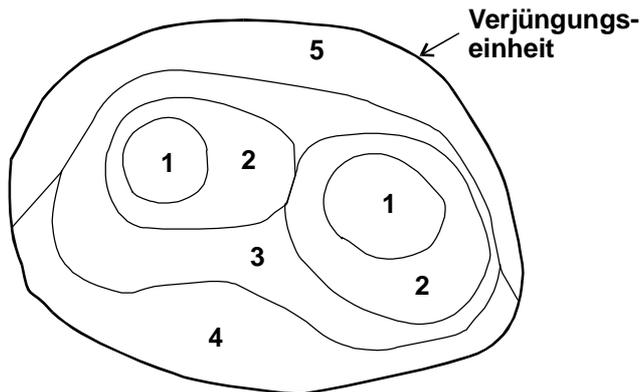
- Wo?  
soll verjüngt werden? Fläche, auf welcher die Verjüngung erfolgt. Verjüngungseinheit in welcher diese Verjüngungsfläche liegt. Wird im Kap. 2.1 behandelt.
- Wann  
soll verjüngt werden? Zeitpunkt der Einleitung der Verjüngung. Er steht in Zusammenhang mit der Analyse der Verjüngungsdringlichkeit. Wird im Kap. 3 behandelt.
- Wie  
soll verjüngt werden? Wahl einer adäquaten Verjüngungstaktik (Idée de Manoeuvre) und Bestimmung der zu wählenden Verjüngungstechnik. Wird in Kap. 7 bis 9 behandelt.

## 2.1 ABGRENZUNG DER VERJÜNGUNGSFLÄCHE

In der ganzen Erziehungsphase bleibt die Referenzfläche für operative Eingriffe immer gleich, weil die waldbaulichen Eingriffe flächendeckend erfolgen und die Bestockung sich in ihrer Form nur geringfügig verändert. Die Referenzfläche ist also der **Bestand** - oder sinngemäss im Jargon der waldbaulichen Planung - die **Bestockungseinheit**. Eine solche Begriffserweiterung rechtfertigt sich, weil der Begriff „Bestand“ definitionsgemäss mit einer minimalen Flächengrösse festgelegt ist. Waldflächen, die kleiner als 0,5 ha sind, sind aber auch für die Waldpflege zu berücksichtigen und entsprechend auszuscheiden.

In der Verjüngungsphase ändert sich diese Situation grundlegend. Es wird nicht auf der ganzen Fläche gleich und gleichzeitig eingegriffen. Die Bestockung wird in ihrer Form und in ihrem Gefüge wesentlich und in kurzer Zeit verändert, weil es zu einem markanten Unterbruch des

Kronendaches kommt. Diese Veränderungen haben auch bezüglich Landschaftsprägung und Gefahren (Stürme) einen nicht unerheblichen Einfluss. Darüber hinaus gilt es, einen Verjüngungsfortschritt anzustreben, dessen Ablauf einer kohärenten räumlichen Ordnung entspricht. Eine Verjüngung muss also auf einer genügend grossen Waldfläche konzipiert werden, welche in der Regel mehrere Bestände miteinschliesst. Andererseits erfolgt der Verjüngungsprozess nicht gleichzeitig und gleichmässig auf der ganzen Fläche, sondern in zeitlich und räumlich gestaffelt fortschreitenden Operationen (siehe Abb. 2.2).



**Abb. 2.2:** Schematische Darstellung der zeitlichen und räumlichen Staffelung der Verjüngungsoperationen im Femelschlagsystem.

Die Nummern entsprechen der zeitlichen Abfolge der Hiebe auf den dazugehörigen Teilflächen.

Die Waldfläche, auf welcher der Verjüngungsfortgang koordiniert und ohne wesentlichen Unterbruch geführt wird, bezeichnet man als **Verjüngungseinheit** oder Verjüngungsfläche (Parzelle). Sie entspricht der Fläche, auf welcher die Verjüngung von Beginn an konzipiert wird. Demgegenüber sind innerhalb dieser Verjüngungsfläche **Teilflächen** ausgeschieden, auf denen gleichzeitig ein Schritt der Verjüngung erfolgt.

## 2.2 DIE PHYSIOLOGISCHE GESETZMÄSSIGKEIT DER ALTERUNG

Physiologisch gesehen kann man bei Baumgewächsen verschiedene Wachstumsphasen im Laufe der ontogenetischen (d.h. altersbedingten) Entwicklung beobachten. Zum Beispiel können auf Grund des Höhenzuwachses vier charakteristische Phasen unterschieden werden, abgegrenzt durch den Wendepunkt der Zuwachskurven (siehe Abb. 2.3), nämlich:

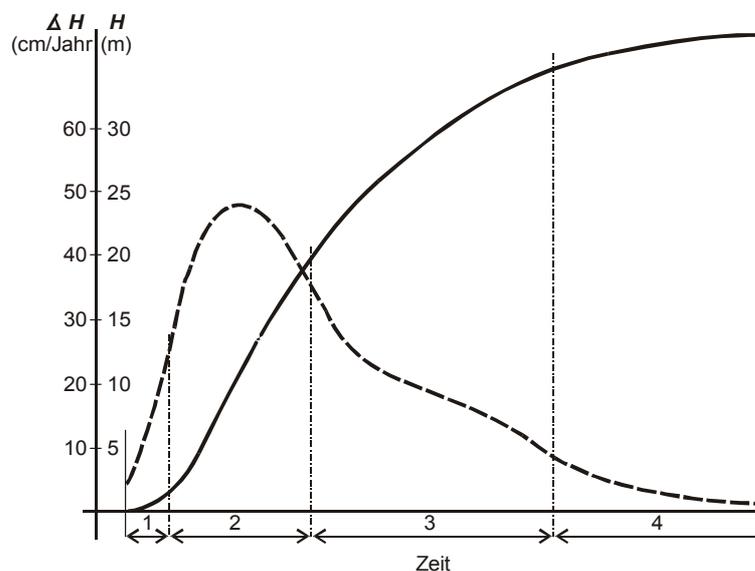
- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1. Jugendphase         | Die ganze Lebenskraft wird für die Behauptung gegenüber der Konkurrenz der Vegetation verwendet, d.h. für die Bildung eines guten Wurzelsystems. Das Höhenwachstum ist noch bescheiden. |
| 2. Hauptwachstumsphase | Die Bäume drängen nach oben. Der Höhenzuwachs kulminiert. Diese Phase wird auch Heranwachsphase (Korpel, 1995) oder Aggradationsphase genannt.  |
| 3. Altersphase         | Weil die Bäume immer mehr Kräfte entwickeln müssen, um das Wasser in immer grössere Höhen zu transportieren, verlangsamt sich die   |

Höhenzunahme. Entsprechend reduziert sich auch der ganze Metabolismus (Stoffwechsel).

#### 4. Vergreisungsphase (Senescenz)

Die Reaktionsfähigkeit gegenüber Pathogenen nimmt ab. Das Wachstum vermindert sich nochmals erheblich.

Die Dauer dieser Phasen sind von Baumart zu Baumart recht unterschiedlich; die Abfolge sowie ihr relatives Verhältnis bleibt gleich. Im Textbuch „Sylviculture 1“ (Schütz, 1990, S. 117-120) wird auf die Gesetzmässigkeit solcher Abläufe hingewiesen wie auch auf die von Backman (1942) formulierten Wachstumsgesetze aufmerksam gemacht.



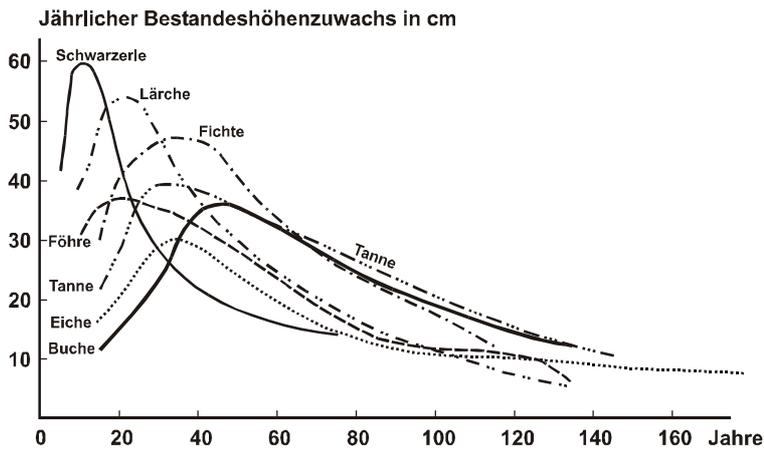
**Abb. 2.3:** Schematische Darstellung der Lebensphasen, dargestellt aufgrund der Entwicklung des Höhenwachstums (durchgehende Linie) bzw. Höhenzuwachses (gestrichelte Linie).

Es geht hier um eine Fichte im Plenterwald von Les Joux, Neuenburger-Jura.

Nach Schütz (1969).

Die Gesetzmässigkeit der Wachstumsabläufe lässt sich für alle Baumarten (eigentlich alle Organismen) verallgemeinern. So zeigte Backman (1942, 1943), dass bei Zugrundelegung einer normierten Skala bzw. wenn die Zeitachse in logarithmischer Einheit betrachtet wird, die Phasen entsprechend einer Gaus'schen Verteilung symmetrisch abfolgen. Kulminationspunkte und Wendepunkte dieser Kurven grenzen die Phasen ab. Sie entsprechen in der Organismenentwicklung bestimmten bemerkenswerten biologischen Erscheinungen (Mannbarkeit, Senescenz, natürlicher Tod). So entstand das **Konzept der biologischen Uhr**, welches besagt, dass die organismische Entwicklung aller Organismen biologisch gleich ist (in relativen biologischen Massstäben), auch wenn sie in physikalischen Zeitmassstäben von sehr unterschiedlicher Dauer ist.

Solche Gesetzmässigkeiten gelten sowohl für Einzelbäume wie auch für ganze Kollektive. So erreichen so genannte Pioniere sehr früh die Kulmination des Höhenzuwachses. Sie werden auch entsprechend früher die Altersgrenzen und den natürlichen Tod erreichen. Baumarten mit mittlerem Entwicklungspotential (Postpioniere oder Dryaden genannt) nehmen eine Zwischenstellung ein, und Baumarten des Schlusswaldes weisen generell einen langsameren Wuchsablauf auf. Abb. 2.4 veranschaulicht diese Gesetzmässigkeiten für einige waldbaulich wichtige Baumarten.



**Abb. 2.4:** Durchschnittlicher Höhenzuwachs von acht wichtigen Baumarten.

Entsprechend den Ertragstafelangaben (nach Mayer, 1977).

Die Gesetzmässigkeiten zwischen dem Zeitpunkt der Kulmination des Höhenzuwachses und dem Niveau dieser Kulmination sind klar ersichtlich.

Die Konsequenzen der Backman'schen Gesetze können für den Waldbau folgendermassen zusammengefasst werden:

- Es scheint, dass die zeitlichen Massstäbe der ontogenetischen Entwicklung der Organismen in einer logarithmischen Dimension erfolgen (die sog. organische Zeit). In physikalischen Zeitgrössen ausgedrückt, beschleunigt sich die Entwicklung mit zunehmendem Alter.
- Jeder Organismus trägt in sich seine eigenen Massstäbe der organischen Zeit und entwickelt sich in der physikalischen Zeit entsprechend unterschiedlich. Dies führt dazu, dass diese Organismen - wenn sie aufeinander wirken - koevolutiv unterschiedlich wirken.
- Phänologische Erscheinungen (z.B. Mannbarkeit, Eintritt der Senescenz, Alterstod) sind Zeichen der organischen Entwicklung und erlauben es, den Entwicklungszustand zu offenbaren (Konzept der biologischen Uhr).

## 2.3 DIE VERJÜNGUNG IM URWALD

### 2.3.1 Lebensdauer (Ontogenese)

Im Urwald erreichen die Bäume recht hohe Lebensalter. Referenz für den Waldbau bezüglich des erreichbaren Alters sind nicht die hie und da erwähnten maximalen oder patriarchalen (canonischen) Alter einzelner Bäume, sondern die für Bestände durchschnittlich erreichten Lebensalter im Sinne demographischer Kenngrössen. Solche Angaben der natürlichen Lebensdauer gehen aus der Urwaldforschung hervor (siehe Korpel, 1982, 1995). Dies ergibt sich dadurch, dass sich im Urwald durch den Ausfall einzelner ablebender, altersgeschwächter Elemente die Bestockung punktuell zu lichten beginnt. Je nachdem, ob Insekten oder Pilze als Schwächung vergreisender Bäume am Werk sind, erfolgt das Ableben schnell oder langsam (Brang, 1988). Sobald das Bestandesgefüge nicht mehr hält, bricht das ganze Kollektiv oder Teile davon zusammen. So entstehen Lücken von Gruppen- und Horstgrössen (oder grösser). Wir bezeichnen dieses Stadium der ontogenetischen Entwicklung des Urwaldes mit Auflösung des Kronendaches „Zerfallstadium“.

**Tabelle 2.5:** Lebensdauer der Baumarten in den Urwäldern Zentraleuropas.

| Baumarten        | Lebensalter     |
|------------------|-----------------|
| Weisstanne       | 400 (350 - 460) |
| Fichte: - montan | 350             |
| - subalpin       | 300             |
| Buche            | 230 – 260       |
| Eiche            | 270 – 300       |

Geltungsbereich: europäische Wälder in temperiertem Klima (nach Korpel, 1995).

Massgebend für die in europäischen Urwäldern festgestellten Altersunterschiede zwischen Baumarten sind holzbiologische Eigenschaften im Zusammenhang mit der Erhaltbarkeit bzw. Widerstandsfähigkeit gegenüber dem fortschreitenden altersbedingten Holzbefall, bzw. Holzerfall. Es geht hier im Wesentlichen um die Wirkung pathogener Pilzorganismen, insbesondere Fäulepilzen. Die Buche z.B. gilt wegen der Schwachstelle ihrer dünnen und deshalb empfindlichen Rinde und der Anfälligkeit ihres Holzes gegenüber Weissfäulen als relativ kurzlebige Baumart. Die Tanne dagegen ist wesentlich langlebiger aufgrund der guten Verkernung (Nasskern), einer guten Borke und der Fähigkeit, wirksame Schutzstoffe auszuschcheiden, um ihr Holz gegen das Fortschreiten der Fäule zu schützen. Die Linde darf als langlebig eingestuft werden, weil sie im Holz eine gute Kompartimentierung bildet, nach Shigo (1995) die beste, die es überhaupt gibt.

Die Ursache für eine solche Empfindlichkeit der Bäume im hohen Alter ist eine allgemeine, altersbedingte Schwächung. Mit zunehmendem Alter verlangsamt sich der ganze Metabolismus. Die exakten physiologischen Gründe für das Phänomen der Alterung sind noch nicht ganz klar. Die zunehmende Schwierigkeit des Wassertransportes bis zur Krone, im Zusammenhang mit der Leistungsfähigkeit der Wassertransportgefäße, sind eine Erklärung. Andere, wie Kazarjan (1969), glauben, in der Diskrepanz zwischen oberirdischen Organen und dem Wurzelsystem eine Erklärung für die Alterserscheinungen zu finden.

Weil die Bäume unterschiedliche Endhöhen erreichen, welche Eigenschaft in Zusammenhang mit der Effizienz bestimmter Lebensprozesse (z.B. des Wassertransports, des Widerstands gegenüber frostbedingter Cavitation, der Empfindlichkeit gegenüber Pathogenen) steht, stellen die erreichten Dimensionen eine wichtige Grösse dar. So lassen sich sinnvollerweise Lebensdauer und erreichte Endhöhe verbinden (siehe Tab.2.6), um die waldbauliche Bedeutung der Baumarten in ihrer Herrschaft/Unterstellung zu verstehen.

**Tabelle 2.6:** Endhöhen und Lebensdauer der mitteleuropäischen Baumarten.

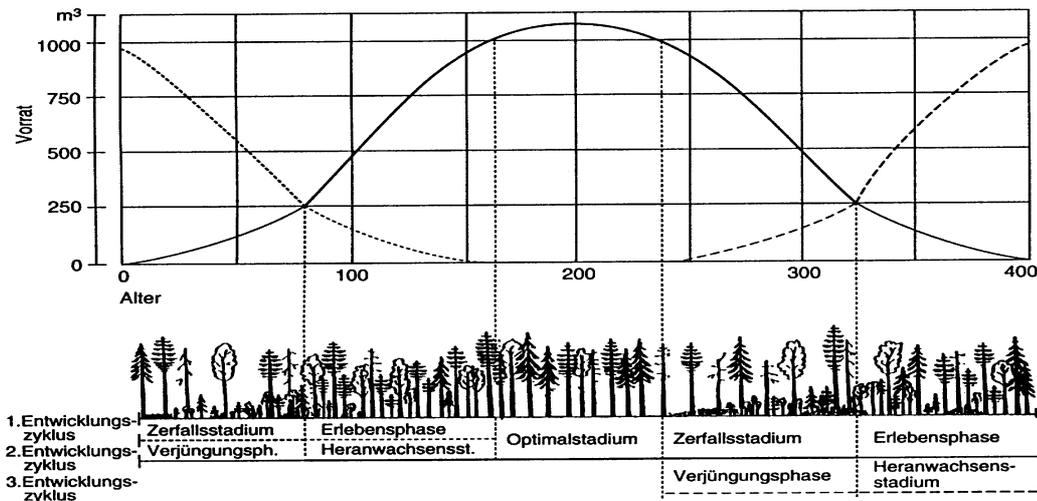
| Langlebigkeit ⇒<br>Endhöhen ↓ | Langlebig  | mittellanglebig                               | Kurzlebig   |
|-------------------------------|--|---|---|
| > 40 m<br>1. Grösse           | <b>Tanne</b><br>Lärche<br>Eiche<br>Schwarzföhre  | <b>Fichte</b><br>Waldföhre<br><b>Buche</b>    |   |
| 30 - 40 m<br>2. Grösse        | Sommerlinde<br>Kastanie<br>Bergulme<br>Bergahorn | Esche<br>Schwarzpappel<br>Weisspappel         | Aspe<br>Birken  |
| 20 - 30 m<br>3. Grösse        | Arve<br>Winterlinde<br>Spitzahorn                | Kirschbaum<br>Feldulme<br>Flatterulme         | <b>Hagebuche</b><br>Weissweide<br>Schwarzerle                           |
| > 20 m<br>4. Grösse           | <b>Eibe</b>                                      | Mehlbeere<br><b>Eisbeere</b><br>Waldapfelbaum | <b>Feldahorn</b><br><b>Vogelbeerbaum</b><br>Traubenkirsche<br>Weisserle |

Fett: Schattenertragende Baumarten.  
Nach Ellenberg (1963), leicht modifiziert.

### 2.3.2 Erneuerungsabläufe

Aus der Urwaldforschung kennen wir im Wesentlichen die Gesetzmässigkeiten der Generationsablösung. Sie wird durch die Alterung und die zunehmende Labilisierung der Waldgefüge verursacht. Im Wesentlichen erfolgt die Erneuerung klein- bis mittelflächig, nach vorheriger langsamer Auflösung des Kronendaches.

Korpel (1995) hat gezeigt, dass sich die Klimaxbaumarten (Buche, Eiche, Fichte, Tanne) im Normalfall selbst ablösen, ohne Zwischenschaltung einer Pionierphase (Birken, Weiden, Aspen). Letztere kommen nur selten, z.B. nach katastrophalen Ereignissen (Lawinen, Feuer, extremen Stürmen) vor. Je nach Geschwindigkeit der Bestandesöffnung im Zerfallsstadium erfolgt die Verjüngung schlussendlich in relativ kleinen Flächen der Grösse von Gruppen bis Horsten und selten individuell, ausser am Anfang der Verjüngungsphase. Weil die Verjüngung am Anfang, d.h. vor einem fortgeschrittenen Zerfallsstadium, langsam vor sich geht, erfolgt die Ablösung der Generationen nach relativ langer Überlappung der Generationen (siehe Abb. 2.7)



**Abb.2.7:** Überlappung der Generationen im Urwald, am Beispiel der Tannen-Buchen-Fichten-Urwälder.  
nach Korpel (1995).

Weitere Erkenntnisse aus der Urwaldbeobachtung betreffen die **Strukturierung der Naturwälder**. In Europa ist der Klimaxwald eine eher monospezifische Formation, weil einzelne Baumarten wie Buche, Eiche oder Fichte in der Regel zur Alleinherrschaft kommen, je nach Klimakonstellation. Erst in klimatischen Übergangszonen finden sich Mischwälder: Buchen-Eichen, wenn die Niederschläge sich vermindern; Buchen-Tannen in höheren Höhenlagen; Arven-Lärchen in kontinentalen Alpentälern.

Während einer langen Dauer des sylvigenesischen Zyklus, nämlich während des Aggradations- oder Heranwachsstadiums bis zum Optimalstadium, bleiben die Wälder geschlossen. Sie weisen relativ hohe Vorratshaltungen auf und sind somit eher gleichförmig (sogar hallenförmig). Erst bei langsamer Auflösung des Kronendaches stellt sich unter Schirm eine Folgegeneration ein.

Diese Entwicklungsgesetzmässigkeit gilt vorderhand für natürlich monospezifische Waldformationen und weniger für Wälder, die von Natur aus gemischt sind (z.B. Tannen-Buchen-Wälder), weil die Mischung von unterschiedlich aufeinander wirkenden Baumarten mit unterschiedlicher Lebensdauer (während einer Tannengeneration bildet die Buche zwei Generationen) zumindest in gewissen Phasen zu einer gewissen Strukturierung der Wälder führt. Trotzdem kommen in solchen Urwäldern die echten Plenterstrukturen selten vor, auch in dem an sich geeigneten Fall der montanen Tannen-Buchen-Mischwälder. Der Flächenanteil der Plenterphase wurde für solche Fi-Ta-Urwälder auf 14 % für den Urwald Rothwald in Österreich (Schrempf, 1986), auf 5 % für den Urwald Corkova Uvala in Kroatien (Mayer et al., 1980) bzw. als unbedeutend für den Urwald Perucisa in Bosnien (Pintarić, 1978) erfasst. Darüber hinaus sind solche Plenterstrukturen nie dauernd (Leibundgut, 1978), dies wegen der Biomassenakkumulation und den entsprechend hohen Vorräten und folglich der Tendenz, den oberen Kronenraum zu schliessen.

Die unterschiedliche Lebensdauer hat auch einen Einfluss auf die Struktur bzw. das Ausmass der Auflösung des Kronendaches im Zerfallsstadium. Langlebige Baumarten wie die Fichte verweilen verhältnismässig lang in der Oberschicht, weil das Höhenwachstum nach 150 bis 200 Jahren praktisch abgeschlossen ist, sie verbleiben 100 bis 200 Jahre mit annähernd gleicher

Statur. In dieser Zeit schiessen jüngere Bäume nach, so dass sehr gleichförmige Strukturen und folglich eine hohe Konkurrenz entstehen. Alte Fichtenwälder (bis obermontane Stufe) tendieren demnach zur Labilität und sie zerfallen mit relativ grossflächigem Zusammenbruch. Umgekehrt ist es bei der kurzlebigen Buche, welche kaum über 230 bis 260 Jahre alt wird. Das Höhenwachstum dauert wie im Fall der Fichte 150 bis 200 Jahre. Die Bäume verweilen aber nicht sehr lange in der Oberschicht, so dass die Altersunterschiede erhalten bleiben und die Struktur nicht so nivelliert wird wie bei der Fichte.

### **2.3.3 Dauer des Lebenszyklus und Licht am Boden**

Der Zerfall ist charakterisiert durch eine hohe Labilität der Bestockung, durch ungünstige Entwicklung der Holzeigenschaften, durch hohen Schädlingsbefall (Insekten und Pilze). Solche Eigenschaften sind im grossen und ganzen unerwünscht, ausser für die Erhaltung von Organismen, welche an diese Phase gebunden sind (holzzehrende Pilz- und Tierarten). Im Sinne der Erhaltung einer stabilen, gesunden Waldbestockung und insbesondere aus ökonomischen Gründen ist eine gegenüber der Natur vorzeitige Ablösung der Generationen gerechtfertigt.

Auch bezüglich lichtreichen Stellen im Wald, einer der fördernden Faktoren der Biodiversität, ist eine ordnungsgemässe Verjüngung der Wälder in zweierlei Hinsicht günstig. Im Wesentlichen kommt das Licht nur während einer kurzen Zeit des sylvigenesischen Zyklus auf den Waldboden, nämlich bei der Ablösung der Generationen, und zwar umso stärker, wenn die Generationsablösung rasch erfolgt.

**Tabelle 2.8:** Unterschiede zwischen Produktionszeiträumen im Wirtschaftswald und Lebensdauer der Generationen im Naturwald.

| Baumarten<br>(bestandesebildend) | Produktionszeiträume im<br>Wirtschaftswald | Dauer des<br>ontogenesischen<br>Zyklus im<br>Urwald | Unterschied |
|----------------------------------|--|---|-------------|
| Fichte                           | 110  | 350   | 3,2 x       |
| Buche                            | 120  | 250   | 2,1 x       |
| Tanne                            | 120  | 450   | 3,7 x       |
| Eiche                            | 160  | 300   | 1,9 x       |

Produktionszeiträume: optimale Zeiträume in Bezug auf Kulmination der Wertproduktivität der Holzproduktion nach Bachmann (1990).

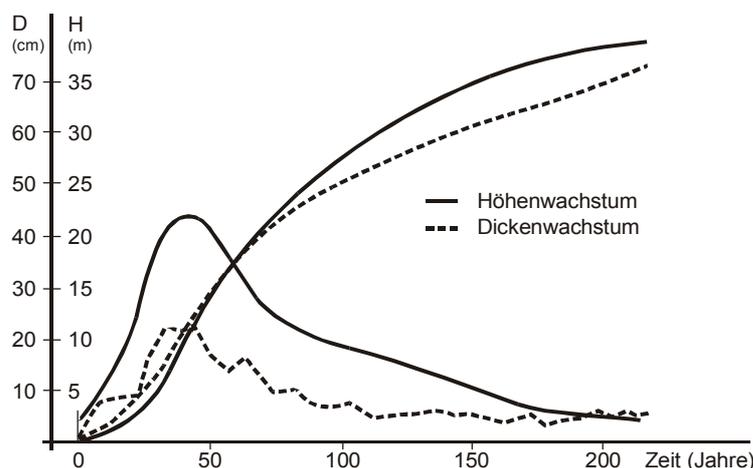
Dauer der ontogenesischen Lebensdauer in den entsprechenden Waldformationen nach Korpel (1995).

Weil sich im Naturwald die Verjüngung meistens unter Schirm einstellt, gibt es im Urwald relativ wenig Licht bis auf den Waldboden. In einer immer wieder fortschreitenden und sich erweiternden (klein-)flächigen Waldverjüngung wie im Femelschlag gibt es immer sonnige Stellen in den eben frisch entstandenen Bestandeslücken, so lange, bis die neue Verjüngung hochkommt. Dies ist der Grund, warum Ornithologen im kleinflächig bewirtschafteten Wald eine bessere avifaunistische Diversität als im Urwald beobachteten (Tomialojc et Wesolowski, 1990; Wiens 1995), bzw. die Kombination von Urwald mit kleinflächigen Räumungshieben zur Förderung der Vogelvielfalt vorschlagen.

Andererseits führt eine Verkürzung des ontogenetischen Zyklus um die Hälfte (im Fall der Buche) oder mehr als dreimal (im Fall der Fichte), wie sie in waldbaulich optimal geführter Waldverjüngung vorkommt, logischerweise zur Vermehrung des Flächenanteils von Jungwaldflächen im gleichen Verhältnis, sodass es im bewirtschafteten Wald anteilmässig 2 mal mehr (Bu) bis 3,5 mal mehr (Ta) Jungwaldfläche gibt als im Urwald (siehe Tab. 2.8).

## 2.4 ERKENNUNGSMERKMALE DER ALTERUNG

Die in Abb. 2.3 dargestellten Altersphasen wurden aufgrund des Höhenwuchsganges abgegrenzt. In Wirklichkeit bestehen zwischen Höhenwachstum und Dickenwachstum nicht die gleichen Gesetzmässigkeiten. Das Dickenwachstum ist viel mehr vom Standraum und von der Grösse der Krone abhängig als vom Alterstrend (siehe Abb. 2.9). Der Dickenzuwachs der Bäume bleibt viel länger uneingeschränkt als der Höhenzuwachs. Dies ist der Grund, warum sich im Allgemeinen das Verhältnis  $h/d$  (oder Schlankheit) der Bäume mit dem Alter stets verbessert.



**Abb. 2.9:** Unterschiede zwischen Höhen- und Dickenwachstum bzw. Zuwachs.

Gleicher Baum (Fichte) wie auf Abb. 2.3.

Nach Schütz (1969).

Gewisse Merkmale lassen in der Praxis auf das Nachlassen der Lebenskraft bzw. auf die Zunahme der Alterung schliessen.

- Die Kronenform bzw. der Winkel der Kronenspitze deutet auf das Verhältnis Höhentriebe/Seitentriebe. Sehr erkennbar ist das Phänomen der Bildung flacher Kronen (oder Storchnester) bei alten Tannen. Aber auch Laubbäume weisen mit zunehmendem Alter eine immer flachere Krone auf.
- Die Beobachtung der Seitentriebe gibt Hinweise auf die Wuchskraft. Seitentriebe in der Lichtkrone sind gut erkenntlich.
- Gewisse Baumarten bilden gerne Klebäste, wenn ein Missverhältnis besteht zwischen Krone und Wurzeln. Klebastbildung an Tanne, Eiche, Linde, Ulme, seltener Buche weisen auf Störungen oder Stress bzw. Alterung hin.
- Die Belaubungsdichte ist ein Hinweis auf gutes Befinden und gutes Entwicklungspotential.

- Das Verzweigungssystem bei sympodisch verzweigenden Laubbaumarten ist auch ein Hinweis über den Vitalitätszustand (siehe Sylviculture 1, S. 61-64). Das gleiche gilt für die Anzahl benadelter Jahrestriebe bei Koniferen.

## 2.5 KONSEQUENZEN FÜR DIE WALDERNEUERUNG

Eine rechtzeitige Walderneuerung gibt Gewähr für eine optimale Mehrzwecknutzung. Sie verbindet Vorteile insbesondere bezüglich Stabilität, Gesundheit sowie Nachhaltigkeit. Weil ein grosser Spielraum in der Wahl der Erneuerungsform besteht, zwischen Plenterung und sehr unterschiedlicher flächenweiser Erneuerung, gibt es auch eine entsprechend grosse Vielfalt der Möglichkeiten. Ein moderner, auf hohe Vielfalt der Formen gerichteter **polyvalenter Waldbau** erfüllt im Wesentlichen auch die Bedürfnisse an Naturnähe und die Erhaltung der Naturwerte.

Mindestens so wichtig, wenn nicht wichtiger, als der Zeitpunkt der Einleitung sind bei der Wahl der Verjüngungstechnik, übergeordnete Prinzipien im Rahmen, in welchem die Walderneuerung erfolgen soll, nämlich:

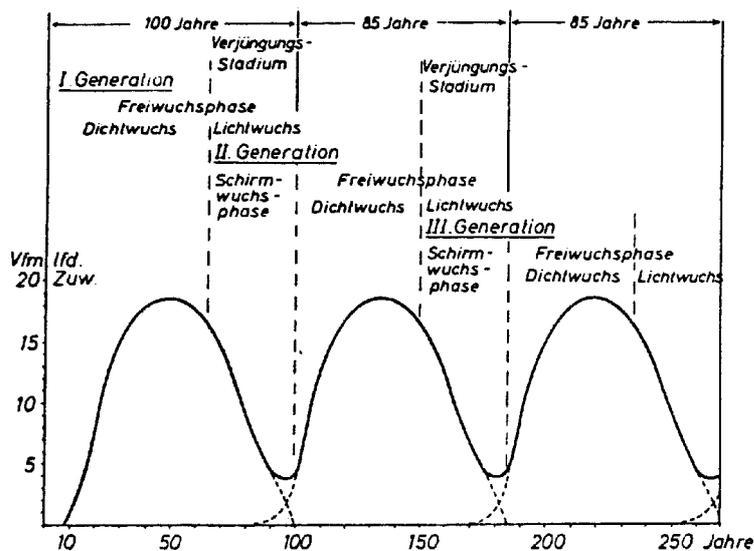
- Standortgerechte Baumarten
- Förderung der Adaptabilität
- Risikenvermeidung
- Multifunktionalität

Insbesondere das **Prinzip der Adaptabilität**, d.h. Schaffung von Wäldern, die sich stets verändernden Bedürfnissen angepasst werden, ist vorrangig. Es basiert auf den Vorteilen der Förderung von **funktionsfähigen Mischungen** sowie auf den Prinzipien der **Naturautomation**.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Walderneuerung nicht notwendigerweise abrupt erfolgt wie im Kahlschlagsystem. Besonders bei Ausnützung der Naturverjüngung können sich die alte und neue Generation eine Zeitlang überlappen. Dies entspricht nichts anderem als dem normalen Prozess der Generationsablösung im Naturwald. Es sind solchem Vorgehen aber gewisse Grenzen gesetzt, weil die Altbestockung genügend aufgelichtet sein muss, damit die Neugeneration genügend Licht erhält, um sich qualitativ einigermaßen zufriedenstellend entwickeln zu können. Eine zu lange Überlappung bei starker Überschirmung kann allenfalls zu Produktionsverlusten führen.

Interessanterweise stellt Korpel (1995) beim Studium der reinen Buchenwälder der Westkarpaten recht grosse Qualitätsunterschiede fest. Sie lassen sich auf die Art und Weise ihrer damaligen Erneuerung zurückführen. In der Tat wachsen zu lang beschattete Buchenverjüngungen schräg (plagiotrop; siehe Abb. 7.2) und sind auch bei späteren Auffichtungen nicht mehr in der Lage, ihre Stammform zu verbessern. Wenn eine spontan vorkommende Buchenverjüngung, z.B. in einer kleinen Schachtstellung, nicht rechtzeitig mehr Licht bekommt, wird sie sich zu einer späteren schlechten Stammform entwickeln.

Wir werden sehen (Abschnitt 7.4.1), dass die Ausnützung des so genannten **Lichtungszuwachses** bei gewissen Baumarten einen ökonomisch günstigen Kompromiss erlaubt. Darüber hinaus hat Assmann (1965) gezeigt, dass die **Überlappung der Generationen** zur Reduktion des Produktionszeitraums der Folgegenerationen führt. Dies ist als Überlappungseffekt bekannt (siehe Abb. 2.10). In Mischbestockungen von Licht- und Schattenbaumarten wie z.B. Föhre, Fichte und Tanne kann diese Überlappung mit sehr langsamem Verjüngungsfortschritt im Saumkeilschlagsystem 20 bis 40 Jahre und sogar mehr ausmachen (Kenk, 1988; Kenk und Guehne, 2001).



**Abb. 2.10:** Modell der Überlappung der Generationen im Wirtschaftswald, am Beispiel der Fichte (Ertragstafel).

Geltungsbereich: Ertragstafel von Assmann und Franz (1963), Bonität M34, entspricht Oberhöhe 22m im Alter 50.

## 2.6 NATURNAHER WALDBAU UND VERJÜNGUNG

Der Begriff „naturnaher Waldbau“ ist nicht neu. Er wurde zu einer Zeit des Rückbesinnens auf die Naturwerte gegen Ende des 19. Jahrhunderts in der Bewegung der Physiokraten entwickelt (Rückkehr zur Natur). Bezogen auf den Waldbau wurden die Prinzipien eines naturnahen Waldbaus von Karl Gayer, Professor für Waldbau an der Forstfakultät München (1880, 1886) formuliert. Die schweizerische Waldbaulehre und die schweizerische Forstpraxis haben das Prinzip eines solchen Vorgehens bei der Waldbewirtschaftung im Sinne Gayers, später Englers, Schädelins (1928) und Leibundguts (1949) ohne Restriktion übernommen.

Die Prinzipien eines naturnahen Waldbaus können wir folgendermassen formulieren:

- möglichst natürliche Walderneuerung;
- naturgerecht zusammengesetzte Bestockungen, die aus standortstauglichen Baumarten bestehen;
- grosse Baumartenvielfalt auf kleiner Fläche, also sinnvolle feine und reiche Mischungen, was übrigens dem Prinzip der Risikoverteilung entspricht;
- Erhaltung bestmöglicher ökologischer Stabilität, d.h. die Förderung bzw. Ausnützung der selbstregulierenden und stabilisierenden Prozesse in Waldökosystemen;
- Verwendung des vollständigen Erbgutes, d.h. der ganzen genetischen Vielfalt, welche auch Garant für die Anpassungsfähigkeit gegenüber Stresseinwirkungen während eines sehr lange dauernden Produktionsprozesses ist.
- Als weiteres wichtiges Prinzip einer biologisch orientierten Optimierung der Produktion ist die Ausnützung der lokalen bzw. individuellen Leistungspotentialitäten zu erwähnen (Leibundgut, 1946). Die Umtriebszeit ist also nicht allein massgebend für die Steuerung von Verjüngungen: Vielmehr ist durch eine örtliche und zeitliche Staffelung des Verjüngungsprozesses und entsprechend auch der Nutzungen eine optimale Ausnützung der Produktionskräfte anzustreben.

Bei solchen Interpretationen der Naturnähe liegt der Schwerpunkt eindeutig auf dem Begriff „Waldbau“ und einer Bewirtschaftung im Sinne einer Mehrfachfunktionserfüllung. Die Naturnähe ist Mittel zum Zweck der Erfüllung menschlicher Bedürfnisse. Sie lässt sich also mit einem **humanistischen** Verständnis für die Natur interpretieren (Schütz, 1999). Diese liberale

Definition geht davon aus, wie Leibundgut (1949) formulierte, dass im Naturwald alle Formen der Bestandenerneuerung zu finden sind, inklusive die flächige Erneuerung, die somit im Waldbau adäquat benützt werden dürfen. Wichtig ist dabei, dass die Waldbautechnik (Wahl der Hiebsarten) nicht im Vordergrund steht, sondern Mittel zum Zweck der Gestaltung vielfältiger, standortgerechter, gemischter und horizontal strukturierter Bestockungen ist. Nach Leibundgut gehört z.B. der Kahlhieb lokal und in entsprechender Form zum Instrument des naturnahen Waldbaus. Diese Anwendung eines relativ breiten waldbautechnischen Instrumentariums kennzeichnet die vielfältige Vorgehensweise im schweizerischen Femelschlagsystem (s. Kap. 9). Man kann sie sogar als wichtiges Prinzip der **freien Hiebsführung** hervorheben. (Schütz, 1990, 1997<sup>b</sup>). Freie Hiebsführung bedeutet keineswegs Narrenfreiheit im waldbaulichen Handeln, sondern es ist ein Handlungsprinzip.

Heute - mit der erneuten Gunst für sogenannte Naturwerte - werden verschiedene, zum Teil wesentlich restriktivere Definitionen eines solchen Begriffes formuliert, die oftmals den Schwerpunkt auf „Natur“ setzen und sogar den Mensch ausschliessen, was recht unsinnig ist. In der Tat, die humanistische Anschauung betrachtet die Natur in Rücksicht auf den Menschen, wie Ciancio und Nocentini (1995) bei der Charakterisierung der Naturnähe formulieren „L’approche de la nature, de rationnelle, analytique, réductiviste et linéaire devient intuitive, synthétique, holistique et non linéaire: la pensée physicaliste cède le pas à la pensée écologique. Dans ce cadre, la sylviculture et la gestion forestière sont d’autant plus proches de la nature qu’elles sont réellement proches de l’homme“.

Zu strikte Definitionen der Naturnähe vergessen oftmals die Notwendigkeit der **Kontrolle der Nachhaltigkeit**, insbesondere einer nachhaltigen Erneuerung, wenn sie sich allzusehr allein am Modell einer einzelstammweisen Nutzung anlehnen. Sie müssen auch die heute wichtigen Bedürfnisse an vielfältigen Waldstrukturen, welche eine einzelstammweise Nutzung nicht vollständig erfüllt, respektieren.

Was die Diskussion der Bedeutung von naturbezogenen Wortgebilden, insbesondere des Begriffes „naturnaher Waldbau“, extrem schwierig macht, ist die Tatsache, dass solche Fragen von ideologischen Standpunkten aus diskutiert werden, statt aus wissenschaftlich sachlicher Argumentsführung (Touzet, 1999). Wie Scherzinger (1996) treffend formuliert, hat der Begriff „naturnah“ in erster Linie einen **ethisch-emotionalen** Wert.

Immerhin ist der Begriff „naturnaher Waldbau“ in unserem Waldgesetz verankert, was einer einigermaßen klar umsetzbaren Definition bedarf. Im Spagat zwischen technischer Holznutzung, anderweitiger Funktionserfüllung und Nichtstun bestehen sehr viele Kombinationsmöglichkeiten. Naturnah ist im Prinzip ein Begriff der multifunktionellen Ressourcennutzung. In welchem Ausmass die verschiedenen Funktionen vorkommen, ist offen. Diesbezüglich stimmen wir der Auffassung Scherzingers (1996) zu, dass potentielle Konflikte zwischen Nutzung der Wälder und Erhaltung der Natur nicht mit einem Definitionskampf zu lösen sind, sondern durch klare Auslegung der Konfliktpunkte und Suche nach Lösungen. „Die Lösung des Konfliktes kann weder in eiliger Umbenennung des Forstbetriebes in „naturnahe Waldbewirtschaftung“ oder „ökologischer Waldbau“ liegen, noch im wachsenden Wunsche nach nutzungsfreien Waldreservaten. Wichtig erscheint, dass zunächst die Positionen und Ziele offengelegt werden und dass die Fragen nach den Realisierungsmöglichkeiten nicht durch Kompetenzgerangel zerredet werden.“

---

### 3. ENTSCHEIDUNG DER EINLEITUNG DER VERJÜNGUNG

---

Weil die Holzproduktion immer noch Garant der finanziellen Autarkie ist und somit die Gesundheit und die Funktionsfähigkeit der Forstbetriebe bestimmt, kann die Walderneuerung prinzipiell nach ökonomischen Gesichtspunkten konzipiert, d.h., die Einleitung der Verjüngung soll in bezug auf optimale Wertproduktivität erfolgen. Dies ist darüber hinaus mit anderen Kriterien zu verbinden, wie die schon erwähnte Ausschöpfung von lokalen und individuellen Unterschieden im Ertragsvermögen.

Je nach Zielen kann man von dieser Betrachtung abweichen. Bezüglich anderer Funktion ist aber meistens die ökonomisch gerechte Verjüngung kaum nachteilig. Was die Bedürfnisse wie Totholz und Altbäume anbelangt, welche heute für die Erhaltung bestimmter Tierarten gefordert werden, müssen nicht ganze Wälder unbenutzt bleiben. Diese Bedürfnisse können durch das gezielte Stehen- oder Liegenlassen abgestorbener Bäume erreicht werden.

#### 3.1 PRINZIPIEN DER WERTBEZOGENEN LEISTUNG ODER WERTPRODUKTIVITÄT

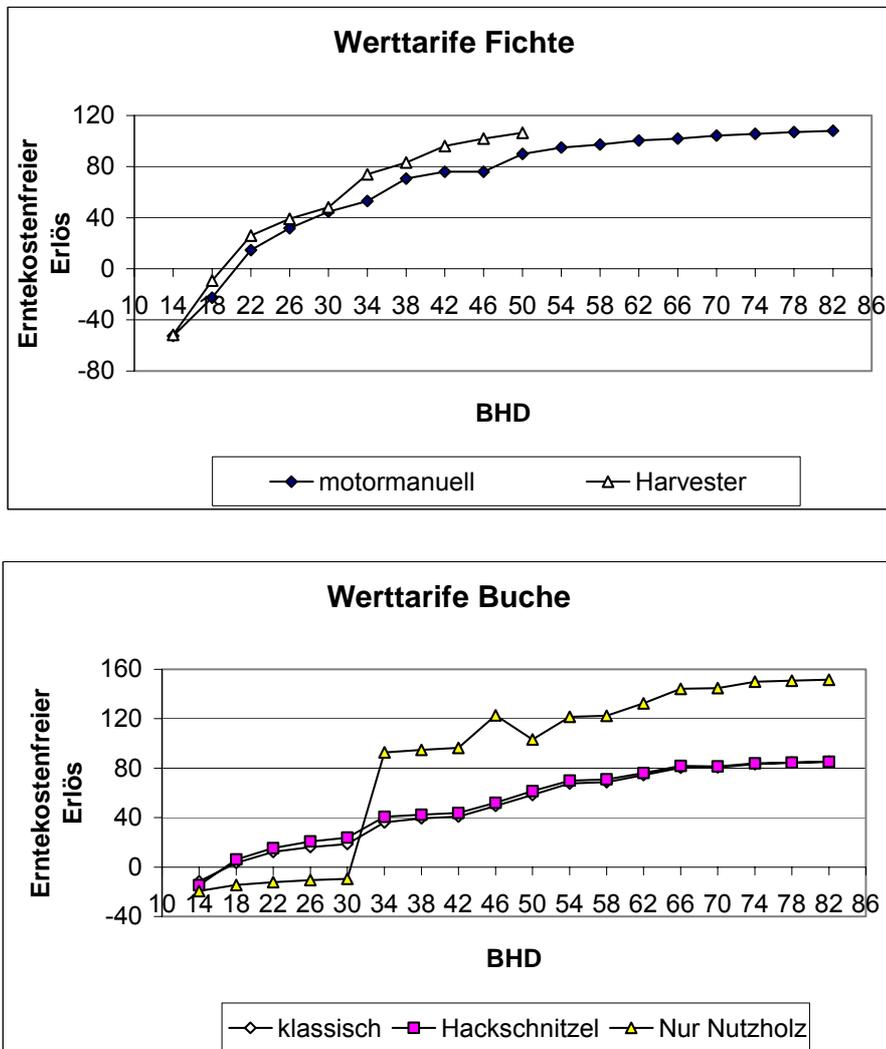
Für eine ökonomisch optimale Ausnutzung der Produktivität stellt sich die Frage der Referenz sowie der Messgrößen, welche es zu berücksichtigen gilt. Die bisher gebräuchlichen Wachstumsmodelle betrachten die Wuchsleistung ganzer Bestockungen. Sie beziehen sich auf  $h_a$  und Jahreswerte. Ertragskundlich-ökonomische Betrachtungen sollten auch baumweise analysiert werden, weil heute innerhalb einer Bestockung den Bäumen unterschiedliche Rollen zugewiesen werden, je nachdem, ob sie ausgewählt wurden für eine Wertvermehrung (Z-Bäume) oder nur, um Begleitfunktionen auszuüben. Solche baumweise Modelle gibt es aber wenige (siehe Abetz, 1980, 1993; Klädtke, 1992; Biber, 1996). Eine auf optimale Wertvermehrung orientierte Waldpflege legt die Rollen relativ früh fest, manchmal schon in der Dickungsphase, und richtet die Intensität der Pflegeeingriffe je nach Zielgruppen entsprechend differenziert aus. Immerhin, der Volumenzuwachs ist weitgehend vom ganzen Kollektiv erzeugt und ist auch als Mass der Naturalienleistung neben der individuellen Wertleistung der Wertträger von Bedeutung.

Gesuchte Grösse ist generell gesehen nicht die Volumenleistung, sondern die **Wertleistung**. In erster Annäherung ist es zulässig, dafür den momentan gültigen Wert des Holzes abzüglich der Nutzungskosten, also den **erntekostenfreien Erlös** zu verwenden. Dies gilt ebenfalls für die Vornutzungen, auch wenn sie schon längstens erfolgt sind. Die Fixkosten und Investitionskosten wirken sich nicht so entscheidend auf die Veränderung der Produktivität aus, so dass man sie für die Festlegung optimaler Bereiche vernachlässigen darf. In Zeiten starker Fluktuation der Holzpreise und insbesondere der Veränderung der Relationen zwischen den Sortimenten, sollen die Modellkalkulationen immer wieder aktualisiert werden.

Die für die Kalkulation der erntekostenfreien Erlöse zugrunde gelegten Werttarife gelten für bestimmte Voraussetzungen: Ernteverfahren, Rückedistanzen, Arbeitskosten (siehe Abb. 3.1). Bei solchem Werttarif ist der sog. **Sortimentssprung** deutlich sichtbar. Damit versteht man die sprunghafte Zunahme des Wertes bei Überschreitung des Grenzwertes für die Sortimentsklassen. Bei Koniferen, wo der Stamm in weniger Holzstücke zerlegt wird, ist dieses Phänomen ausgeprägter als bei Laubbäumen.

Weil sich die Produktion auf mehrere Jahrzehnte bis über ein Jahrhundert erstreckt, soll sich die Betrachtung der optimalen Ausnutzung der Produktion auch auf den ganzen Produktions-

zeitraum beziehen. Als Mass für die Leistungseffizienz gilt also die Gesamtwuchsleistung (in Wert) geteilt durch den zugrunde liegenden Produktionszeitraum. Damit erfasst man die **Wertproduktivität**. Dabei sind die bei früheren Eingriffen angefallenen Vornutzungen (aus früheren Durchforstungen erzieltm Holzanfall) mitzuberücksichtigen. Die Wertproduktivität kann also nur in Modellbetrachtung eruiert werden.



**Abb. 3.1:** Werttarife Fichte und Buche der Professur Waldbau ETHZ, Version 2000. Gültigkeitsbereich: Gute Produktionsverhältnisse (Bon. Fi 26, Bu 24), gute Erschliessung, geringe Hangneigung. Referenzjahr für die Holzpreise: 1999/2000 (vor Lothar)

Varianten: Fichte "motormanuell" und "Harvester".

Buche "klassisch": Aufarbeitung von Nutzholz und Schwellen; Rest Energieholz (Hackschnitzel).

Buche "Hackschnitzel": Nur Nutzholz aufgerüstet, Rest Hackschnitzel.

Buche "Nur Nutzholz": Nur Nutzholz (mind f-Qualität) wird genutzt, der Rest bleibt im Bestand.

Bemerkung: Voraussetzung für die gute Kostendeckung der Varianten "klassisch" und "Hackschnitzel" sind die entsprechenden Absatzkanäle für Energieholz.

### Laufender und durchschnittlicher Wertzuwachs

Für ertragskundlich-ökonomische Überlegungen über den optimalen Verjüngungszeitpunkt ist zwischen dem laufenden jährlichen Zuwachs und dem durchschnittlichen Gesamalterszuwachs (oder auch Produktivität genannt) zu unterscheiden. Als Wertzuwachs gilt der erntekostenfreie Ertrag (siehe Abb. 3.2).

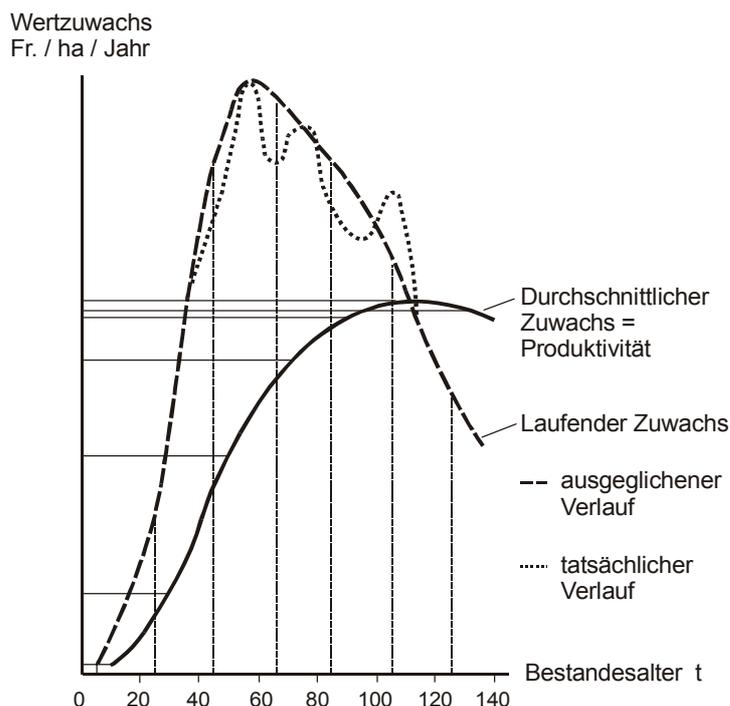
Der laufende Wertzuwachs entspricht der momentanen, jährlichen Wertvermehrung eines Bestandes in einem bestimmten Zeitpunkt (d.h. Bestandeswert im Alter  $t_i$  - Bestandeswert im Alter  $t_{i-1}$ ). Er gibt demnach die momentane, kurzfristige (jährliche) Ertragsleistung an.

Der durchschnittliche Gesamalterswertzuwachs (die Produktivität) ist ein Mass der Produktionsleistung. Er entspricht der von der Bestandesbegründung her geleisteten Gesamtwertproduktion dividiert durch die entsprechende Produktionsdauer (also das Bestandesalter). Bei der Kulmination dieser Produktivitätskurve ergibt sich die bestmögliche Ausnutzung der Produktion auf den ganzen Produktionszeitraum. Dieser Punkt entspricht also theoretisch dem ökonomisch richtigen Zeitpunkt der Bestandesverjüngung (ökonomischer Verjüngungszeitpunkt).

Zwischen beiden Grössen bestehen folgende Gesetzmässigkeiten:

- Der laufende Zuwachs kulminiert immer vor dem durchschnittlichen Zuwachs.
- Der laufende Zuwachs ist bei seiner Kulmination stets grösser als der durchschnittliche Zuwachs.
- Der durchschnittliche Zuwachs (die Produktivität) kulminiert im Schnittpunkt mit dem absinkenden laufenden Zuwachs.

Da der Verlauf dieser Kurve um die Kulmination relativ flach ist, ist der ökonomische Verjüngungszeitpunkt weniger als ein momentaner Zeitpunkt denn eine Zeitspanne (Zeitbereich) zu betrachten. Das heisst, dass in Wirklichkeit ein gewisser Spielraum besteht.



**Abb. 3.2:** Darstellung des Verlaufes des laufenden sowie durchschnittlichen Wertzuwachses (Wertproduktivität) für Fichten-Ertragstafel-Modell.

Nach Bachmann (1968)

Die beste Ausschöpfung der Ertragsleistung eines Bestandes ergibt sich bei der Kulmination der Durchschnittszuwachskurve.

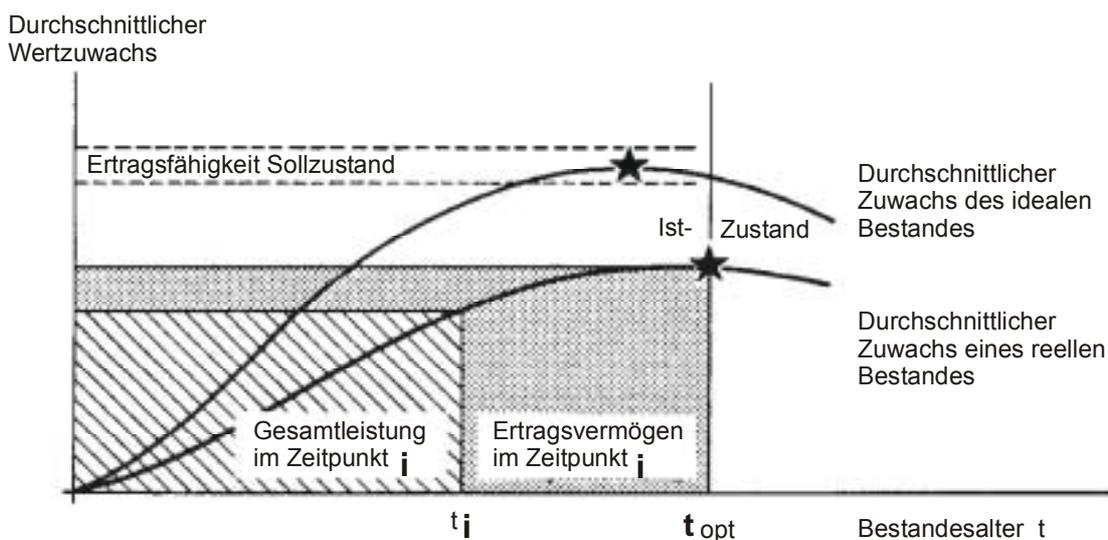
Dieser Punkt ist als ertragskundlicher Verjüngungszeitpunkt definiert.

### 3.2 KRITERIEN FÜR DIE FESTLEGUNG DES ÖKONOMISCH OPTIMALEN VERJÜNGUNGSZEITPUNKTES

Nicht nur die bestmögliche momentane Ausnutzung der Wertproduktivität ist für die Festlegung des optimalen Verjüngungszeitpunktes entscheidend, sondern eine Betrachtung des gesamten Kosten-Nutzen-Systems. Das heisst, es muss nicht nur die Leistung in Rücksicht auf den aktuellen Waldbestand betrachtet werden, sondern in Rücksicht darauf, was potentiell möglich wäre zu erreichen auf dem vorhandenen Boden (Standort). Als Referenz diesbezüglich brauchen wir also eine Soll-Grösse, um daran die Leistung des aktuellen Bestandes zu messen.

#### 3.2.1 Ausschöpfung der Ertragsfähigkeit

Wie Abb. 3.3. zeigt, gilt als Soll-Grösse die sogenannte **Ertragsfähigkeit** oder das, was ein standortgerecht und waldbaukonformer Bestand optimal (bei Kulmination seiner Wertproduktivität) erreichen würde. Als Ist-Grösse gilt die aktuelle Wertleistung bzw. ihre mögliche Ausschöpfung bis zur Kulmination, was wir als **Ertragsvermögen** bezeichnen.



**Abb. 3.3:** Schematische Darstellung der Ertragsfähigkeit (Soll-Grösse) und des Ertragsvermögens (Potential der Ist-Bestockung).

#### Ertragsfähigkeit und Ertragsvermögen

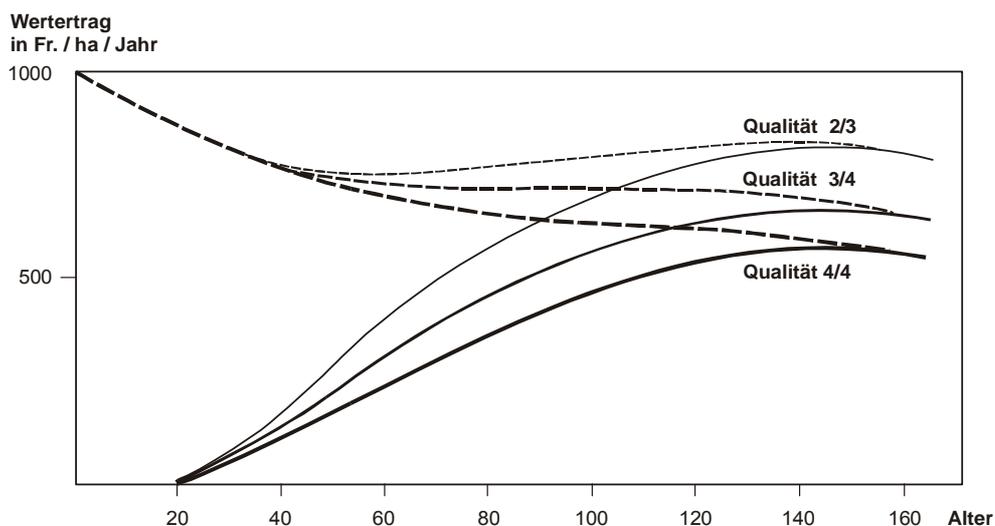
Die **Ertragsfähigkeit** ist ein Ausdruck für die potentielle Ertragsleistung eines Standortes. Sie kann annähernd bestimmt werden durch die potentielle nachhaltige Wertproduktivität (durchschnittlicher Zuwachs) einer idealen Bestockung bei richtiger Baumarten- und Provenienzwahl und bestmöglicher waldbaulicher Behandlung auf einem bestimmten Standort. Diese Annäherung der Ertragsfähigkeit ist also ein ideeller Wert und daher nicht absolut messbar. Sie kann sich auch je nach Sortimentspreisverhältnissen in der Zeit etwas verschieben. Bei einer momentanen Betrachtungsweise kann sie als Produktivität des idealen

Bestandes bei der Kulmination unter Berücksichtigung der aktuellen Preis-Kosten-Situation angenähert werden. Die Ertragsfähigkeit wird graphisch durch einen Bandbereich dargestellt.

Das **Ertragsvermögen** ist ein Ausdruck der noch zu erwartenden Produktion eines vorhandenen Bestandes bis zu seiner waldbaulich richtigen Verjüngung, das ist also die von einem bestimmten Zeitpunkt an ( $t_i$ ) bis zur Kulmination der Produktivität des Bestandes noch zu erwartende Wertproduktion (= noch zu produzierende Gesamtwuchsleistung an Wert = Summe der laufenden jährlichen Wertzuwüchse). Auf der Darstellung entspricht die Gesamtwuchsleistung im Zeitpunkt  $t_i$  dem schraffierten Rechteck. Das Ertragsvermögen entspricht der punktierten Fläche.

Aus dem Vergleich zwischen Ertragsfähigkeit und aktueller Wertleistung entstehen zweierlei mögliche Abweichungen, die es zu berücksichtigen gilt bei der Festlegung des ökonomisch optimalen Verjüngungszeitpunktes. Einerseits, was der aktuelle Bestand noch leisten kann (Ertragsvermögen) und andererseits, was wegen der früheren Bewirtschaftung und Bestockungszusammensetzung verpasst wurde (Verluste gegenüber der Ertragsfähigkeit).

Wenn der aktuelle Bestand in seiner Wertleistung so schlecht ist, dass auch bei Kulmination seiner Wertproduktivität beträchtliche Leistungsunterschiede gegenüber der potentiellen Ertragsfähigkeit bestehen, lässt sich überlegen, ob es nicht günstiger wäre, diesen Bestand vorzeitig zu verjüngen. In der damit gewonnenen Zeit dürfte ein optimal zusammengesetzter Bestand die Leistungskapazität besser ausschöpfen.



**Abb. 3.4:** Verlauf der Wertproduktivität für Buchenmodellbestockung nach Ertragstafel mit unterschiedlichen Qualitäten (Durchgezogene Linien) und die Gesamt-Wertproduktivität (gestrichelte Kurven) bei Berücksichtigung eines vorzeitigen Ersatzes durch eine optimale Bestockung, welche die Ertragsfähigkeit voll ausschöpft.

Qualitätstypen:

- 1 = unterstes Drittel: Qualität a; mittleres Drittel: Qualität n
- 2 = untere 2/3: Qualität n
- 3 = unterstes Drittel: Qualität n; mittleres Drittel: Qualität f
- 4 = untere 2/3: Qualität f
- 5 = nur Schichtholz

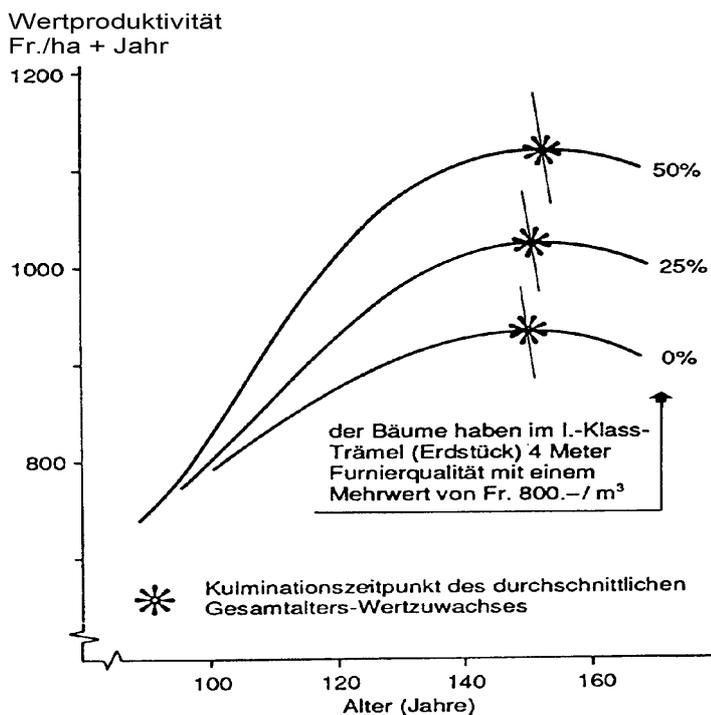
Bedeutung der Sortimente: 2/3 bedeutet Qualität 2 für den verbleibenden Bestand und 3 für den ausscheidenden. (Vornutzungen in Durchforstungen)

Abb. 3.4 zeigt die Kalkulation der Konsequenzen eines solchen vorzeitigen Ersatzes einer ungenügend leistenden Bestockung durch eine optimalere, aufgrund der Wertleistung gemäss Buchen-Ertragstafelmodellen mit unterschiedlicher Sortimentszusammensetzung nach Bachmann (1968). Der Verlauf der gestrichelten Kurven zeigt die Wertproduktivität auf den ganzen betrachteten Zeitraum bei Veranschlagung einer frühzeitigen Ablösung des Bestandes durch ein optimal zusammengesetzter Bestand, der die Ertragsfähigkeit erfüllt. Die Verluste gegenüber der vollen Ausschöpfung der Ertragsfähigkeit (Abstand zum oberen Rand der Darstellung) sind nicht so unterschiedlich. Die Verluste sind minimal unmittelbar vor der Kulmination der Wertleistung des aktuellen Bestandes. Auch beim sehr schlechten Bestand (Qualitätsstufe 4/4), der schlechtes Nutzholz produziert, sind die Gesamtverluste mehr oder weniger ähnlich.

Dies zeigt, dass der Verlauf der Wertleistung des aktuellen Bestandes im wesentlichen relevant ist für die Festlegung des Verjüngungszeitpunktes und dass die schlechte Ausschöpfung der Ertragsfähigkeit weniger stark ins Gewicht fällt. Nur bei extrem schlechter Bestockung scheint sich eine vorzeitige Verjüngung zu rechtfertigen.

### 3.2.2 Einflussfaktoren auf die aktuelle Wertproduktivität

Modellkalkulationen erlauben den Einfluss verschiedener Faktoren auf Niveau und Verlauf der Wertproduktivität zu veranschaulichen. Abb. 3.5 zeigt den Einfluss der Sortimentsgüte für Eichenbestockung mit verschiedenen Fournieranteilen (0, 25, 50 %). Es zeigt sich für den gleichen Standort, dass wohl das Niveau der Kulmination stark von den Sortimenten beeinflusst wird, aber kaum eine grosse Verschiebung des Kulminationszeitpunktes stattfindet. Ähnliche Resultate gibt es für weitere Wertholzarten wie die Esche.

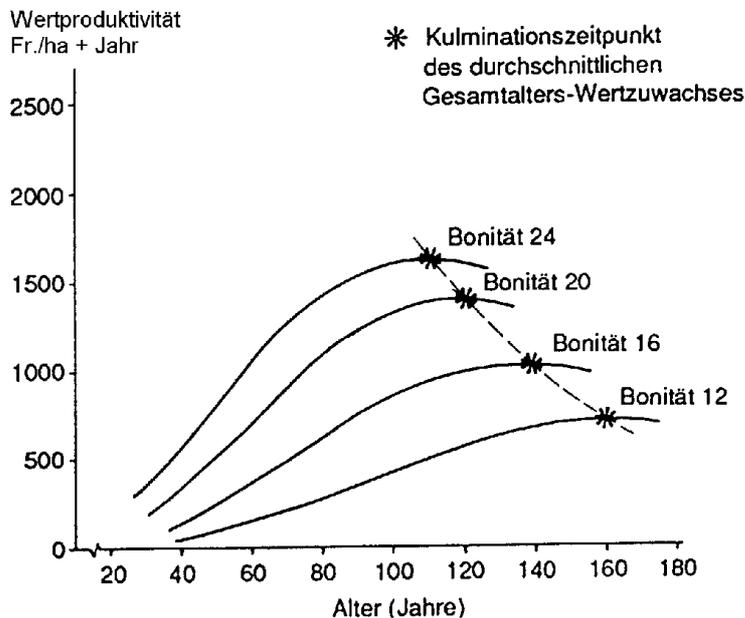


**Abb. 3.5:** Einfluss des Wertholzanteils auf die Wertproduktivität. Verlauf der Wertproduktivität. Eichen Modellbestockung nach Ertragstafel mit unterschiedlichen Anteilen an Fournieren.

Nach Bachmann (1990)

Höhere Fournieranteile führen wohl zu Erhöhung des Niveaus der Wertproduktivität. Sie haben aber kaum Einfluss auf den Zeitpunkt der Kulmination.

Der Einfluss der Bonität (Abb. 3.6) am Beispiel der Tanne hat hingegen sowohl Wirkung auf das Niveau der Kulmination wie auf den Zeitpunkt, weil bei niedrigeren Bonitäten der Durchmesserzuwachs und auch entsprechende Sortimentssprünge zeitlich verschoben sind.

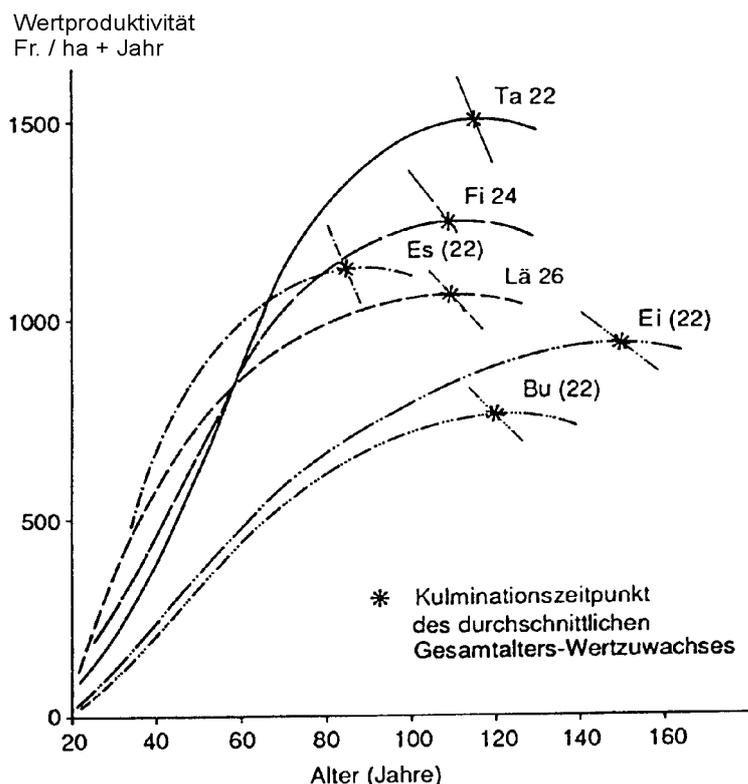


**Abb. 3.6:** Einfluss der Bonität auf die Wertproduktivität. Verlauf der Wertproduktivität

Tannenmodellbestockung nach Ertragstafel mit unterschiedlicher Bonität.

Nach Bachmann (1990)

Unterschiede zwischen den Baumarten sind für den Waldbau massgebend, weil hier nicht nur Unterschiede im Niveau der Sortimentspreise zwischen den Baumarten zur Geltung kommen, sondern auch die Sortimentsverhältnisse innerhalb der Baumarten.



**Abb. 3.7:** Verlauf der Wertproduktivität verschiedener Baumarten.

Nach Bachmann (1990)

Die Ergebnisse der Modellkalkulation von Bachmann (1990) sind in Abb. 3.7 ersichtlich. Sie wurden leider zur Zeit maximaler je erreichten Holzpreise in der Hochkonjunktur (1982/83) errechnet. In der Zwischenzeit sind die Holzpreise erheblich niedriger (um 30 bis 40 %; real bis 70 %).

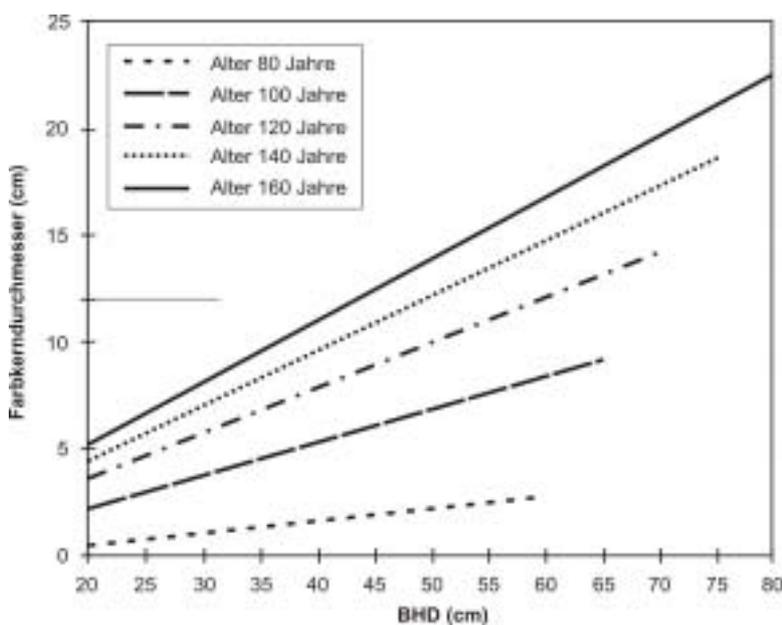
### 3.2.3 Faktoren der Holzentwertung

Der relative flache Verlauf der Wertproduktivität lässt einen gewissen Spielraum in der Einleitung der Verjüngung annehmen. Allerdings muss nicht vergessen werden, dass je nach dem vorgesehenen Fortschritt der Verjüngung dieser Spielraum notwendig ist z.B. bei langsamem Verjüngungsfortschritt in langen Verjüngungszeiträumen. Es ist voraussehbar, dass die Zunahme von holzentwertenden Phänomenen wie die Kernfäule den Verlauf der Kurve drastisch nach unten ziehen. Kalkulationen von Graber (1995) lassen deutliche Verkürzung des Kulminationspunktes der Produktivität bei der Fichte erkennen, wenn Rotfäule eintritt.

Weil die Alterung sehr unterschiedlich auf die technologischen Eigenschaften des Holzes wirkt, sind entsprechende Unterschiede in den Produktionszeiträumen der Baumarten erkennbar. Grosso modo unterscheiden wir Baumarten, deren Holz mit zunehmendem Alter an Qualität gewinnt. Es geht meistens um Baumarten, bei denen der Verkernungsprozess z.B. durch Farbkernebildung auf die Holzpreise positiv wirkt. Solche Baumarten wie Eiche, Föhre, Lärche, Douglasie, können länger als normal erhalten bleiben. Bei anderen Baumarten führt der gleiche Prozess der Verkernung zu unerwünschten Erscheinungen, bei der Esche z.B. zur Veränderung der Elastizitätseigenschaft. Zusammen mit dem Kirschbaum (Zunahme der Fäule), dem Nussbaum und der Kastanie (Bildung von Ringschäligkeit) bilden sie eine Gruppe von Baumarten, die frühzeitig zu beernten sind.

#### Rotkern der Buche

Bei der Buche ist die Verkernung (Rotkern) im Allgemeinen ein auf die Holzpreise deutlich negativ wirkender Faktor, obwohl es zu keiner Verminderung der Holzqualität kommt. Neuere Untersuchungen zeigen, dass die Farbverkernung der Buche sehr stark altersbedingt ist (Knoke, 2002, v. Büren, 1998, 2002). Soll daher weisses Holz erreicht werden, mit einem maximalen roten Kern von höchstens 12 cm (zulässig für Qualität A nach Gfeller, 1998), ist ein Umtrieb von 120 Jahren nicht wesentlich zu überschreiten (siehe Abb. 3.8).



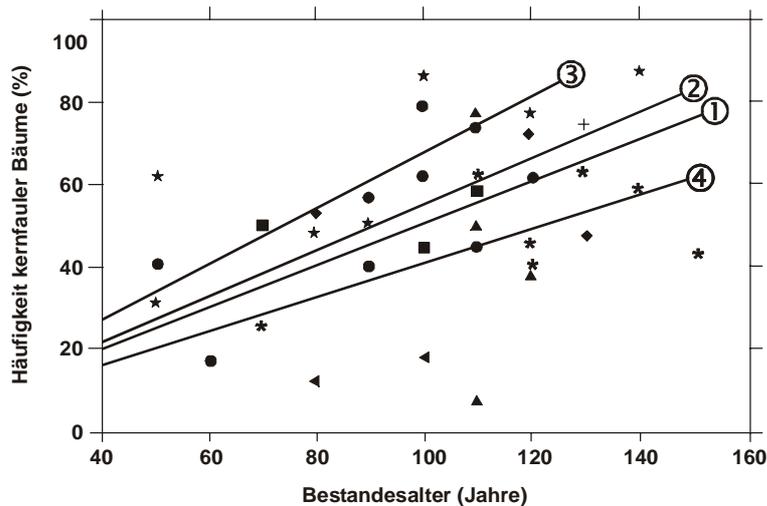
**Abb. 3.8:** Farbkerntwicklung bei der Buche in Abhängigkeit vom Alter und BDH.

nach Knoke (2002)

Darüber hinaus spielen waldbauliche Faktoren wie die Wahl der Typen mit günstiger Kronenarchitektur (Wipfelschäftigkeit) eine entscheidende Rolle, indem nicht verzweiselte Individuen eine 3,7 mal geringere Farbkerne-Wahrscheinlichkeit im Alter 100 als Verzweiselte

haben (Knoke, 2002). Auch die richtige Behandlung (angemessen aber nicht übermässig starke Durchforstung) hat einen günstigen Einfluss auf die Verlangsamung der Farbverkernung.

Die Zunahme der Fäulen ist im allgemeinen stark altersbedingt. Bei empfindlichen Baumarten wie der Fichte, ist diesem Problem genügend Beachtung zu schenken. Nach Untersuchungen von Graber (1995) zeigt sich bei dieser Baumart, dass Kernfäulen praktisch linear mit dem Alter zunehmen (Abb.3.9), mit deutlichen Unterschieden je nach Standorten. Eutrophe Buchenwälder (Milio Fageten) sind z.B. deutlich mehr befallen als Kalkbuchenwälder.

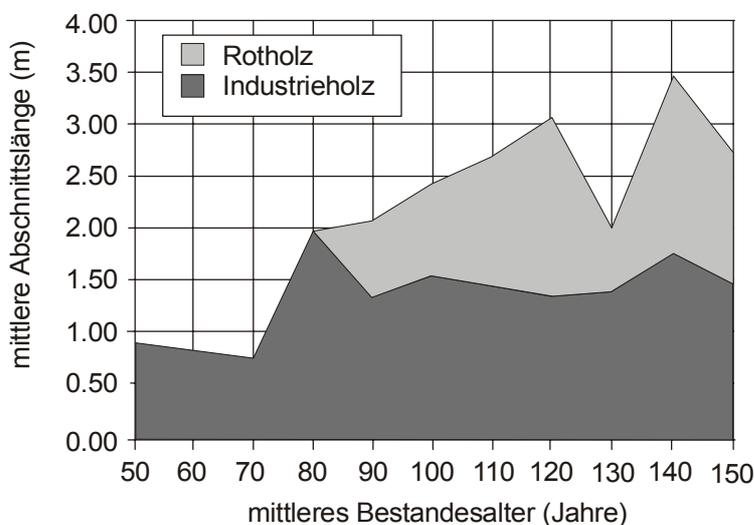


**Abb. 3.9:** Häufigkeit kernfauler Fichtenbäume in Abhängigkeit des Bestandesalters.

Nach Graber (1995)

- 1 saure Buchenwälder (EK 1, 6, 46)
- 2 eutrophe Buchenwälder (EK 7)
- 3 eutrophe Buchenwälder, montan (EK 8)
- 4 kalkreiche Buchenwälder (EK 9,12, 29)

Der Befall führt zur Abwertung des ökonomisch interessantesten Teils des Stammholzes bis auf 3 m Länge (Abb. 3.10). Als Rotholz ist es einigermaßen noch verwertbar. Mit zunehmendem Fortschritt des Ligninabbaus kann es nur noch als Industrieholz zweiter Klasse oder Brennholz verwendet werden. Es zeigt sich auch, dass die Naturverjüngung oder die Erziehung unter Schirm wesentlich zur Verhinderung bzw. zur Verzögerung dieser ungünstigen Erscheinung führt.



**Abb. 3.10:** Abschnittslängen infolge Rotfäule in Abhängigkeit des Bestandesalters.

Nach Graber (1995)

### 3.2.4 Kalkulierte, theoretische, optimale Produktionszeiträume

Tab. 3.11 zeigt die kalkulierten theoretischen, optimalen Verjüngungszeitpunkte für unterschiedliche Bonitäten und Wuchsregionen, nach Modellrechnung von Bachmann (1990).

Für solche Kalkulationen gelten bestimmte Preis-Sortiments-Verhältnisse bzw. Holzpreis-Gewinnungskosten-Verhältnisse. Die in Tab. 3.10 ausgeführten Ergebnisse gehen schon auf einige Jahre zurück (Preisbasis 1982/83). Mittlerweile hat sich die Situation sowohl bei den Sortimentspreisen wie auch bei den Holzgewinnungskosten z.T. erheblich verändert. So haben sich z.B. mit dem Vormarsch der maschinellen Verarbeitung (z.B. Vollernter oder Forwarder) die Gewinnungskosten vermindert. Bei den Holzpreisen haben innert einem Jahrzehnt die Industriesortimente viel mehr Kaufkraft verloren als die Rundhölzer. Neuerdings stehen bei Koniferen die nach den erreichten Dimensionen abgestuften Holzpreise der Rundhölzer unter starkem Druck, zu ungunsten der Preise für Starkhölzer.

**Tabelle 3.11** Errechnete Zeitpunkte der Kulmination der Wertproduktivität verschiedener Baumarten im Mittelland und in den Voralpen.

| Baumart |    | Bonität | Verjüngungszeitpunkte |          |
|---------|----|---------|-----------------------|----------|
|         |    |         | Mittelland            | Voralpen |
| Fichte  | 18 | 130-140 | 160-170               |          |
|         | 20 |         |                       |          |
|         | 22 |         |                       |          |
|         | 24 |         |                       |          |
|         | 26 |         |                       |          |
| Tanne   | 16 | 120-130 | 140-150               |          |
|         | 18 |         |                       |          |
|         | 20 |         |                       |          |
|         | 22 |         |                       |          |
|         | 24 |         |                       |          |
| Lärche  | 20 | 130-140 | 150-160               |          |
|         | 22 |         |                       |          |
|         | 24 |         |                       |          |
|         | 26 |         |                       |          |
|         | 28 |         |                       |          |
| Buche   | 14 | 150-160 | 200                   |          |
|         | 18 |         |                       |          |
|         | 22 |         |                       |          |
| Eiche   | 18 | 170-180 |                       |          |
|         | 22 |         |                       |          |
| Esche   | 18 | 100-110 |                       |          |
|         | 22 |         |                       |          |

Nach Bachmann (1990)  
Preis-Kosten-Basis 1982/83

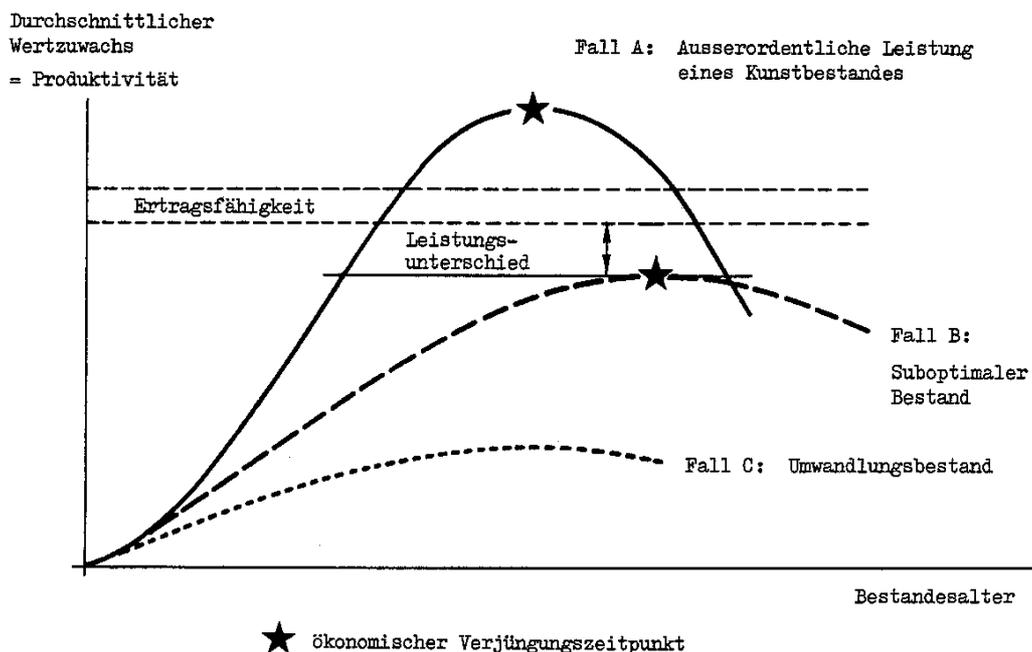
All das kann z.T. die errechnete ökonomische Umtriebszeit erheblich beeinflussen, so dass eine periodische Aktualisierung der Kalkulationen notwendig ist. Allerdings: Da die Waldproduktion naturgemäss in langen Zeiträumen erfolgt, ist es nicht sehr sinnvoll, diese wichtige betriebliche Richtgrösse der Umtriebszeit immer wieder zu ändern. Insbesondere kurzfristige, konjunkturrell bedingte Preisveränderungen sollten nicht als Anlass dazu genommen werden.

### 3.2.5 Verjüngungszeitpunkt bei nicht optimalen Bestockungen

Im Idealbestand (bei optimaler Baumartenzusammensetzung und waldbaulicher Behandlung) fällt der ertragskundliche Verjüngungszeitpunkt bei der Kulmination des durchschnittlichen Wertzuwachses zusammen (Abb. 3.12)

#### Beispiele bei nicht optimalen Bestockungen

Der zu verjüngende Bestand (Fall A) kann zum Beispiel bei nicht standortgerechten Kunstbeständen momentan wesentlich mehr leisten als es der Ertragsfähigkeit entsprechen würde. Der ertragskundliche Verjüngungszeitpunkt liegt in diesem Fall bei der Kulmination der Produktivität. Dabei muss aber vorausgesetzt werden, dass der nicht standortgerechte Bestand die Ertragsfähigkeit langfristig nicht beeinträchtigt, z.B. durch Bodenverschlechterung. Ist dies der Fall oder bringt die nicht standortgerechte Bestockung übermässige Risiken biotischer oder abiotischer Art mit sich, soll der waldbauliche Verjüngungszeitpunkt wesentlich vor den ertragskundlichen verschoben werden.



**Abb. 3.12:** Verjüngungszeitpunkt von Bestockungen, deren Leistung gegenüber der Ertragsfähigkeit abweicht.

Im Falle einer suboptimalen Bestockung (Fall B) zum Beispiel wegen schlechter Stammqualitäten wird die Ertragsfähigkeit auch bei der Kulmination der vorhandenen Produktivität nie erreicht. Der ertragskundliche Verjüngungszeitpunkt wird dann knapp vor der

Kulmination der realen Produktivität erreicht, gemäss dem Grundsatz der Verlustminimierung (siehe Abb. 3.4), weil dann die Leistungsunterschiede gegenüber der Ertragsfähigkeit am kleinsten sind. Ist jedoch der Leistungsunterschied zu gross wie beispielsweise beim Umwandlungsbestand (Fall C), entspricht das Verlustminimierungsprinzip einer baldmöglichen Verjüngung des Bestandes (siehe auch Abb. 3.4). Dieser Fall tritt nur in extrem schlechten Bestockungen ein.

### **3.2.6 Methoden der Erfassung des Ertragsvermögens**

Gemäss Beispiel in den Unterlagen der Übung „Verjüngungsdringlichkeit“ auf Grund von Inventaren, Werttarifen und Angaben über den Durchmesserzuwachs.

#### **Grundlagen für die Berechnung der Werttarife und für die Schätzung der Produktivität sowie des Ertragsvermögens**

Inventare:

Vollkluppierungen (1980 und 1990, abteilungsweise)

Nutzungen:

Stehendkontrolle (Lehrrevier 1980 bis 1990, abteilungsweise)

Zuwachs:

Berechnung mittels Kontrollmethode aus den Inventaren 1980 und 1990 und der Stehendkontrolle 1980 bis 1990. Der Zuwachs errechnet sich aus der Anzahl rückender Bäume pro Durchmesserstufe, multipliziert mit der Tariffdifferenz zur nächsten Durchmesserstufe. Der Zuwachs kann auch als Rückeprozent pro Durchmesserstufe (Anteil der bis 1990 rückenden Bäume an der Ausgangsstammzahl 1980) ausgedrückt werden. Die Rückeprozent sind bei kleinen Stammzahlen nicht aussagekräftig.

Zustand 2000 (+10 Jahre):

Die Extrapolation der Entwicklung der Stammzahlverteilung 1990 aufgrund der Rückeprozent der Periode 1980 bis 1990 ergibt die mutmassliche Stammzahlverteilung 2000. Es werden um 10 % reduzierte Rückeprozent angenommen, in Rücksicht auf die Verlangsamung des Durchmesserzuwachses (Annahme).

Quellen für die Werttarife:

- Tarif Lehrwald 1926
- Flury-Sortimentstafel für Fichte 1917
- Sortimente für Buche aus Erfahrungswerten im Lehrrevier
- Holzhauerei und Rücken: Richtwerttabellen von Pfeiffer et al. (WSL-Bericht 124)
- Preisvorschläge des Holzproduzentenverbandes des Kantons Zürich für die Schlagperiode 1996/97 und aktuelle Werte für Industrie- und Papierholz im Lehrrevier
- Löhne: Regielöhne 1996 des Verbandes Schweizerischer Forstunternehmungen
- Maschinen: Maschinentarife 1996 des Verbandes Schweizerischer Forstunternehmungen
- Holzpreise: Empfehlungen des Waldwirtschaftsverbandes Schweiz: Erlöse in Fr. m<sup>3</sup> (bei Industrie-Brennholz: Fr./Ster), Fichte mit Rindenabzug Fr. 12.-/m<sup>3</sup>, Buche nf-Qualität.

### **Grundlagen zur Ermittlung der Wertproduktivität eines Bestandes**

- Werttarif (erntekostenfreier Erlös nach BHD-Stufe, siehe Abb. 3.1)
- Zwei Stammzahlverteilungen (heute, in 10 Jahren; möglich wäre auch vor 10 Jahren, heute)
- Annahme über die Vornutzungen. Die Vornutzungen wurden wie folgt eingesetzt: 50 % des heutigen Wertes (Erlös [1990]). Da in diesem Alter keine Durchforstungen mehr durchgeführt werden, wird für beide Produktivitäten 50 % Vornutzung eingesetzt. Der angegebene Wert von 50 % für die Vornutzungen ist als grober Mittelwert zu verstehen. Er entspricht in etwa einer Einschätzung der für schweizerische Verhältnisse (mittlere Höhenlagen) praktizierten Durchforstungstätigkeit, in Anlehnung an langfristige Beobachtungen in ertragskundlichen Versuchsflächen Frankreichs (Pardé, 1981). Für die Baumart Buche zeigen sie im Alter 120, dass der Vornutzungsanteil 20 % in nicht durchforsteten Teilflächen, 40 % bei Niederdurchforstung und 60 % bei Hochdurchforstung ausmacht (Pardé, 1981).
- Alter des Bestandes

### **Berechnung der Produktivität des Bestandes:**

Produktivität (1990) = [Abtriebswert (1990) + Wert (Vornutzungen)] / Alter (1990)

Produktivität (2000) = [Abtriebswert (2000) + Wert (Vornutzungen)] / Alter (2000)

### **3.3 WALDBAULICHER UND ÖKONOMISCHER VERJÜNGUNGSZEITPUNKT**

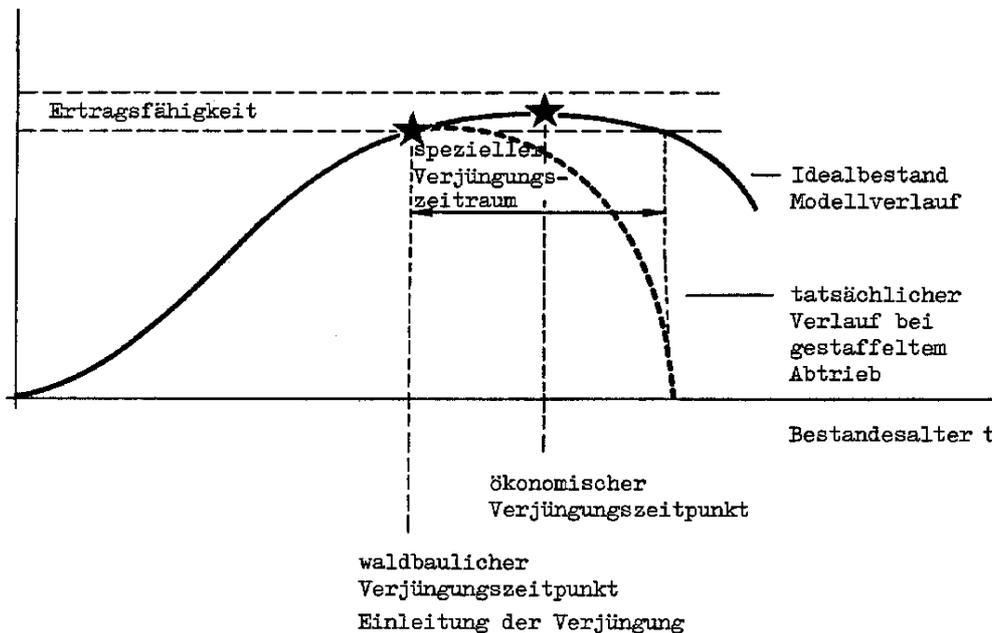
Da die Entscheidungen zur Verjüngung eines Bestandes nicht ausschliesslich auf Grund wirtschaftlicher und ertragskundlicher Überlegungen getroffen werden, ist es angebracht, zwischen dem waldbaulichen Verjüngungszeitpunkt und dem ökonomischen Verjüngungszeitpunkt zu unterscheiden (Abb. 3.13).

Der **waldbauliche Verjüngungszeitpunkt** entspricht dem Zeitpunkt der beabsichtigten Einleitung des Verjüngungsprozesses, d.h., dem Zeitpunkt der ersten Verjüngungsmassnahme, in der Regel dem Ansamungshieb oder Lichtungshieb unter Verwendung, eventuell bereits vorhandener Verjüngung. Dieser Entscheidung liegt eine umfassende Beurteilung der Lage in biologischer, ertragskundlicher, finanzieller und forsteinrichtungstechnischer Hinsicht zu Grunde.

Der **ökonomische Verjüngungszeitpunkt** entspricht dem Zeitpunkt der optimalen Ausnutzung der Produktivität des bestehenden Bestandes.

Die beiden Verjüngungszeitpunkte fallen nicht unbedingt zusammen. Bei langen speziellen Verjüngungszeiträumen wird im Normalfall der waldbauliche Verjüngungszeitpunkt etwa um den halben speziellen Verjüngungszeitraum **vor** dem ertragskundlichen Verjüngungszeitpunkt liegen.

Durchschnittlicher  
Wertzuwachs  
= Produktivität



**Abb. 3.13:** Schematische Darstellung des effektiven Verlaufes der Wertproduktivität bei langen Verjüngungszeiträumen und sukzessiver Reduktion der Bestockungsdichte.

### 3.4 KRITERIEN ZUR KONKRETEN FESTLEGUNG DER VERJÜNGUNGSDRINGLICHKEIT

Für eine wirkliche waldbauliche Entscheidung der Verjüngungsdringlichkeit ist primär das Ertragsvermögen anzusprechen. Beim Fehlen von Modellkalkulationen oder eigener Errechnung gemäss 3.2.6 müssen bezüglich des betreffenden Bestandes folgende Fragen berücksichtigt werden:

- Ist die Vitalität des Bestandes genügend gut, um den Durchmesserzuwachs zu erzeugen, welcher den Sortimentssprung gewährleistet?
- Erlauben die Dimensionen der Bäume noch einen Sortimentssprung?
- Ist der Gesundheitszustand genügend gut, um keine gravierende Holzentwertung zu verursachen?

Nach Graber (1996) deuten folgende Merkmale auf Rotfäulegefährdung in Fichtenbestockungen:

- Beulen am Stammfuss
- Alte Rückeschäden am Stammfuss und insbesondere an den Wurzelanläufen
- Sehr abholzige Stammform im unteren Bereich

Für den Farbkern der Buche gelten nach v. Büren (1998) und Knoke (2002):

- grobe Kronenarchitektur (ausladende Äste)
- Chinesenbärte (Narben von überwachsenen, früheren groben Ästen)

Wenn das Ertragsvermögen noch gross ist und der Bestand weiterhin leistungsfähig, bzw. seine Produktivität zunimmt, gibt es keine hohe Verjüngungsdringlichkeit. Es sei denn, es sollen sehr lange Verjüngungszeiträume angestrebt werden. Ist das Ertragsvermögen klein oder null, steht der Bestand kurz vor oder gerade bei der Kulmination der Wertproduktivität. Die Verjüngungsdringlichkeit ist gross. Ist das Ertragsvermögen negativ, wurde die Kulmination überschritten, und somit ist die Verjüngungsdringlichkeit sehr hoch.

Andere Kriterien als die Beurteilung des Ertragsvermögens sind:

- Vorhandensein von umgebenden, schon verjüngten Flächen,
- ungenügende Ausschöpfung der Ertragsfähigkeit

Es wird zwischen einer **allgemeinen** und einer **speziellen Verjüngungsdringlichkeit** unterschieden. Die allgemeine Verjüngungsdringlichkeit bezieht sich auf die Dringlichkeitsunterschiede zwischen Verjüngungseinheiten; die spezielle Verjüngungsdringlichkeit bezeichnet Unterschiede innerhalb der gleichen Verjüngungseinheit.

### 3.5 BEDEUTUNG DER NACHHALTIGKEIT

Die Bestimmung der Verjüngungsdringlichkeit erfolgt jeweils für die gleichfalls als Verjüngungseinheiten ausgeschiedenen Waldflächen im Rahmen der betrieblichen Planung. Dabei ist folgendes zu beachten: In Rücksicht auf die Verjüngungsnachhaltigkeit dürfen nicht beliebig viele Verjüngungseinheiten ausgeschieden werden, sondern nur so viele, welche die Sicherstellung einer nachhaltigen Verjüngung garantieren. Als Mass für die Bestimmung der Verjüngungsnachhaltigkeit und deren Kontrolle gilt die Fläche der jährlich abgedeckten Verjüngungen oder **Verjüngungsfläche**. Die anzustrebende Sollverjüngungsfläche in Rücksicht auf die Nachhaltigkeit wird als **Verjüngungspolitik** (VP) verstanden. Sie entspricht:

$$VP = \text{Waldfläche} / \text{durchschnittliche Umtriebszeit (U)}$$

Dabei entspricht U der mittleren Umtriebszeit, entsprechend den vor gesehenen Bestockungszielen (Baumartenanteile) für den Betrieb.

Je nachdem, ob zuviel oder zuwenig ausgeschiedene Verjüngungseinheiten gegenüber dem anzustrebenden nachhaltigen Verjüngungsgang vorhanden sind, ist eine Anpassung nötig.

Dabei hilft es, darauf zu achten, dass die Summe der ausgeschiedenen Verjüngungseinheiten in einem gewissen Verhältnis zur ganzen Waldfläche steht, unter Berücksichtigung der gewählten Verjüngungstempi. Bei einer Umtriebszeit von 120 Jahren und einem mittleren AVZR von 30 sollte z.B. ein Viertel der Waldfläche in Verjüngung stehen, d.h. als Verjüngungseinheit ausgeschieden sein. Sinngemäss errechnet sich die Sollgrösse der Verjüngungseinheitsflächen (VHFL, Summe aller einzelnen Verjüngungseinheiten) folgendermassen:

$$\text{VHFL} = (\text{AVZR} / \text{U}) \times \text{F}$$

wobei:

AVZR der mittlere allgemeine Verjüngungszeitraum,

U die mittlere Umtriebszeit,

F die Waldfläche ist

Diese Anpassung kann entweder durch Deklassierung von Verjüngungseinheiten (in Pflegeeinheiten) oder durch Veränderung des Verjüngungstempos (gemessen am allgemeinen Verjüngungszeitraum AVZR der Verjüngungseinheiten) erfolgen.

## 4. DIE MODALITÄTEN DER NATURVERJÜNGUNG

### 4.1 ZIELHIERARCHIE

Nachdem Ort und Zeitpunkt der Verjüngung betrachtet wurden, geht es nun um die Art und Weise der Realisierung, d.h. wie der Verjüngung zu steuern ist.

Abb. 4.1 stellt den Zielrahmen der für die Festlegung der Waldbautechnik wichtigen Einflussgrößen und ihrer hierarchischen Zuordnung dar. Der ganze Verjüngungsprozess steht im Rahmen einer übergeordneten Zielhierarchie. Die Grundsätze eines naturnahen und polyvalenten Waldbaus, welche auf die Erfüllung mehrerer Bedürfnisse ausgerichtet sind, stehen hierarchisch zuoberst. Sie werden im sog. Waldbauziel subsumiert und formuliert und gelten auf Betriebsebene oder höher (d.h. Region). Heute werden sie im Rahmen des Waldentwicklungsplanes (WEP) festgelegt. Konkret heisst das, dass die Begründung von standortgerechten, zielkonformen Baumarten möglichst in adäquater Mischungsform anzustreben ist, in Rücksicht auf das Prinzip der Adaptabilität und der Risikenverteilung und -minderung.

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen wie Kahlhiebverzicht sind selbstverständlich vorausgesetzt. Zur Frage der Definition des Kahlhiebes siehe Abschnitt 8.2.1.

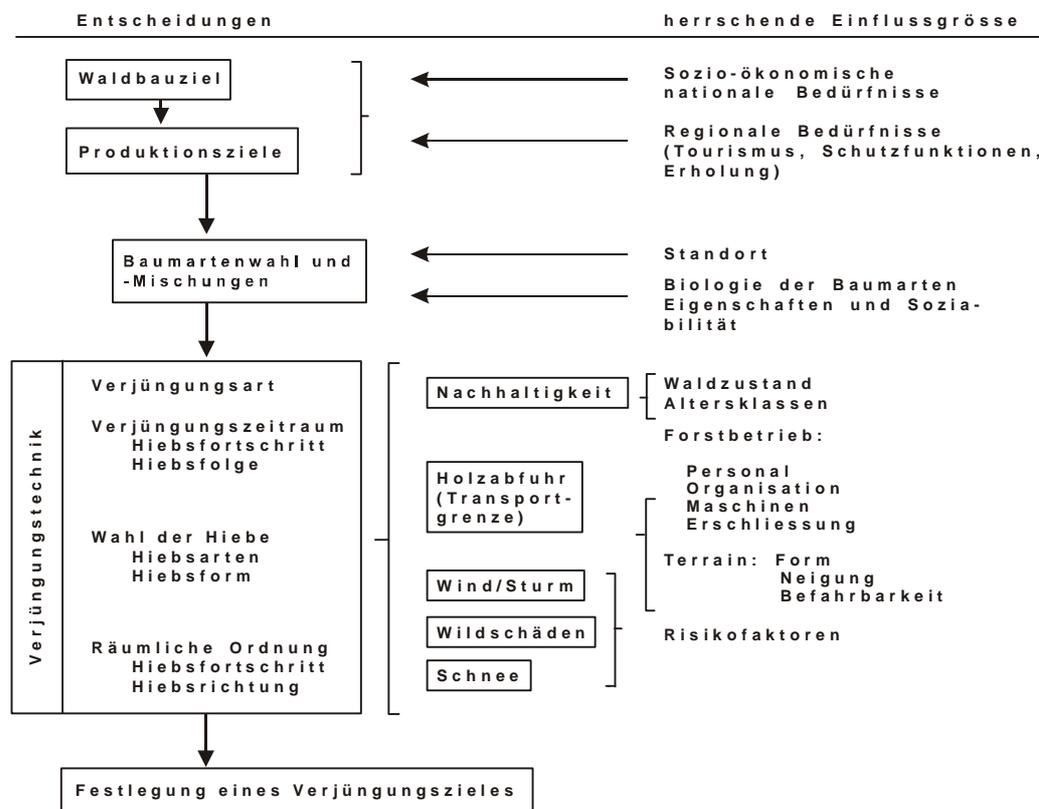


Abb. 4.1: Schematische Darstellung des Zielrahmens für die Verjüngungstechnik.

Die **Produktionsziele** formulieren auf regionaler Ebene die zu erfüllenden Leistungen, welche der Wald erbringt. Was die Holzproduktion anbelangt, wird z.B. entschieden, welchem Anteil der Holzproduktion eine hohe Wertschöpfung zu Grunde liegen soll, weil davon das ganze Konzept der Veredlung durch Waldpflege und damit die Intensität der Bewirtschaftung abhängig ist. Der Input an Pflegeeingriffen für eine hohe Wertleistung ist heute derart kostspielig, dass nicht generell die ganze Bestockung mit gleicher Intensität zu pflegen ist, sondern nur die dazu geeigneten Einzelelemente (die Z-Bäume). Heute führen situative Produktionskonzepte zur Verbindung unterschiedlicher Zielkomponenten: Hohe Wertschöpfung für die besten (Z-Bäume) und Begleitproduktion (z.B. als Energieholz) für den Rest.

Die Wahl der Baumarten ist der Verjüngungstechnik übergeordnet, weil sie von den übergeordneten Zielen bzw. von den standörtlichen Gegebenheiten direkt abhängt. Es gilt primär, standortsangepasste, zielkonforme, wie vielfältigen adäquaten Mischungen anzustreben.

Andererseits zwingt uns heute die Ertragskrise der Holzproduktion weg von einer **deterministischen** Zielvorgabe hin zu einer **opportunen** überzugehen (Schütz, 1999). D.h., dass viel mehr mit der sog. Naturautomation vorzugehen ist. Bezüglich Verjüngungsziele bedingt dies, dass man erstens viel mehr mit der Naturverjüngung arbeiten, und zweitens viel mehr die Mischungsanteile, welche die Natur liefert, übernehmen soll.

Selbstverständlich gibt es eine Rückkoppelung zwischen Baumartenwahl und Verjüngungstechnik, und das Ganze entspricht einem Optimierungsprozess. Primär gilt die Erfüllung übergeordneter Ziele. Zu überlegen ist allerdings, ob im Sinne der Zielerfüllung (Naturnähe vs. Diversität) die Erreichung von Naturverjüngung eine höhere Hierarchie aufweist als die Begründung von möglichst baumartenmässig vielfältigen Bestockungen, welche Vielfalt die Verwendung der Pflanzung, mindestens teilweise benötigt. Das Ganze muss darüber hinaus in Rücksicht auf die Kosten analysiert werden. Die Begründungskosten sind im Prinzip tiefer bei der Naturverjüngung, wobei sehr dichte Naturverjüngungen erhöhte Kosten der Stammzahlreduzierung bei der Jungwaldpflege bewirken. Heute soll ein Kompromiss zwischen Naturautomation (Naturverjüngung) und Ökonomie (baumzahlarme Bestockungen) angestrebt werden.

Die Prinzipien der Baumartenwahl, bzw. damit sehr eng verbunden deren Mischungsmöglichkeiten bzw. Provenienzwahl, werden später, im Skript Waldbau III, behandelt.

## 4.2 VERJÜNGUNG UND BIODIVERSITÄT

Neue Bedürfnisse bezüglich Biodiversität bzw. Förderung der Naturwerte setzen voraus, dass die Verjüngungskonzepte vermehrt als bisher in Richtung Förderung der Erneuerungsvielfalt sich entwickeln sollen (Schütz, 1997).

Bezüglich Vielfalt können wir vorzugsweise und effizienter Weise die Biotopvielfalt durch eine absichtliche Kombination der Hiebsarten (und sogar der Betriebsarten) wesentlich prägen, vielmehr als bisher. Dem Prinzip der freien Hiebsführung kommt eine gesteigerte Bedeutung zu. Gefragt sind hier sowohl die Verjüngung in der Kleinlochstellung wie auch auf grösseren Verjüngungsflächen, sowohl langdauernde Verjüngung unter Schirm wie raschere Verjüngungstempi, sowohl lichte Wälder wie dunkle usw.

### 4.3 WALDBAU UND ÖKOSYSTEMGERECHTE BEWIRTSCHAFTUNG

Ein echter, naturverträglicher Waldbau bedarf der Integration aller Massnahmen auf sehr unterschiedlichen Ebenen. Bisher war die Holznutzung skalenbestimmend in der waldbaulichen Entscheidung, d.h., die Entscheidung vollzog sich auf Bestandesniveau. Wir waren uns gewohnt, in Massstäben von Beständen zu denken und zu arbeiten. Moderner Waldbau bedarf der Integration auf wesentlich grösseren Skalen bis (für habitatsgestalterische Arbeit) Gelände- und Landschaften. Wir müssen die Aufgabe viel mehr nach dem Verschachtelungsprinzip lösen wie bei den russischen ineinander geschachtelten Puppen (Oldeman, 1991). Dabei bleibt nach wie vor die waldbauliche Grundeinheit mehr oder weniger der Bestand, weil sich auch die gestalterischen Operationen (die Waldbau eingriffe) auf dieser Ebene vollziehen. Es ist irreführend zu glauben, dass zukünftig nur Ökosystemgestaltung (oder sog. Ökosystemmanagement) diese Art Probleme lösen kann. Vielmehr geht es darum, die waldbauliche Behandlung im Einklang mit übergeordneten Zielen auf unterschiedliche zeitliche wie räumliche Skalen und Ebenen zu bringen, und dies bedingt auch entsprechende forstbetrieblich ausgelegte Führungs- und Planungsinstrumente (Schütz, 1999<sup>b</sup>).

### 4.4 DIE VERJÜNGUNGSTECHNIK

Unter dem Begriff **Verjüngungstechnik** verstehen wir alles, was die Art und Weise des Verjüngungsfortschrittes charakterisiert. Dabei geht es um:

- Die Wahl der Verjüngungsart (Naturverjüngung oder Pflanzung)
- Die Verjüngungszeiträume, gekennzeichnet durch den Hiebsfortschritt und die Hiebsfolge
- Die Hiebswahl: Hiebarten und Hiebformen
- Die räumliche Anordnung der Verjüngung (räumliche Ordnung)

Diese bilden zusammen ein Bündel von waldbaulichen Möglichkeiten, eine Verjüngung zu führen im Sinne vielfältig wählbarer Vorgehen (freie Hiebartenwahl nach Leibundgut). In den nächsten Kapiteln werden die wichtigen Grundlagen zu diesen verjüngungstechnischen Mitteln diskutiert.

## 5. DIE WAHL DER VERJÜNGUNGSART

Grundsätzlich gibt es zwei Verjüngungsarten: die **Naturverjüngung** bzw. die **Kunstverjüngung**. Im ersten Fall entsprechen die Nachkommen genetisch betrachtet dem vorhandenen Mutterbestand, im zweiten Fall wird auswärtiges Vermehrungsmaterial eingeführt, was die Frage ihrer Angepasstheit aufwirft.

Es ist nicht nur bezüglich genetischen Voraussetzungen zwischen den Verjüngungsarten (natürlich vs. künstlich) zu unterscheiden, sondern zwischen den Vermehrungsarten (generativ vs. vegetativ). Unterschiede zwischen diesen zwei Formen sind nicht nur verjüngungstechnisch relevant, sondern davon hängen die ganzen genökologischen Konsequenzen ab, nämlich die genetische Zusammensetzung der Nachkommen. Tab. 5.1 zeigt die mögliche Kombination beider Grundformen der Verjüngung und der Vermehrung.

**Tabelle 5.1** Die mögliche Kombination von Verjüngungsart und Grundformen der Vermehrungsbiologie (generative vs. vegetative Vermehrung).

| Vermehrungsart ⇒ | Generativ   | Vegetativ   |
|------------------|---|---|
| Verjüngungsart ↓ |   |   |
| Naturverjüngung  | Ansamung:<br>- Anflug (Verbreitung der Samen durch Luft)<br>- Aufschlag (Verbreitung durch Schwerkraft) | - Stockausschläge<br>- Wurzelbrut<br>- Ableger (selten)<br>- Apomiktisch (selten) |
| Kunstverjüngung  | - Pflanzung (nacktwurzellig oder mit Erdballen)<br>- Direktsaat   | - Stecklinge<br>- Gewebekulturen (Mikropropagation)                               |

Im Sinne der Erhaltung genökologisch vielfältiger Populationen bzw. anpassungsfähiger Populationen ist der Unterschied sowohl der Verjüngungsart wie auch der Vermehrungsart nicht unwesentlich. Dies erfordert eine Diskussion in genökologischer Hinsicht (siehe Kap. 5.2).

Heute dominiert in der Praxis die Vermehrungsform der generativen Verjüngung, nämlich die Ansamung, bzw. die Pflanzung. Es war nicht immer so. Bis gegen Ende des 19. Jahrhunderts dominierte zumindest für Laubwaldstandorte die Form des Stockausschlagwaldes, welche die Forstwirtschaft während mehrerer Jahrhunderten, gar Jahrtausenden, prägte. In südeuropäischen Ländern und in tropisch und subtropisch trockenen Klimata dürfte die Selbsterneuerung auf dem Stock heute nach wie vor grosse Vorteile aufweisen.

In der Schweiz besteht, gemäss Erhebungen des Landesforstinventars, ein Gradient zwischen Kunst- und Naturverjüngung und der Höhenlage (siehe Tab. 5.2). In tieferen und mittleren Lagen dominiert die Pflanzung (sie machte 1984 etwa 2/3 im Mittelland aus). Allerdings veränderte sich zwischen 1984 und 1994 die Situation im Mittelland erheblich. Die Pflanzung machte 1994 nur noch 45 % aus. Wegen der immer stärker mitbestimmenden ungünstigen Ertragslage in den Forstbetrieben dürfte sich eine solche Tendenz zur Ausnützung der Naturverjüngung noch deutlicher abzeichnen.

In montanen und höheren Lagen dominiert weitgehend die Naturverjüngung. Der Grund liegt in der geringeren Konkurrenz durch die Schlagflora, sowie die Abnahme der Herrschaft von Laubholzarten.

**Tabelle 5.2** Verteilung der Verjüngungsarten in der Schweiz nach Regionen gemäss Erhebung 1982-86 sowie der Folgerhebung 1994 des Landesforstinventars. Brassel u. Brändli (1999), Mahrer (1988)

| Regionen       | Anteil Naturverjüngung<br>% |           | Anteil Kunstverjüngung<br>% |           |
|----------------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|
|                | 1984                        | 1994      | 1984                        | 1994      |
| Mittelland     | 36                          | 55        | 64                          | 45        |
| Jura           | 49                          | 83        | 51                          | 17        |
| Voralpen       | 66                          | 82        | 34                          | 18        |
| Nordalpen      | 91                          | 92        | 9                           | 8         |
| Südalpen       | 95                          | 97        | 5                           | 3         |
| <b>SCHWEIZ</b> | <b>67</b>                   | <b>83</b> | <b>33</b>                   | <b>17</b> |

NB: Bei Erhebung von Mischverjüngungen wurden die Flächen je zur Hälfte den zwei Gruppen zugeordnet.

Spezielle Formen der vegetativen Vermehrung mit Wurzelbrut gelten für seltene und konkurrenzschwache Baumarten wie die Sorbusarten. Apomixie ist eine recht wenig bekannte Form der geschlechtslosen Vermehrung, die bei gewissen Arten und Gruppen (wie die Rosaceen) nicht unrelevant sein dürfte, insbesondere eine Rolle spielen könnte bei der Erhaltung und Vermehrung von natürlichen spontanen Hybriden (z.B. bei *Sorbus intermedia*) nach Asker und Jerling (1972). Ableger bilden sich nur in ganz besonderen Situationen, z.B. Bildung von Baumkolonien in Lawinenzüge (Schönenberger, 1978).

Mit der Diskussion um sog. genetische Manipulation (transgenische Organismen) soll die in gewissen Nachbarländern bestehende Tendenz der Waldpflanzenvermehrung durch Klone oder Klöngemische, insbesondere für intensive Formen der Lignikultur (Holzackerbetrieb), kurz erwähnt, aber nicht besonders diskutiert werden. Diese Formen sind viel mehr der Landwirtschaftsproduktion nachgebildet als Elemente der naturnahen Forstwirtschaft. Sie bergen eine Gefahr der Unangepasstheit und weisen somit hohe Risiken auf.

## 5.1 VERMEHRUNGSBIOLOGISCHE GRUNDLAGEN DER WALDVERJÜNGUNG

### 5.1.1 Fruktifikationen

Die Waldbäume sind spät in ihrer Entwicklung mannbar und viele fruktifizieren unregelmässig. Genügende Fruktifikation (auch Masten genannt) stellt für insbesondere schwersamige Baumarten (wie Bu, Ei) eine Grundvoraussetzung bei ihrer natürlichen Verjüngung dar.

Für eine erfolgreiche Fruktifikation braucht es eine günstige Konjunktion von verschiedenen Faktoren, nämlich:

- genügend Wärme im Jahr zuvor, welche notwendig ist für die Bildung der Blütenanlagen in den Blütenknospen,
- günstige Witterung während des Pollenflugs im Frühling. Nasse Witterung verhindert die notwendige Propagation des Pollens,
- keine zu starken Fröste in der Blühphase im Frühling,
- günstige Witterung während der Phase der Fruchtbildung.

Darüber hinaus erklären physiologische Gründe, warum auch bei optimaler Konstellation der oben erwähnte Faktor nicht immer zu einer genügenden Mast führt. Es geht nämlich darum, dass eine Mast einen hohen Anteil an Reservestoffen, insbesondere von Phosphor, mobilisiert. Oswald (1981) hat z.B. gezeigt, dass eine Vollmast der Buche eine Biomasse von 4 tn/ha ausmacht. Das entspricht 1,3 mal der Biomasse des Laubes oder 70 % des jährlichen Holzzuwachses. In der Tat lassen sich Vollmasten an einer deutlichen Reduktion der Jahrringbreite dendrochronologisch nachweisen.

Bezüglich Samenfalldichte ergibt eine **Buchenvollmast** im Schnitt 150 Eckern pro m<sup>2</sup> (oder **1,5 Mio. pro ha**). Diese Zahl kann bei extrem günstigen Masten wesentlich höher ausfallen; z.B. 7.0 Mio./ha bei der Vollmast 1976 (Dohrenbusch, 1990). Nach einer Vollmast müssen zuerst die Nährstoffreserven wieder mobilisiert werden, bevor eine weitere Fruktifikation überhaupt möglich wird. So kann es passieren, dass Buchen z.B. einen guten Fruchtbehang aufweisen, davon aber eine hohe Zahl von tauben Eckern.

Daraus wird auch klar, dass der Nährgehalt des Bodens einen Einfluss auf die Fruktifikationen ausüben kann. Gesetztfalls wirkt eine insbesondere P-haltige Düngung günstig. Der waldbauliche Pflegezustand, namentlich gut entwickelte Kronen, spielt auch eine Rolle. Entsprechend Pflegeanweisungen gelten für die Behandlung von Samenerntebeständen. Dagegen ist nach Burschel et al. (1986) kein Zusammenhang zwischen Baumvitalität und Keimfähigkeit der Samen festzustellen, sondern höchstens mit dem für den Anwuchserfolg relevanten Gehalt an Reservestoffen.

Nach der Menge des Fruchtertrages unterscheiden wir die Masten oder Fruktifikationen wie folgt:

| Bezeichnung | Anteil der Samenproduktion gemessen am Mittelwert einer Vollmast % |
|-------------|--|
| Vollmast    | 70 – 100   |
| Halbmast    | 40 – 70  |
| Teilmast    | 10 – 40  |
| Sprengmast  | < 10   |

Bei Teilmasten, bzw. Sprengmasten gibt es nicht nur eine Reduktion der Fruchtmenge, sondern die Anzahl fruktifizierender Bäume ist wesentlich kleiner, so dass die Voraussetzungen für einen guten Genfluss väterlicherseits wesentlich geringer sind. Entsprechend grösser ist die

Gefahr von Genverarmung. Für kommerzielle Zwecke empfiehlt es sich, Saatgut aus solchen Teilmasten nicht zu ernten bzw. zu verbreiten.

Die Erfahrung zeigt, dass Vollmasten bei der Buche etwa alle 10 Jahre vorkommen, bei der Eiche in noch grösserem Abstand. In der Schweiz z.B., wo die Eiche an der oberen Grenze ihrer Höhenverbreitung steht, können ohne weiteres 25 Jahre zwischen Vollmasten vergehen. Für Norddeutschland gelten als Vollmasten der Buche die Jahrgänge 1945, 1976, 1982, 1984 und 1998. Dazu kommen noch günstige Fruktifikationen in 1948, 1956, 1960, 1965, 1974 und 1987. Allerdings zeigen Beobachtungen in Hessen, dass die Wiederkehr von guten Fruktifikationen seit Mitte der 80er Jahre wesentlich öfter stattfindet (Paar et al. 2000).

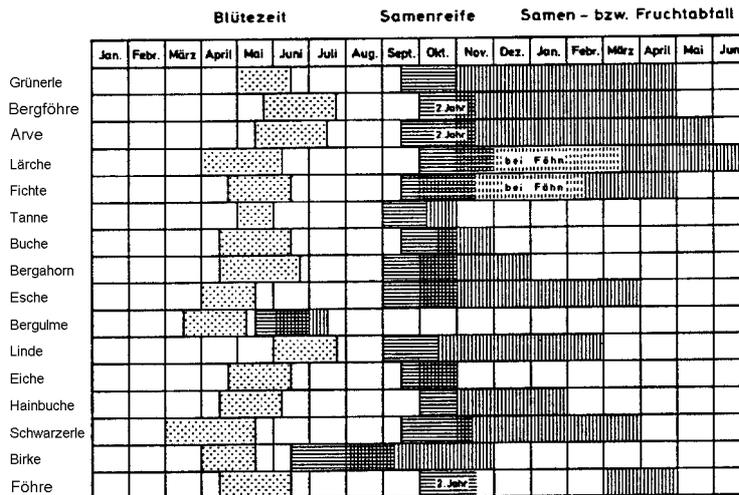
**Tabelle 5.3:** Fruktifikationsrhythmus der wichtigsten Baumarten.

| Baumarten   | Blühreife<br>Im Alter | Verteilung der Fruktifikationen<br>innerhalb eines Jahrzehntes |                            |                             | Merkmale der<br>Samenreife                     |
|-------------|-----------------------|--|----------------------------|-----------------------------|--|
|             |                       | Teil-<br>Ernten<br>10-40 %                                     | Halb-<br>Ernten<br>40-70 % | Voll-<br>Ernten<br>70-100 % |  |
| Arve        | 70-90                 | 1-2  | 1                          | 0,5-1                       | Weisses Endosperm<br>4 Wo nach Reife           |
| Lärche      | 30-40                 | 3  | 2                          | 1                           | Nachreife bis Dez.                             |
| Fichte      | 50-60                 | 3  | 2                          | 1                           | Samenkörner rostbraun                          |
| Föhre       | 30-40                 | 5  | 2                          | 1                           | Nachreife bis Dez. erhöht<br>die Keimfähigkeit |
| Tanne       | 60-80                 | 4  | 2                          | 2                           | Same bräunlich                                 |
| Buche       | 50-80                 | 3  | 1                          | 1                           | Beim Schütteln: Abfall                         |
| Ahorn       | 30-50                 | 4  | 3                          | 1                           | Nach Laubfall (braune F.)                      |
| Esche       | 30-50                 | 3  | 2                          | 3                           | Nach Laubfall (gelb-braun)                     |
| Linde       | 30-50                 | 4  | 3                          | 3                           | Nach Laubfall                                  |
| Ulme        | 40-60                 | 2  | 3                          | 4                           | Abfall Beginn (gelb-braun F)                   |
| Eiche       | 50-80                 | 4  | 1                          | 1                           | Beim Schütteln: Abfall                         |
| Hainbuche   | 30-40                 | 1  | 3                          | 3                           | Abfall Beginn (harte Frucht-<br>Schale)        |
| Schwarzerle | 20-30                 | 2  | 3                          | 3                           | Früchte rotbraun                               |
| Birke       | 20-30                 | 2  | 3                          | 3                           | Zäpfchen bräunlich-gelb,<br>aufspringend       |

Nach Rohmeder (1972); In: Mayer (1977)

Tabelle 5.3 zeigt die Unterschiede bezüglich Wiederkehr der Fruktifikationen bzw. der Fruktifikationsintensität für die wichtigen Baumarten. Daraus ersichtlich sind Gruppen von Bäumen mit häufigem Fruktifikationsrhythmus. Es sind leichtsamige Baumarten, meistens mit Pioniercharakter wie Pa, Er, Wei erkennbar. In einer anderen Gruppe findet man Baumarten mit relativ regelmässigen Fruktifikationen wie Fi, Fö. Zu den Baumarten mit alternierenden Fruktifikationen gehören Ta und Bu, sowie mit noch starkem Unterbruch die schwersamige Ei und Arve.

In der zeitlichen Abfolge bestehen zwischen der Phase der Blüte, Reife des Fruchtstandes bzw. Befreiung der Samen (Samenfall) z. T. erhebliche Unterschiede zwischen den Baumarten. Abb. 5.4 gibt Auskunft über solche Unterschiede. Die Kenntnis dieser Blühungsbiologie könnte von Bedeutung sein für die Samenernte zwecks Nachzucht im Forstgarten, insbesondere bei Baumarten mit hoher Samenruhe (oder Dormanz) wie Es, Habu, Li (sogenannt überliegende Baumarten). In solchen Situationen erlaubt eine Ernte im grünen Zustand, d.h. vor der Samenreife und vor dem Einsetzen der Dormanz gute Keimerfolge (Suszka, 1979; Müller, 1992; Suszka et al., 1994).

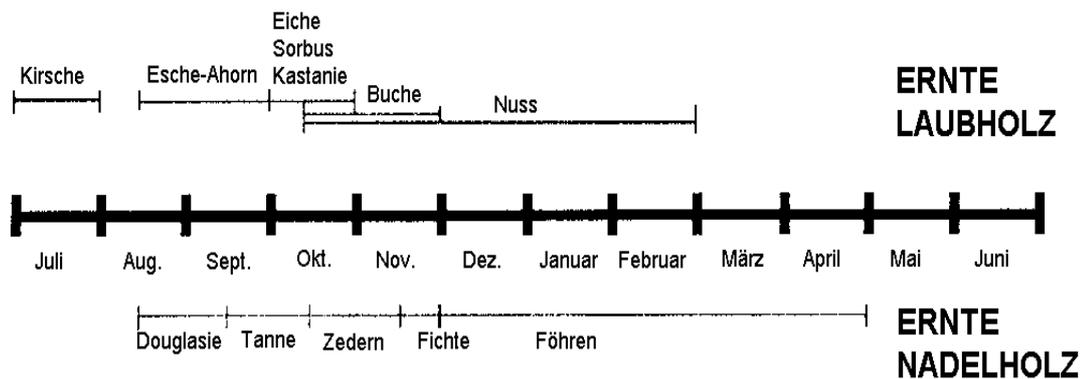


**Abb. 5.4:** Blütenreife, Samenreife und Samenabfall der wichtigsten Baumarten. Nach Mayer (1977)  
 Jahreszeitlicher Witterungsablauf und lokaler Standort (Höhenlage, Lokalklima) können vor allem bei Samen bzw. Fruchtabfall zu merklichen Verschiebungen führen.

So ist das Saatgut gewisser Baumarten sehr früh zu ernten (UI, Bi), anderes wie Habu und Lärche wesentlich später. Es ergibt sich für die Planung der Samenernte der in Abb. 5.5 dargestellte jährliche Zeitplan, getrennt dargestellt für Laubholz und Nadelhölzer.

Für die Praxis der Naturverjüngung ist festzuhalten, dass nicht das ganze Samenangebot zu entwicklungsfähigen Pflanzen führen kann. Wie Beobachtungen von Dohrenbusch (1990) an Buchen in Norddeutschland aufzeigen, kann nur ein Teil des Saatgutes Sämlinge produzieren. Ein Teil keimt nicht sofort wegen der Dormanz, ein Teil ist taub und ein nicht unbeträchtlicher Teil wird von Insekten und Pilzen parasitiert. Letzteres gilt insbesondere für die früh (anfangs Oktober) fallenden Eckern.

Verschiedene Tierarten ernähren sich von den nährstoffreichen Schwersamen, insbesondere Eicheln und Bucheckern. Viele verzehren Grossteile bzw. ganze Fruktifikationen und können unter Umständen ein Aufkommen der Verjüngung verhindern. Rehe und Schwarzwild sowie kleine Säuger (Erdmäuse, Spitzmäuse) fressen Eicheln, dazu kommt die Predation durch Insekten. Bucheckern sind besonders von Insektenlarven parasitiert, diese können grosse Verluste insbesondere bei unvollständigen Fruktifikationen verursachen (Nilsson, 1985). Unter den Vögeln sind Ringeltaube (*Columba palumbus* L.) und Bergfink (*Fringilla montifringilla* L.) an Vollmasten gebunden.



**Abb. 5.5:** Jährlicher Zeitplan für die Samenernte (Erntekalender).  
nach Fournier (1996)

Andere Tierarten können eine ausschlaggebende Rolle für die Weiterverbreitung der Samen (sog. Zoochorie) spielen, da sie für die Winterzeit als Nahrungsreserve Samenlager anlegen und somit die Besiedlung von Orten ohne Samenbäume sichern. Wir werden auf diese Frage in Abschnitt 5.1.3 speziell eingehen.

### 5.1.2 Die Keimruhe oder Dormanz

Die Samendormanz (oder Keimruhe) ist ein Phänomen, welches bewirkt, dass Samen, in sonst für die Keimung günstiger Faktorenkonstellation von Licht, Wärme und Feuchte, trotzdem nicht keimen. Sie ist nicht nur für die Samenaufbewahrung bzw. Forstpflanzenzucht von Bedeutung, sondern spielt auch eine Rolle für die Praxis der Walderneuerung, indem viele Samen von Waldpflanzen eine tiefe Keimruhe aufweisen und somit erst nach zwei Winterperioden oder sogar wesentlich später keimen. Solches sog. **Überliegen** der Keimung ist bei Es, Li, Habu bekannt. Bei fruchtigen Samen (Kirsche, Sorbusarten) führen keimhemmende Stoffe im Fruchtfleisch oder in der Fruchtschale zur Keimruhe. Erst nachdem das Fruchtfleisch verwest oder künstlich entfernt worden ist, kann die Keimung erfolgen (Clergeau, 1992).

Neuerdings erkennt man, dass eine ausgesprochene tiefe Dormanz von mehreren Jahrzehnten, welche einen kleinen Teil des Saatgutes betrifft, einer der wichtigsten erhaltungsbiologischen Faktoren bei vielen Blütopflanzen darstellen und somit die Überlebensstrategie in sog. **Samenbanken** (oder Diasporen) erlaubt zu erklären (Rees, 1988; Venable et al. 1988, Brown et al. 1986; Fischer, 1987; Leck et al. 1989). Im Boden versteckte hochdormante Samen können nach Katastrophen oder nach maschineller Bodenverletzung (durch Holznutzung) an die Oberfläche gelangen und somit zur Keimung gebracht werden.

In der Praxis der Pflanzennachzucht wird die physiologische Dormanz durch sogenannte **Stratifizierung** aufgehoben, nämlich durch die Aufbewahrung des Saatgutes in einem feuchten und kalten Milieu, z.B. bei 3° Grad C während mehrerer Wochen (bei Bu mindestens 6). Die Dormanz kann auch im Labor durch ganz gezielte Kälte- und Wärmeschocks einer bestimmte Dauer aufgehoben werden (siehe dazu Müller, 1992). Eine solche Technik ist schon seit längerer Zeit in der Landwirtschaft bekannt unter der Bezeichnung Saatgutbehandlung oder auch Vernalisation.

Nach Baskin und Baskin (1989) kann man die in Tab. 5.6 dargestellten Formen bzw. Ursachen der Dormanz unterscheiden:

**Tabelle 5.6:** Typen; Ursachen und Eigenschaften der Dormanz der Pflanzen.

| Typ                  | Ursachen  | Eigenschaften des Embryos                   |
|----------------------|---|---|
| Physiologisch        | Keiminhibizierendes Mechanismus im Embryo               | Voll entwickeltes Embryo, dormant           |
| Physikalisch         | Samenschale für Wassereintritt dicht                    | Voll entwickelt E., nicht-dormant           |
| Gemischt             | Kombination Keimhemmung und Wasserdichte                | Voll entwickelt E., dormant                 |
| Morphologisch        | Embryo unvollständig entwickelt                         | Nicht vollständig entwickelt E.             |
| Morpho-physiologisch | Sowohl unvollst. Embryo wie Mechanismen der Keimhemmung | Nicht vollständig entwickelt E. und dormant |

Nach Baskin und Baskin (1989)

### 5.1.3 Verbreitung der Samen

In der Regel führt die abiotische Verbreitung der Samen, meistens durch Windverfrachtung, zu nicht sehr grossen Distanzen. Wie Beobachtungen von Leder (1992) gezeigt haben, vermindert sich die Samendichte, auch von leichtsamigen Arten wie Birken, sehr rasch mit zunehmender Distanz zu einem Mutterbaum. Wagner (persönl. Mitteilung 2001) zeigt bei Untersuchungen der Samenverbreitung von vereinzelt eingesprengten Laubhölzern in sonst reinen Koniferenbeständen, dass für Esche/Bergahorn die Ansamungsdichte ab einer Entfernung von mehr als 70 m von den Mutterbäumen ungenügend wird.

Auf viel grösseren Distanzen (im Extremfall bis 10-15 km) können Tiere, insbesondere Vögel, Samen verfrachten. In diesem Fall spricht man von **Zoochorie**. Somit kann man erklären, wie nach der Vergletscherung die Wiederbesiedlung von vegetationsfreien Arealen mit unerwarteter Einwanderungsgeschwindigkeit erfolgt ist. Die Hochrechnung der Einwanderung im Holocen ergibt eine jährliche Erweiterung des Verbreitungsareals von 200 – 300 m im Fall der Buche (Davis, 1976) bzw. 500 m im Fall der Eiche (Ducouso u. Petit, 1994). Berücksichtigt man im Fall der Eichen die Tatsache der Ungleichmässigkeit der Fruktifikationen, ergibt sich ein Einwanderungsfortschritt bis 7 km.

Bei der Zoochorie spielen weniger Kleinsäuger eine Rolle, weil sie nur wenige Meter ihre Reservenlager anlegen, als viel mehr eine Reihe von Vogelarten und insbesondere Rabenvögel (*Corvidae*), welche über mehrere 100 m bis km Samen transportieren. Am meisten Samen soll der Tannenhäher (*Nucifraga caryocatactes* L.) bis 10-15 km Entfernung verfrachten (Turček u. Kelso, 1968).

Bucheckern werden von Kleibern (*Sitta europea* L.) bzw. Sumpfmeisen (*Darus palustira* L.) sowie vom Tannenhäher (*Nucifragea caryocatactes* L.) und in Jahren ohne Eichenmast durch den Eichelhäher (*Garrulus glandarius* L.) und andere Rabenvögel verschoben (Nilsson, 1985). Häher wie andere Rabenvögel vergraben die transportierten Samen einzeln in den Boden,

was den Keimerfolg wesentlich erhöht durch Verminderung der Predation durch Mäuse und andere Tieren.

Die Verbreitung der Eicheln erfolgt im wesentlichen durch den Eichelhäher. Dieser waldbewohnende Rabenvogel darf als bester Aufforster bezeichnet werden (Ducouso u. Petit, 1994). Er selektioniert die besten Eicheln, d.h. die larvenfreien, reifen, gesunden und teilweise schwersten (Bossema, 1979). Der Eichelhäher transportiert sie je nach Distanz einzeln oder bis zu 4 – 6 Stück, in dem er schlanke und lange Eicheln in den Kropf legt und die Grossen im Schnabel transportiert. Sein Transportverhalten wurde durch Beobachtung im Feld und in der Volière, sowie durch verschiedene Experimente vom Holländer Bossema (1979) bestens belegt. Der Häher verbreitet die Eicheln recht systematisch in der Nähe seines Reviers (5-10 ha. Ausdehnung), meistens weg vom Mutterbestand (bis mehrere hundert Meter; im Extremfall bis 1-2 km).

Einige einzeln eingesteckte Eicheln (mit ca. 0.5 - 1 m Abstand) findet er später wieder dank seinem guten Orientierungsvermögen. Im ersten Jahr besucht er die im Frühling angekeimten Jungeichen und reißt die Keimblätter ab, in der Regel, ohne die Sämlinge auszugraben und in ihrer weiteren Entwicklung zu behindern. Ein nicht unbeträchtlicher Teil der so transportierten Eicheln von geschätzt 4600 pro Häher und Saison (Schuster, 1950) keimt erfolgreich. Da der Eichelhäher die transportierten Eicheln mit einer V-Stempelmarke hinterlässt, lässt sich die Wirkung seiner Tätigkeit erfassen. Bossema (1979) fand, dass 59% einer Ei-Verjüngung eindeutig dem Eichelhäher zuzuordnen konnte.

Der Eichelhäher führt zu jährlichen Besiedlungsdichten von ca. 150 – 500 Sämlingen/ha, und wenn man die mehrjährigen Sämlinge betrachtet, zu Dichten von ca. 600 – 3000/ha (Bossema, 1979). Mosandl und Kleinert (1998) geben ähnliche Besiedlungsdichten (1750 – 4200/ha) von Eichen unter Föhrenwäldern in Sachsen. Die Eichennachkommen waren von so guter Qualität wie bei direkter Saat und standen ausreichend für eine Eichenbegründung.

Ausschlaggebend zum Aufkommen der Jungeichen sind die Belichtungsverhältnisse im Bestandesinneren. Otto (1996) gibt einen Bestockungsgrad von weniger als 0,7 als Grenzwert an. Im Falle der Besiedlung von Föhrenwäldern in Ostdeutschland (Sachsen) stellen Mosandl und Kleinert (1998) fest, dass die Eichensämlinge aus Hähersaat die Konkurrenz der Föhrennaturverjüngung recht gut ertragen, unter normalen Bestockungsdichten des Föhrenmutterbestandes, weil die Traubeneichen in der Jugend schattenfester sind als die Föhrensämlinge.

Bei der Buche nimmt im Gegensatz zu Eichenhähersaaten die Besiedlungsdichte sehr deutlich mit zunehmendem Abstand vom Mutterbaum ab (Otto, 1966) von 250/ha bis 250 m, 100/ha bis 250-500 m und 36/ha bis 550 und 1000 m.

## 5.2 GENÖKOLOGISCHE BETRACHTUNGEN BEI DER WAHL DER VERJÜNGUNGSART

Gründe für die Wahl der Pflanzung als Erneuerungsart ergeben sich entweder, weil die genetischen Eigenschaften des Mutterbestandes nichts taugen, oder meistens wegen Verjüngungsschwierigkeiten, oder um standortstaugliche, nicht vorhandene Baumarten einzuführen im Sinne der Förderung der Diversität.

Diese Wahl hat z.Teil nicht unerhebliche Konsequenzen auf die genetischen Eigenschaften aus folgenden Gründen.

- Einführung von nicht angepassten Populationen.

- Bei der Samenernte wird eine geringere Anzahl Mutterbäume geerntet, somit wird nicht der volle Genpool wiedergegeben.
- Weil im Forstgarten die Voraussetzungen für das Keimen und die Entwicklung der Jungpflanzen sehr günstig sind, werden Individuen nachgezogen, welche die Natur durch die natürliche Auslese ausscheiden würde.

All dies führt zu einer genetischen Verarmung, bzw. Verzerrung. In der Naturverjüngung hingegen erfolgt schon während der Keimungsphase eine immense Reduzierung der Individuenzahl, in der Grössenordnung von drei 10er Potenzen. Es verbleiben also nur die genetisch fitten Individuen, welche in Wachstum und Gesundheit überlegen sind (Müller-Starck, 1993). Allerdings können auch im Falle der Naturverjüngung, je nach gewählter Verjüngungstechnik, Unterschiede in den genetischen Strukturen vorkommen. Im Allgemeinen gilt, dass je schneller das Verjüngungstempo und je geringer die Anzahl Genitoren, desto höher das Risiko einer genetischen Verarmung (Hussendörfer, 2001; Behm und Konner, 1999)

Bei der Kunstverjüngung sind die Risiken einer genetischen Verarmung wesentlich höher als bei Naturverjüngungen. Sie sind um so drastischer, wenn sich die Samenernte auf wenige Bäume konzentriert, sie bei Sprengmasten erfolgt, im Forstgarten keine Massenauslese des Materials stattfindet und die Pflanzung in grossen Abständen erfolgt.

Noch schlimmer ist die Verwendung künstlich produzierten Saatgutes in zu einseitig konstituierten Samenplantagen, die lediglich wenig Mutterbäume (Klone) umfassen.

### **5.2.1 Wahl geeigneter Provenienzen**

Gestützt auf eine lange Beobachtung von Provenienzversuchen im Feld zeigt sich, dass der Vorteil von ausgewählten Provenienzen entscheidend sein kann bezüglich Wuchsleistung (bis 50 % Mehrertrag), Gesundheit (bei L<sub>a</sub> z.B.) und Qualität (Ei, F<sub>ö</sub>, L<sub>a</sub>). Die Provenienzforschung zeigt auf, dass bei den wichtigsten Baumarten die besten Provenienzen oftmals weit weg vom möglichen Einführungsort vorkommen. In der Tat ist es ein Trugschluss zu glauben, dass die lokalen Provenienzen die besten sind. Sie sind wohl über einige Generationen am Standort angepasst (meistens ist diese Dauer ungenügend, um einen Rassiationseffekt zu ermöglichen), was an sich wichtig ist, aber nicht ausschliesst, dass auswärtige Provenienzen möglicherweise besser geeignet sind, weil sie im komplexen Prozess der Rassiation und Speziation unteren anderen, möglicherweise günstigeren Faktorenkonstellation gestanden sind (evolutive Vergangenheit).

Die Provenienzforschung scheint die Vorstellung zu belegen, dass Provenienzen an der Kreuzung von verschiedenen Rückwanderungsrouten nach der Glaziation die bessere Eignung aufweisen, weil sie vom Vorteil der Genpoolvermischung profitiert haben, welches auf die genetische Vielfalt und somit auf die genetische Fitness günstig wirkt. Für weitere Information diesbezüglich, siehe Vorlesungsunterlagen von P. Rotach „Forstliches Vermehrungsgut“.

Wie dem auch sei, die Waldbaupraxis zeigt, dass im Falle von hohen Wertholzzielen und bei Baumarten mit grosser genotypischer Variation, wie z.B. L<sub>a</sub>, F<sub>ö</sub>, Ei die Wahl geeigneter Provenienz entscheidend den Anbauerfolg bestimmt. Bei diesen Baumarten kommen die geeigneten Provenienzen sehr oft aus dem Ausland.

Bei der Einführung von auswärtigen Provenienzen besteht immer ein gewisses Risiko der Unangepasstheit an die lokalen Bedingungen, meistens wegen Diskrepanzen zwischen wichtigen Lebensrythmen (Austreiben, Wachstumsperiode, Tageslänge) und dem Lokalklima. Dies ist insbesondere für höhere Lagen (über 1200 m.ü.M.) entscheidend, weil dort die Wärme ohnehin ein limitierender Faktor ist. Daher ist bei Einführung von auswärtigem Pflanzgut auf

eine Übereinstimmung zwischen Höhenlage des Ursprungsortes und des Einführungsortes zu achten. Als Grundregel kann diesbezüglich die Übereinstimmung der Meereshöhe im Bereich von:

+/- 250 m für mittlere Höhenlagen (ca. bis 1200 m.ü.M)

+/- 100 m oberhalb 1200 m.ü.M.

gelten, so lange keine genauen genetischen Untersuchungen vorliegen.

Als Schlussfolgerung für die Wahl der Verjüngungsart kann folgendes gelten:

Grundsätzlich weist die Naturverjüngung deutliche Vorteile auf, weil das Material dem Lokalklima angepasst ist, weil der panmiktische Genfluss durch die Mitwirkung vieler Eltern gut funktioniert und insbesondere weil eine günstige und breite natürliche Auslese der Nachkommenschaft erfolgt. Auf die Kunstverjüngung kann nicht voll verzichtet werden, wäre es nur aus Gründen der Förderung der Baumartendiversität. Die Pflanzung ist auch angebracht, wenn das genetische Potential des Mutterbestandes nichts taugt (z.B. Vorhandensein von vererbten Eigenschaften wie Drehwuchs), oder wenn man auf eine rasche Ablösung eines standortsfremden Altbestandes (Fichten-Monokultur) angewiesen ist. Weil heute aus Gründen der Ökonomie viel weniger gepflanzt wird als früher, muss die Wahl geeigneter Provenienzen und des adäquaten Pflanzmaterials umso sorgfältiger geprüft bzw. getätigt werden. Der Beizug von Spezialisten für forstliches Vermehrungsgut kann behilflich sein.

Darüber hinaus sind die gesetzlichen Bestimmungen bezüglich landesübergreifendem Transfer und Verwendung von forstlichem Pflanzmaterial zu beachten. Danach untersteht die Einfuhr von Pflanzgut aus dem Ausland einer forstamtlichen Bewilligung. Zuständige Instanz ist diesbezüglich das BUWAL (siehe auch Skript Sylviculture 3).

## 6. VERJÜNGUNGSÖKOLOGIE

Die schwierigste Phase der ganzen Walderneuerung auf natürlichem Weg liegt eindeutig in der Sicherung der Sämlingsphase. In dieser Phase stehen die angehenden Jungforstpflanzen während einer relativ kurzen Dauer in einem ausserordentlichen ungleichen Wettbewerb mit einer hohen Zahl von Organismen. Es geht dabei im wesentlichen um die adventive Vegetation (Schlagflora), so dass das erfolgreiche Aufkommen der Forstpflanzen überhaupt nicht von vorneherein gesichert ist. Wenn sie einmal Fuss gefasst haben, besitzen die verholzten Pflanzen gegenüber Kräutern und Gräsern genügend Vorteile der langfristigen Besiedlungsstrategien, insbesondere dank der Biomassenakkumulation und der Akrotonie (aufrechter Wuchs), dass sie mit der Zeit im Wettbewerb Gewinner sind. Zumindest in den ersten Jahren steht es umgekehrt, weil sie eine langsame Vermehrungsstrategie mit Samen verfolgen. Die ganze Kunst der Führung einer erfolgreichen natürlichen Walderneuerung liegt also in der Gestaltung der Wettbewerbsbedingungen, so dass sie günstig auf Forstpflanzen und ungünstig auf ihre direkten Kontrahenten wirken.

Die Kenntnis der relevanten Einflussfaktoren dieser Phase ist die unabdingbare Voraussetzung einer erfolgreichen Verjüngung.

### 6.1 ÖKOLOGIE DER ANSAMUNGSPHASE

#### 6.1.1 Bedeutung und Einflussfaktoren der Mortalität

Während einer sehr kurzen Zeit, nämlich zwischen dem Beginn der Keimung und der Entwicklung eines verholzten Keimlings, also in den ersten Monaten der Entwicklung, gibt es bei den Forstpflanzen eine dramatische Mortalität, wie Tab. 6.1 am Beispiel der Ansamung einer Buchenverjüngung in Norddeutschland von Dohrenbusch (1990) zeigt.

**Tabelle 6.1:** Mortalität in der Keimungsphase einer Buchenverjüngung in Norddeutschland unter dem Einfluss von Bodenbearbeitungsmassnahmen.

|                               | ohne Bodenbearbeitung      |     |              | mit Bodenbearbeitung       |     |              |
|-------------------------------|----------------------------|-----|--------------|----------------------------|-----|--------------|
|                               | Anzahl Pfl./m <sup>2</sup> | %   | Mortalität % | Anzahl Pfl./m <sup>2</sup> | %   | Mortalität % |
| Anzahl keimfähiger Samen      | 700                        | 100 |              | 700                        | 100 |              |
| Bleibende Pfl. nach 1. Winter | 4                          | 0,6 | 99,4         | 80-90                      | 12  | 88           |
| Bleibende Pf. 7 Jahre nachher | 2                          | 0,3 | 99,7         | 20                         | 3   | 97           |

Geltungsbereich: Saurer Buchenwald; Beobachtungen nach ausserordentlichem Mastjahr 1976.  
nach Dohrenbusch (1990)

Für diese drastische Reduktion des Anwuchserfolgs sind sowohl sogenannte endogene wie auch exogene Faktoren verantwortlich, nämlich:

### 1. Endogene Faktoren

- allgemeine genetische Eigenschaft des Mutterbestandes,
- Gesundheitszustand und Bekronung der Samenbäume. Schlechte Vitalität oder Kronenbedrängung können zur Verminderung der Fruktifikation bzw. zu grösserem Aussetzen guter Fruktifikationen führen und insbesondere zur Bildung leichterer Samen. Dabei ist weniger die Keimkraft eingeschränkt als der Anwuchserfolg, welcher stark auf die Menge an Reservestoffen im Samen angewiesen ist.
- allfällige letale Faktoren, im Zusammenhang mit Selbstung und eventuellen damit verbundenen Inzuchterscheinungen. In gewissen, allerdings eher seltenen Fällen ist die Kontrolle der Keimkraft des Saatgutes angebracht (mit Schnittprobe zum Beispiel)
- Dormanz (siehe Abschnitt 5.1.2).

### 2. Exogene Faktoren (biotisch und abiotisch)

#### Abiotisch:

- Fröste:  
Winterfröste: Bei schweren Samen, welche einen hohen Wassergehalt aufweisen (Eicheln), führen tiefe Wintertemperaturen ( $< -6^{\circ} \text{C.}$ ) zu einer total Beschädigung. So kann auch nach einer Vollmast keine Erneuerung erfolgen.  
Spätfröste: Wenn die Temperatur auf der Bodenoberfläche im Frühling unter  $-2^{\circ} \text{C.}$  sinkt, werden die Keimlinge so stark beschädigt, dass sie meistens eingehen.

#### Biotisch:

- Pilzbefall. Es sind verschiedene Krankheiten der Keimblätter bekannt, welche zur raschen Dezimierung der Pflanzen führen,
- Samenpredatoren. Eichhörnchen, Mäuse; Vögel (Tauben, Finken, Häher), welche z.T. ganze Fruktifikationen zerren können. Wenn Mäuse am Wirken sind, kann man durch Vollmähen der Kraut- oder Dornsicht unter Umständen wirksam entgegenwirken. Gegen Vögel durch Einbringen von Sitzstangen, allenfalls Netzspannen, auf leichter Höhe über dem Boden. Eicheln, welche ungeschützt auf dem Waldboden bleiben, werden von den Tieren praktisch vollständig gefressen. Schon eine Zudeckung mit Laub führt zu einem grösseren Keimerfolg (Shaw, 1968). Eine leichte Vergrabung im Boden gewährt den besten Schutz gegen Predation.
- Phytophagen (Schnecken, Käfer). Wirken in der Phase des krautigen Zustands der Keimlinge. Brang (1996) weist bei der Beobachtung des Aufkommens von Fichten-Sämlingen in der subalpinen Stufe in Sedrun nach, dass die Abnahme ausgeprägt ist, bis die Keimlinge verholzt sind. Und zwar deshalb, weil abgesehen von Pilzkrankheiten und Austrocknung verschiedene andere Phytophagen (Schnecken, vermutlich auch Insekten) die Keimlinge sehr stark dezimieren.
- Ab Sämlingsgrösse (d.h. ab 15 cm Höhe): Schalenwild
- Pflanzenkonkurrenz (siehe unten).

Ergebnisse von verschiedenen praxisnahen Massnahmen zur Unterstützung der Ansamung der Buche in Nordost-Frankreich nach Chollet (1997) zeigen folgende Ergebnisse: Es geht um vier lokal getrennte praxisnahe Versuche im Staatswald Petite Pierre auf Sandstein und Braunerde (Para-Braunerde):

|  |                              | Anzahl Keimlinge pro m <sup>2</sup> | Unterschied gegenüber nicht behandelte Flächen (in%) |
|--|------------------------------|-------------------------------------|--|
| • Wirkung der Beschattung durch den gelichteten Buchenaltbestand | gelichtet<br>ohne Lichtung   | 20,4<br>9,0                         | + 127%   |
| • Wirkung einer Bodenbehandlung (mit Bodenripper)                | mit Bodenbearbeitung<br>ohne | 39<br>0,6                           | + 648%   |
| • Herbizidbehandlung gegen Dechampsia mit Glyptosphat            | mit Behandlung<br>ohne       | 0<br>0,6                            | -  |
| • Zäunung gegen Schalenwild                                      | mit Behandlung<br>ohne       | 18,5<br>13,2                        | + 40%  |

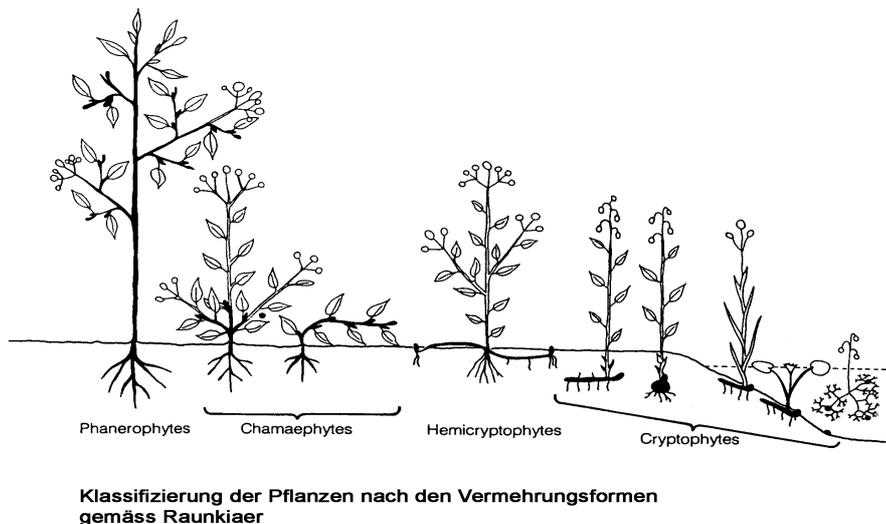
Es zeigt sich, dass die Bodenbehandlung die beste Wirkung aufweist. Aber schon die schirmartige Einleitung der Ansamung zeigt mehr als eine Verdoppelung des Keimerfolges.

### 6.1.2 Wirkung der adventiven Vegetation

Mit dem Begriff **Antibiose** wird allgemein die negative Wirkung der Pflanzen aufeinander verstanden. Solche Wirkungen können unterschiedlicher Natur sein. Meistens geht es um eine Konkurrenz im Wurzelbereich bei perennierenden Pflanzen, insbesondere Gramineen. Es scheint, dass die dabei vermeintliche Konkurrenz für Wasserressourcen weniger stark im Vordergrund steht (Collet, 1994, Gerry et. al., 1995) als die Besetzung eines Bodenbereichs durch das Feinwurzelsystem.

Mit dem Begriff **Allelopathie** versteht man einen Spezialfall der Antibiose, nämlich, wenn durch die Ausscheidung von gewissen Substanzen (Exudate, Hormone z.B.) Pflanzen das Keimen oder die Entwicklung anderer Pflanzen, im betreffenden Fall der Forstpflanzen, verhindern oder inhibieren (Fisher, 1980). Solche allelopathischen Wirkungen wurden z.B. dem Holunder, Adlerfarnen oder gewissen Gräsern zugeschrieben (Fischer et al., 1979).

Für die Beurteilung der Konkurrenzwirkung der Begleitflora, d.h. ihrer Besiedlungseigenschaften, ist primär nach Vermehrungsformen zu unterscheiden. Nach Raunkiaer (1934) (siehe Abb. 6.2) soll zuerst zwischen der Vermehrung durch Samenausbreitung (sog. Phanerophyten), mit den annuellen und bisannuellen Pflanzen und solchen, welche perrenierende Formen aufweisen (wie Thalle bei Gramineen, Knollen bei z.B. Farnen), und solchen, welche eine starke und schnelle vegetative Vermehrung mit Ablegern (sehr viele Sträucher oder Brombeeren) oder Ausläufer aufweisen (sog. Hemikryptophyten) unterschieden werden.



**Abb. 6.2:** Klassifizierung der Pflanzen nach den Vermehrungsformen nach Raunkiaer (1934)

### Unterschiedliche Wirkung der adventiven Vegetation nach Pflanzengruppen:

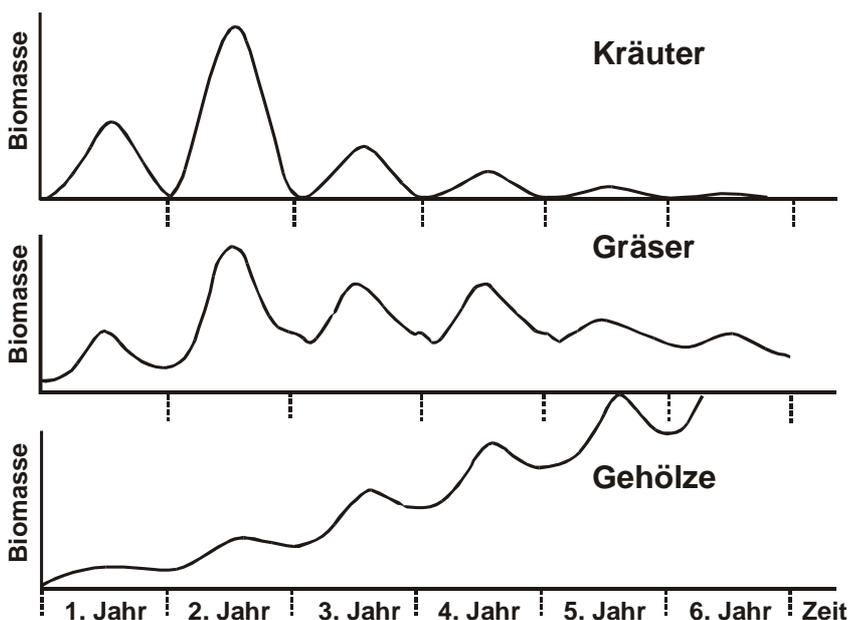
Grundsätzlich ist die Wirkung der Adventivvegetation nach ihren Vermehrungsformen differenziert anzusprechen, z.B. (nach Irrgang, 1990):

- Annuelle (jährliche) oder bisannuelle Pflanzen (sog. Kräuter). Im Wesentlichen vermehren sich krautige Pflanzen durch Samen. Sie entwickeln sich sehr gut im Frühling, fruktifizieren üppig im Sommer, um sich zu vermehren, und verdorren früh (schon im August). Im Herbst bilden sie relativ freie Nischen für die Besiedlung durch andere Vegetationstypen, insbesondere für die Ansamung der Gehölzpflanzen
- Perennierende Pflanzen (z.B. Gramineen) vermehren sich von Jahr zu Jahr vegetativ. Sie entwickeln sich massiv bis Juni/Juli. Nach kräftigem Produktionsschub zur Samenbildung erfolgt ein sofortiges Abbrechen der Produktion. Zunächst rascher, dann langsam werdender Abbau, bis in den Herbst hinein. Unter günstigen Voraussetzungen ist ein erneutes vegetatives Wachstum bis in den Herbst möglich. Wenn sie Fuss gefasst haben, bilden Gramineen (*Dechampsia flexuosa*, *Carex brizoides* z.B.) ganze Teppiche, welche eine Ansamung anderer Pflanzen sehr stark einschränken. Dies erfolgt meist auf passenden Standorten (saure, sandige Böden) und durch falsche Behandlung (regelmässige Lichtung). In gewissen Fällen helfen nur mechanische Bodenschürfungen.
- Brombeeren. Vermehren sich meistens rapid vegetativ durch Ableger, wenn Langtriebe Bodenkontakt finden; die fruchttragenden Triebe sterben ab (Bont, 1993). Sie weisen eine sehr langgestreckte, ausgeglichene Produktion aus, welche bis zum Herbst anhält. Brombeeren sind Folgen von Nadelholzmonokulturen. Sie bevorzugen humöse Böden. Bei üppiger Entwicklung verhindern sie eine korrekte Ansamung der Forstpflanzen. Sie beschädigen auch Kulturen, indem sie im Winter unter der Schneelast zu Boden gedrückt werden und dabei die Forstpflanzen im Jungwuchsstadium mitreissen. Hier hilft eine gewisse Beschattung. Schreiner (2001) hat gezeigt, dass eine Beschirmung die zu üppige Entfaltung verhindert, so dass der Brombeerenteppich nicht flächendeckend wird, sondern Lücken aufweist, in welchen die Forstsämlinge aufkommen können. Bei einem Deckungsgrad der Brombeeren von weniger als 0,6

kann sich die Fichte erfolgreich verjüngen. Die Tanne sogar bei einem Deckungsgrad von weniger als 0,8.

- Himbeeren zeigen ein ähnliches Verhalten wie Brombeeren. Sie ertragen die Schneebelastung im Winter weniger gut, brechen relativ schnell und reißen dabei Forstpflanzen mit.
- Heidelbeeren gehören zu den langlebigen verholzten Pflanzen auf saurem Substrat, die bei entsprechenden Lichtverhältnissen sehr üppige Wurzelfilze bilden, welche die Ansamung anderer Gehölze sehr stark verhindern. Unter Umständen ist ein kontrolliertes Verbrennen eine effiziente Behelfsmethode.
- Adlerfarn bilden sehr hohe Stauden und okkultieren damit relativ viel Licht. Sie wirken sehr stark konkurrenzierend für die Ansamung und Entwicklung der Forstpflanzen. Für Adlerfarn zeigen George und Bazzaz (1999) eine Reduktion des restlichen Lichtes von 3,4 % auf 1,1 % unter Laubmischwäldern in New England, USA, mit und ohne Farnbedeckung. Sie reagieren aber gut auf einfache Behandlung wie das Schlagen mit einem Stock oder Knicken mit der Hand.
- Binsen: Kommen oftmals nach Bodenverdichtung durch maschinelle Bodenbefahrung vor. Sie weisen eine sehr ausgewogene Produktion bis zum September aus und bilden einen dichten Filz, der für die Ansamung anderer Pflanzen ungünstig wirkt. Massnahme: Mähen bei Regenwetter, weil somit die Stengel verfaulen.
- Verholzte Pflanzen, insbesondere Pioniere (Birken, Weiden). Ihre Ansamung ist generativ. Wenn einmal installiert, haben sie eine sehr ausdauernde Produktion bis zum Oktober (Laubfall). Mit der Zeit dominieren sie die anderen Pflanzen.

Die Entwicklung der Schlagflora hängt weitgehend vom Standort, von den Lichtverhältnissen und den Besonderheiten ihrer Vermehrungsstrategien ab. Wie Abb. 6.3 zeigt, entwickeln sich in der Sukzession nach Kahlhieb zuerst die krautigen Pflanzen, nach drei Jahren nimmt ihr Bestand deutlich ab zugunsten der perennierenden Pflanzen. Gehölze (Pioniere) brauchen einige Jahre zur Besiedlung. Bei genügendem Licht (Kahlschlag) dominieren sie die Sukzession nach fünf Jahren und verdrängen sukzessiv die andere Gruppen.



**Abb. 6.3:** Sukzessionsablauf der Schlagvegetation nach Kahlhieb.

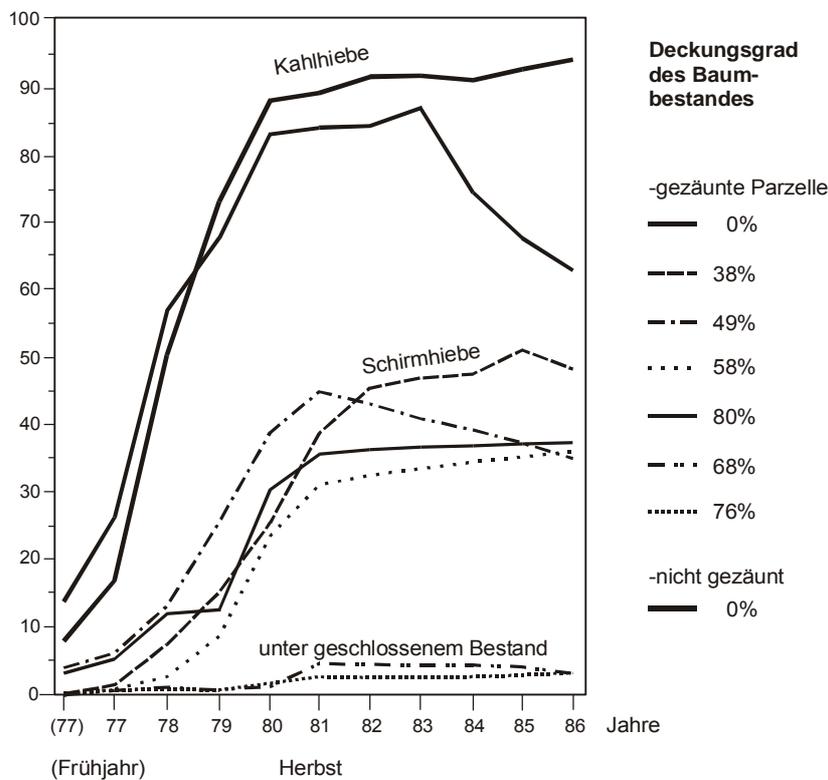
Geltungsbereich:  
Nordost-Deutschland

nach Irrgang (1990)

Der wichtigste Einflussfaktor zur Kontrolle der Schlagvegetation liegt in der richtigen Lichtdosierung bzw. Beschattung. Untersuchungen des Münchner Waldbauinstitutes in Bergmischwäldern Bayerns zeigen den Einfluss von Lichtgenuss, die Art der Bestandesauflösung auf die Besiedlungsdichte der Bodenvegetation (siehe Abb. 6.4). Die Besiedlung, gemessen am Deckungsgrad der Bodenvegetation macht nur einige Prozente der Fläche unter geschlossenem Bestand aus. Schirmartige Eröffnung von 39 bis 68 % Stärke führen zu deutlicher Vermehrung der Besiedlungsdichte mit Deckungsgraden im Bereich um 40 % der Fläche. Unter Kahlhieben sind 90 % der Fläche von der Vegetation abgedeckt

### Deckungsgrad der Vegetation

Bodenvegetation



**Abb. 6.4:** Entwicklung der Bodenvegetation unter verschiedenen Beschirmungsverhältnissen.

Geltungsbereich: Bayerische Kalkalpen (Frankenwald und Fichtelgebirge). Pflanzensoziologische Zuordnung: Tannen-Buchen-Wälder.

Höhenlage 900-950 müM.

Die Eingriffe erfolgten im Herbst 1977

nach Burschel und Binder (1993)

Die Belichtungsverhältnisse haben nicht nur einen Einfluss auf die Besiedlungsdichte der Bodenvegetation, sondern auch auf die Anzahl Pflanzenarten und die erreichte Höhe der Pflanzenschicht, wie Tab. 6.5 aus der gleichen Versuchsreihe des Bergmischwaldes Bayerns zeigt. Daraus ist ersichtlich dass die Kontrolle des Lichtes eines der wichtigsten Mittel zur Lenkung der Vegetationsentwicklung darstellt.

**Tabelle 6.5:** Entwicklung der Bodenvegetation in qualitativer und quantitativer Hinsicht unter verschiedenen Belichtungsverhältnissen.

| Behandlung                | Beschirmungsgrad durch den Altbestand | Vorkommen der Bodenflora nach 10 Jahren (Deckungsgrad) | Anzahl Arten | Höhe Der Vegetation (cm) |
|---------------------------|---------------------------------------|--|--------------|--------------------------|
| Geschlossener Bestand     | 72                                    | 0,5 – 2  | 7            | 9                        |
| Leichter Schirmhieb (30%) | 58                                    | 23 – 32  | 22           | 33                       |
| Starker Schirmhieb (50%)  | 44                                    | 41 – 42  | 20           | 48                       |
| Lochhieb (30 m Breite)    |                                       |  | 15           |                          |
| Kahlhieb                  | 0                                     | 37 – 90  | 23           | 69                       |

Geltungsbereich: Bayerische Voralpen; Höhenlage 900 - 950 müM; pflanzensoz. Einteilung: Tannen-Buchen-Wald.  
Nach Mosandl (1991)

Auf die Möglichkeiten der Beeinflussung der Verjüngung werden wir im Abschnitt 6.3.2 zurückkommen.

### 6.1.3 Licht als Standortfaktor

Licht oder - besser gesagt die Strahlung - ist für die Jungpflanzen in verschiedener Hinsicht wichtig. Zu unterscheiden ist die Wirkung als Energiespender für die Photosynthese von der wahrscheinlich wichtigeren Bedeutung der Erwärmung des ganzen Wuchskomplexes Pflanze-Boden-Umwelt.

Die Strahlung als Hauptfaktor für die Photosynthese kommt in unterschiedlicher Form im Bestandesinnere zum Tragen. Für praktische Zwecke unterscheidet man die vier folgenden Komponenten der Strahlung:

- **direktes** Licht; Lichtstrahlen bei unbewölktem Himmel, welche durch Bestandesöffnungen direkt bis zum Boden gelangen,
- **diffuses** Licht; wie direktes Licht, jedoch bei bedecktem Himmel bzw. vor und nach dem Sonnenuntergang,
- **indirektes** Licht (oder refraktiertes Licht; engl.: Beam enrichment, nach Hutchinson und Matt, 1976). Durch Refraktion in das Bestandesinnere eindringende Reststrahlung.
- **Lichtflecken** (engl.: Sunflecks); kleine direkte Lichtstrahlen, welche durch Interstizien des Kronendaches zu Boden gelangen und dort als sich im Lauf des Tages bewegende, kleine (ab Handgröße) Lichtflecken sichtbar sind. Weil die Photosynthese rasch auf Veränderungen in der Lichtzufuhr anspricht, sind diese Lichtflecken für die Bodenvegetation von erheblicher Bedeutung. Sie verantworten z.B. unter einem normal geschlossenen Bestand bis zu 50 % der Gesamtphotosynthese der Bodenpflanzen (Chazdon, 1988).

### Unterschiede in der spektralen Zusammensetzung

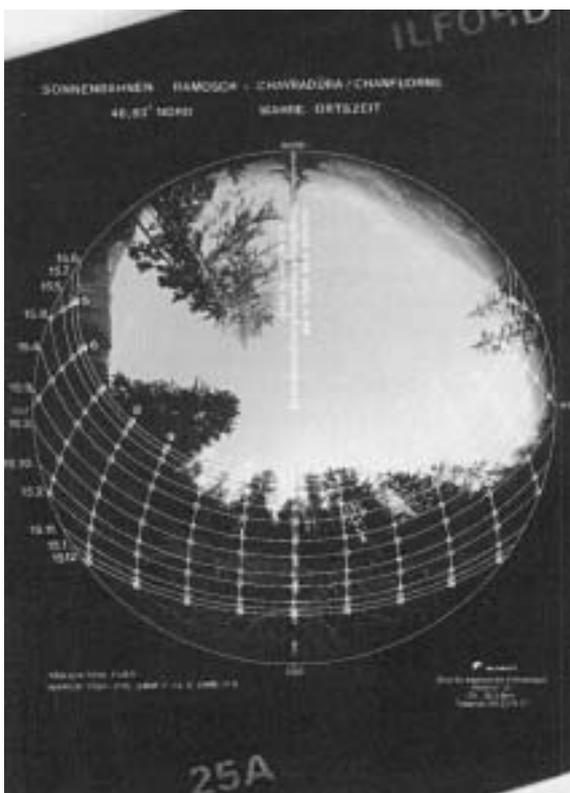
Der Begriff Lichtqualität lässt erkennen, dass nicht jedes Licht gleich auf die Pflanzen wirkt. Je nach spektraler Zusammensetzung ist der energiereiche Wellenlängenbereich der UV-Strahlung oder der wärmereiche Bereich des langwelligen roten Spektrums massgebend. Die Photosynthese selbst arbeitet im spektralen Bereich um 440 Nm und um 680 Nm. Zur Charakterisierung der von der Photosynthese abhängigen Prozesse wird heute die sog. PAR-Strahlung (photosynthetic active radiation) erfasst, mit besonders filtrierenden Sensoren (im oben erwähnten spektralen Bereich).

Bestimmte physiologische Prozesse der Photomorphose wie Blüten, Knospenruhe, Streckenwachstum oder Dormanz sind von Hormonen gesteuert, welche auf Licht reagieren (Schmerber, 1997). Darunter spielen die sog. Phytochrome eine wichtige Rolle. Sie werden durch dunkelrotes Licht aktiviert und durch hellrotes Licht unwirksam. Für die Charakterisierung solcher Einflüsse ist es üblich, den Quotienten des hellroten Lichts ( $\lambda$  655-665 Nm) zum dunkelroten ( $\lambda$  725-735 Nm) zu erfassen. Dieses Verhältnis nennt man den Faktoren  $\xi$  (Zeta).

### Erfassung und Grössenbereiche

Die Lichtmenge wird normalerweise in % des auf der freien Fläche einfallenden Lichts erfasst. Bei der Erfassung dieser Grösse tauchen zwei Probleme auf:

- Die Position der Sonne variiert während der Vegetationsperiode erheblich. Bei der Ekliptik (21. Juni) ist die Sonne viel höher am Himmel als am Anfang oder Ende der Vegetationsperiode. So ergeben punktuelle Messungen der Strahlung je nach arkadischem oder kalendarischem Zeitpunkt grosse Variationen. Für die Erfassung der für die Pflanze verfügbaren Strahlung sind somit nur integrative kumulative Methoden (Integratoren) befriedigend.
- Darüber hinaus gibt es unter einem Waldbestand eine derart grosse Variation der Lichtverhältnisse, dass punktuelle Messungen in einer vielfachen Wiederholung zu tätigen wären.

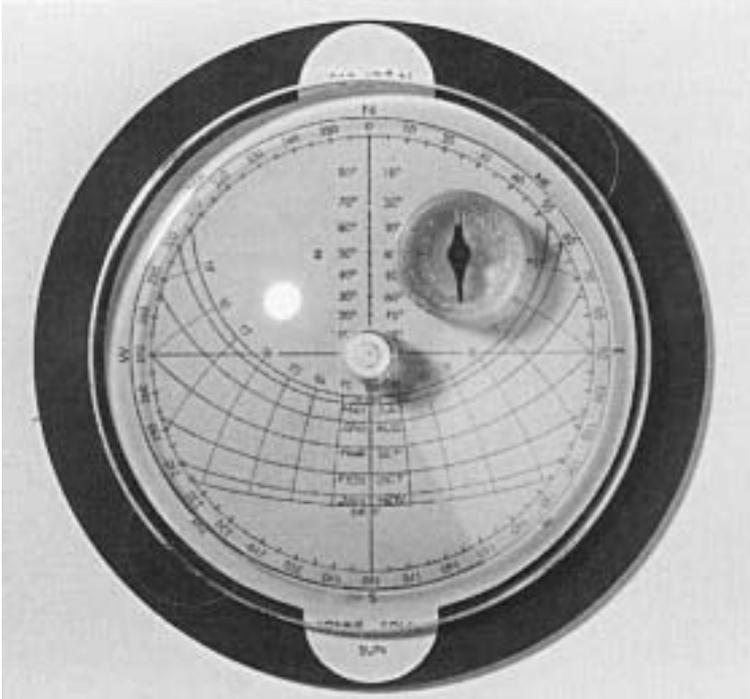


**Abb. 6.6** Abbildung der beschattenden Baumsilhouette, wie sie auf hemisphärischen Photoaufnahmen erfasst wird.

Auf das Abbild der Kronenprojektionen sind die Sonnenbahnen übertragen. Es erlaubt, die Dauer des direkten Lichtgenusses, zu einem Referenzzeitpunkt für die Photosynthese (z.B. 1 Juni) zu bestimmen.

aus Lüscher, F. (1990) in: Schütz und Brang (1995)

So haben sich für forstliche Zwecke Methoden durchgesetzt, welche die potentielle Strahlung während der Vegetationsperiode erfassen oder schätzen. Dazu gehört die modellmässige Erfassung auf Grund von **hemisphärischen Bildern** (sog. Fischaugen-Fotos) (siehe Abb. 6.6), auf welche man die Sonnenbahnen übertragen kann (für die Erfassung des direkten Lichts zu einem repräsentativen Zeitpunkt, z.B. Juni). Für praktische Zwecke kann man statt dem komplizierten Verfahren der hemisphärische Fotos das sog. **Horizontoskop** (ein geniales, tragbares Instrument, siehe Abb. 6.7) benutzen.



**Abb. 6.7:** Das sogenannte Horizontoskop für die direkte Erfassung der potentiellen Sonnenscheindauer.

Dieser Apparat wurde von einem deutschen Architekten (Tonne, 1951) zur Bestimmung der Besonnung von Balkonen erfunden. Auf einer aus Plastik bestehenden kleinen Kuppel (mit besonderer Form) projiziert sich das Abbild der beschattenden Umgebung. Unter der Kuppel sind, ähnlich wie bei hemisphärischen Fotos, die Sonnenbahnen abgebildet, so dass die tägliche Sonnenscheindauer ablesbar ist.

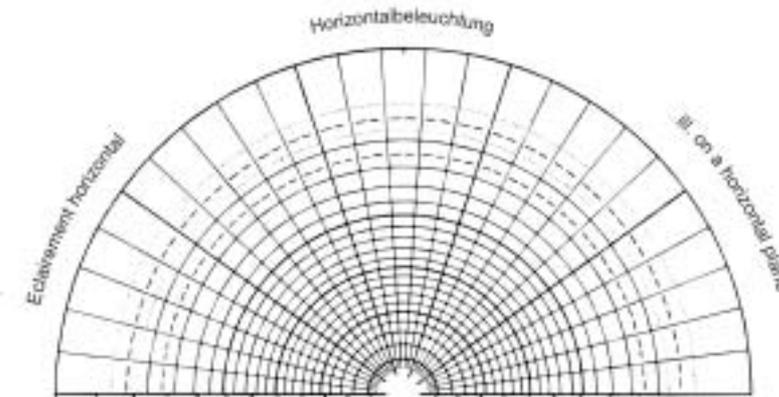
aus Schütz und Brang (1995)

Es besteht in der Tat eine hohe Korrelation zwischen den mit dem Horizontoskop ermittelten Werten der potentiellen Strahlungsanteile und denjenigen aufgrund von Fischaugenfotografien ( $R^2 = 0.96$ , gemäss Thormann, 1997).

Will man als Referenz für die relative potentielle Strahlung das diffuse Licht betrachten, kann man anstatt der Sonnenbahnen das sogenannte Helligkeitsnetz nach Anderson (1964) anwenden (siehe Abb. 6.8), und dies sowohl bei hemisphärischen Fotos als auch beim Horizontoskop. Der Entscheid, ob für die Erfassung des relativen Lichtgenusses direktes oder diffuses Licht zu berücksichtigen ist, hängt von den damit zu erklärenden Prozesse, ab, d.h. davon, ob die Wärme oder die Energie der Strahlung im Vordergrund stehen soll.

Direktes Licht wird dort massgebend, wo die Wärme der Minimumfaktor ist, z.B. bei Phänomenen der Ausaperung. So scheint für Hochgebirgsverhältnisse (subalpin) und steile Nordhänge eher die direkte Sonnendauer relevant. Für sonstige forstliche Zwecke empfiehlt es sich, mit dem diffusen Lichtanteil vorzugehen. Die durch eine Bestandesöffnung gelangende Strahlung erfolgt sowohl als direktes wie auch als diffuses Licht. Weil die Bewölkung während der Vegetationsperiode im Bereich von 50-60% liegt, kommt auf etwa die Hälfte der Tage indirektes Licht und direktes auf die andere Hälfte.

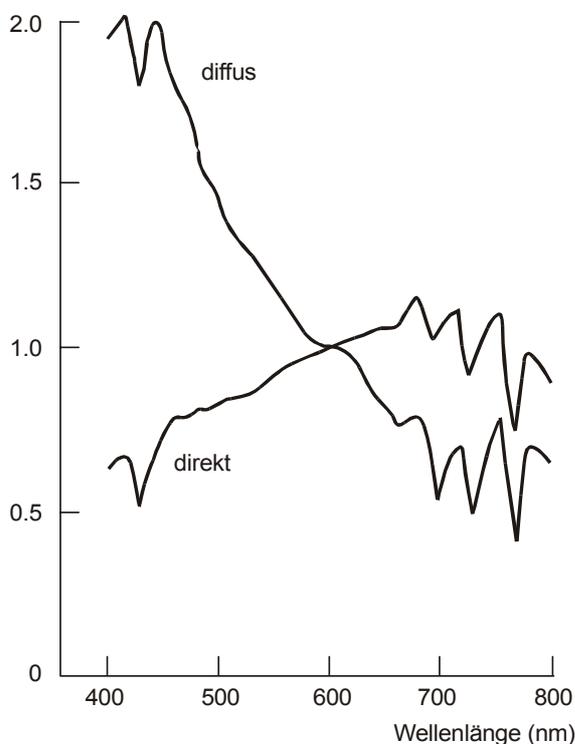
Für die Erfassung der Besonnungsverhältnisse durch Bestandeslöcher oder am Saum genügt es, die potentiellen relativen Werte des direkten oder diffusen Licht zu erfassen. Unter regelmässigen Schirmöffnungen oder unter normal geschlossenen Kronendächern hingegen taugen solche Methoden weniger.



**Abb. 6.8:** Helligkeitsnetz für die Erfassung des diffusen Lichts nach Anderson (1964).

Das an den Horizont gelangende diffuse Licht ist deutlich geringer als im Nadir. Jedes Feld entspricht der gleichen Strahlungsmenge (= 1 pro mille pro Feld).

Zwischen direktem und diffusem Licht bestehen sowohl im spektralen Bereich (Abb. 6.9) wie auch in der Strahlungsenergie Unterschiede (Abb. 6.10). Diffuses Licht hat einen erhöhten Anteil im blauen, energetisch reichen Bereich gegenüber direktem Licht, welches mehr im erwärmenden roten Bereich angesiedelt ist. Die Pflanze nutzt für die Photosynthese nicht die gesamte Energie aus.



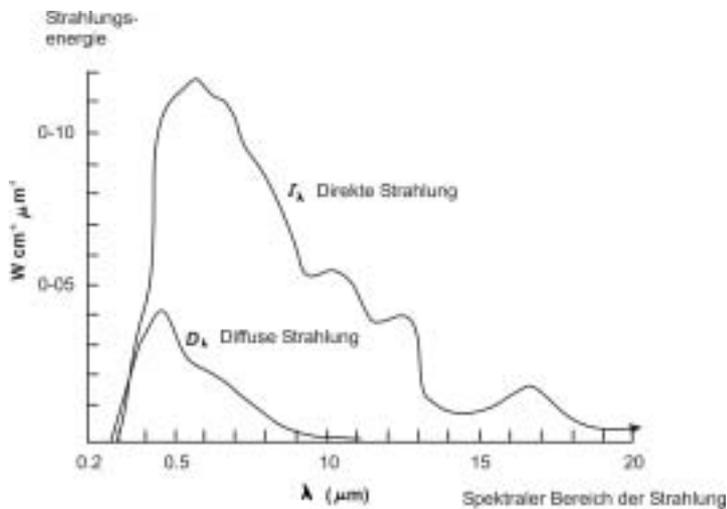
**Abb. 6.9:** Spektrale Zusammensetzung von direktem und diffusem Licht

Direktes Licht ist besonders reich an warmer Strahlung im roten Spektrumsbereich. Diffuses Licht ist reich an energiereichem, blauem Licht.

nach: Smith und Morgan (1981)

Bei der Überschreitung einer gewissen Lichtmenge ergibt sich bei der Photosynthese eine Lichtsättigung. So wirkt volles Licht hemmend. Wayne und Bazzaz (1993) haben (in künstlichen Beschattungsexperimenten) mit simulierten Löchern vs. regelmässiger Beschirmung

experimentell gezeigt, dass bei der gleichen gesamten Strahlungsmenge Birkensamlinge unter Schirm die verfügbare Energie signifikant besser umzusetzen vermögen als in der Lochposition. Das beobachtete Streckenwachstum der Birken unter Schirm war signifikant besser. Dies ist der Grund, warum für verjungungsokologische Studien eher die diffuse Strahlung zu betrachten ist.



**Abb. 6.10:** Energiemengen der direkten und diffusen Strahlung an einem klaren Sommertag.

nach Szeicz (1974)

Bei der Erfassung der Lichtverhältnisse unter einem regelmässigen Bestand oder im Fall des regelmässigen Schirmhiebes taugt die Technik der hemisphärischen Fotos nicht, weil es äusserst schwierig ist, die genaue Abgrenzung der Interstizien des Kronendaches auf den Bildern zu definieren. Der Anteil der zwei Komponenten des refraktierten Licht (beam enrichment) und der Lichtflecken nimmt sehr deutlich zu. So haben Canham et al. (1994) unter verschiedenen natürlich geschlossenen Laubbestanden Amerikas die in Tab. 6.11 angegebenen Anteile erfasst.

**Tabelle 6.11:** Anteile des indirekten Lichts bzw. der Lichtflecken, welche auf den Waldboden gelangen, unter geschlossenen Naturwaldbestanden verschiedener Baumarten, während der Vegetationsperiode, im Verhältnis zur gesamten am Boden vorkommenden Strahlung.

| Baumarten                 | Lichtflecken<br>(%) | indirektes Licht<br>(refraktiertes Licht)<br>(%) |
|---------------------------|---------------------|--|
| <i>Tsuga canadensis</i>   | 2,6                 | 40,7   |
| <i>Fagus grandifolia</i>  | 3,1                 | 36,7   |
| <i>Acer Sacharum</i>      | 6,6                 | 19,6   |
| <i>Acer rubra</i>         | 34,2                | 19,9   |
| <i>Quercus rubra</i>      | 40,4                | 13,9   |
| <i>Fraxinus americana</i> | 48,2                | 14,1   |

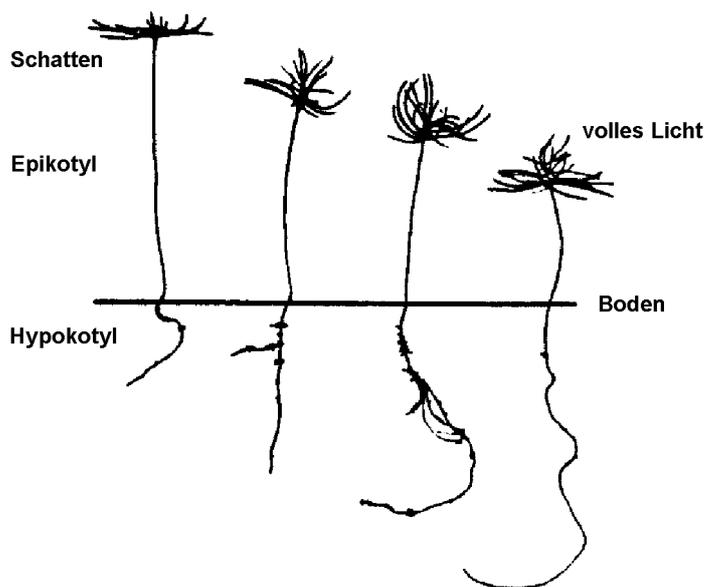
Gültigkeit: Connecticut (USA), Höhenlage 350 – 500 m.ü.M.  
Nach Canham et al. (1994)

Es zeigt sich, dass diese Lichtkomponenten in einer solchen Situation z.T. erheblich sein können. Allerdings gelten diese Anteile für relativ geringe relative Strahlungsverhältnisse von 1 - 6 % des einfallenden Lichts. Auch gibt es grosse Variationen zwischen den Baumarten. Bei stark lichtokkultierenden Schattenbaumarten macht das indirekte Licht angemessene Anteile aus. Bei eher lichtdurchlässigen Lichtbaumarten dominiert der Anteil der Lichtflecken.

#### 6.1.4 Lichtbedürfnisse der Forstpflanzen für die Ansamlungsphase

Für die Keimung braucht es insbesondere Feuchtigkeit und Wärme und wenig Licht. Licht wird kaum limitierend sein während des Keimungsprozesses. Dahingegen werden die Lichtverhältnisse die Entwicklung der Keimlinge und - nachdem die Keimblätter gefallen sind - die Sämlinge erheblich beeinflussen.

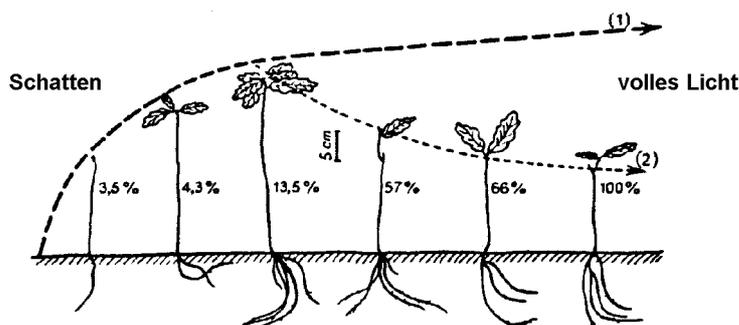
Viel Licht fördert primär die Entwicklung des Wurzelsystems, Schatten eher die Epikotylen wie die Keimungsversuche von Roussel (1972) am Beispiel der Fichte (Abb. 6.12) und der Eiche (Abb. 6.13) zeigen. Im Fall der Eiche zeichnet sich grundsätzlich ein ähnliches Verhalten ab. Die stimulierende Wirkung des Lichtes auf die Wurzelentwicklung ist sichtbar. Weil die Eiche sehr lichtbedürftig ist, wird die Sprossentwicklung, wie auch die ganze Entwicklung unterhalb etwa 10 % relativem Lichtgenuss, stark eingeschränkt.



**Abb. 6.12:** Entwicklung von einjährigen Fichtensämlingen in unterschiedlichen Lichtverhältnissen.

Links: unter starker Beschattung; Rechts: unter vollem Lichtgenuss.

Nach Roussel (1972)



**Abb. 6.13:** Entwicklung einjähriger Eichensämlinge unter verschiedenen Lichtverhältnissen.

Links: starke Beschattung  
Rechts: voller Lichtgenuss

Nach Roussel (1972)

Um die Ergebnisse der Lichtmodelle richtig zu werten, ist es wichtig, die Lichtansprüche der Baumarten zu kennen. Die klassische Einteilung der Baumarten nach dem Lichttemperament (oder besser gesagt der Schattentoleranz) gilt in der Regel für erwachsene Bäume. Erfahrungsgemäss verändern sich die Ansprüche mit zunehmendem Alter. In der Frühjugend, d.h. im Keimling-Sämling-Zustand können die Bedürfnisse wesentlich von den späteren Bedürfnissen abweichen. In der Regel sind Sämlinge schattentoleranter als die grösseren Pflanzen. So können junge Eichen (1-2jährig) recht viel Schatten ertragen, obwohl die Baumart als sehr lichtbedürftig gilt. Roussel (1972) schätzt, dass Jungeichen 10% Lichtgenuss pro Altersjahr ertragen können. Das heisst, dass sie nach 10 Jahren volles Licht brauchen.

Das gleiche gilt für Ahorn und Esche, welche in der Frühjugend recht hohe Schatten ertragen. Die Beschattung führt allerdings zur Verlangsamung des Streckenwachstums, was schlussendlich bezüglich Verblissrisiko oder Konkurrenz mit Adventivvegetation entscheidend sein kann. Wir werden im Abschnitt 6.3.1 sehen, dass die Beschattung günstige, aber auch negative Wirkung auf entwicklungsphysiologische Prozesse ausüben und somit z.T. erhebliche Wirkung auf die Formbildung (Schaftachsenarchitektur) haben kann.

Die Lichtbedürfnisse junger Bäume im Sämlingsalter sind für einige Koniferen gemäss Roussel folgendermassen einzuschätzen (Tab. 6.14)

**Tabelle 6.14:** Lichtbedürfnisse von vier Baumarten im Sämlingsalter.

| Baumart    | Lichtbedürfnisse in % des einfallenden Lichtes auf der freien Fläche |
|------------|--|
| Weisstanne | 5 – 25   |
| Buche      | 15 - 30  |
| Fichte     | 15 – 60  |
| Douglasie  | 10 – 30  |

Nach Roussel (1972), Aussenac (1975) und Lüpke und Spellmann (1997)

**Tabelle 6.15:** Lichtverhältnisse unter normal geschlossenen Beständen unterschiedlicher Baumarten während der Vegetationsperiode.

| Baumarten                 | Relatives Licht auf dem Boden (% des einfallenden Lichtes) |
|---------------------------|--|
| <i>Tsuga canadensis</i>   | 1,3  |
| <i>Fagus grandifolia</i>  | 0,5  |
| <i>Acer canadensis</i>    | 2,2  |
| <i>Betulla lutea</i>      | 2,9  |
| <i>Acer rubrum</i>        | 3,3  |
| <i>Prunus serotina</i>    | 4,5  |
| <i>Fraxinus americana</i> | 4,1  |
| <i>Quercus rubra</i>      | 5,1  |
| <i>Pinus strobus</i>      | 5,4  |

Zu ähnlichen Ergebnissen kommt Cescatti (1996) bei der Analyse des Vorkommens von Fichte- und Tannen-Verjüngung in einem subalpinen Plenterwald in den nordorientalischen, italienischen Alpen. Die Überlebensgrenze für Tannensämlinge legt er bei 13% PAR-Lichtverhältnisse und bei 17% für Fichtensämlinge.

Unter normal geschlossenen Beständen gelangt nur wenig Strahlung bis auf den Boden. Gemäss Untersuchungen von Canham et al. (1994) sind es je nach Kronendurchlässigkeit 0,5 bis 5 % des einfallenden Lichts (Tab. 6.15). Dies genügt meist nicht für eine erfolgreiche Keimung bzw. Ansamungsaufkommen, für welches es normalerweise notwendig ist, eine Lockerung der Beschirmung (Ansamungshieb) zu schaffen.

### **6.1.5 Anzustrebende Besiedlungsdichte**

Zur Erfüllung der waldbaulichen Anforderungen bezüglich hoher Wertschöpfung wird klassischerweise eine einigermassen flächendeckende, homogene dichte Besiedlung durch die Forstpflanzen angestrebt. Dies wird begründet mit:

- günstige erzieherische Wirkung von dichten Kollektiven
- eine genügende Auslesebasis

Unter solchen Voraussetzungen wurde früher z.B. für die Baumarten mit sympodialen Schaftbildungstendenzen, wie Bu und Ei erwünschte Ansamungsdichte von mindestens vier Sämlingen pro m<sup>2</sup> (40'000/ha) erwartet. Weil heute aus Kostengründen deutlich weniger dichte Verjüngungen angestrebt werden, wird man sich mit Besiedlungsdichten von einigen Tausenden pro ha begnügen (Chollet, 1997). Das Ganze hängt von der Qualität der Nachkommen bzw. von der Zeit der Überlappung der Generation bzw. der Beschattungsverhältnisse ab.

Darüber hinaus führen heute Überlegungen zur Schaffung von Mischbestockungen einerseits und zur Reduzierung der Jungwaldpflegekosten zur Schaffung erheblich geringerer Besiedlungsdichten. Im Gegenteil strebt man heute eher an, stammzahlarne Bestockungen zu schaffen. Immerhin benötigen wir eine genügende Basis für die spätere phänotypische Auslese, bzw. genügende Umgebungsverhältnisse zur Schaffung günstiger erzieherischer Wirkungen. Auch kann die erzieherische Funktion durch Vorbaubaumarten wie Birke, Aspe, Vogelbeere gefördert werden (siehe Abschnitt 7.2.2).

## **6.2 ÖKOLOGIE DER VERJÜNGUNGSSTELLUNG**

Eine der einfachsten Möglichkeiten der Steuerung einer Verjüngung ist die Zuhilfenahme der Altgeneration als Mittel zur Kontrolle des Lichtfaktors und die anderen verjüngungsökologischen Einflüsse. Zur Entscheidung, welche der vier Grundstellungen: am Saum, unter regelmässigem Schirm, im Loch oder auf der freien Fläche (siehe Tab. 6.16), geeigneter ist für die Einleitung der Verjüngung, soll die Vor- und Nachteile dieser Formen bezüglich den wichtigen Faktoren Feuchtigkeit, Wärme und Licht, bzw. bezüglich Wirkung der Folgeeingriffe auf die Verjüngung analysiert.

Kahlhieb



Schirmhieb



Saumhieb



Femelhieb



Plenterhieb



**Abb. 6.11:** Die verschiedenen Grundstellungen bei der Generationsablösung bzw. Hiebsarten.

### 6.2.1 Übersicht der Unterschiede der Verjüngungsstellung

**Tabelle 6.17:** Vor- und Nachteile der Verjüngungsstellungen bezüglich Ansamung.

| Verjüngungsstellung | Vorteile   | Nachteile   |
|---------------------|--|---|
| Schirmstellung      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- gleichmässige Lichtverteilung</li> <li>- kein direktes Licht</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wurzelkonkurrenz des Mutterbestandes</li> <li>- Schäden am Jungwuchs bei der Räumung der Muttergeneration</li> </ul> |
| Saumstellung        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- relativ grosse Amplitude des Lichtfaktors</li> <li>- Holzabfuhr ohne grosse Schäden am Jungwuchs</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- feine Lichtdosierung nicht gut möglich</li> <li>- Wurzelkonkurrenz des Mutterbestandes</li> </ul>                    |

|              |  |   |
|--------------|--|---|
| Lochstellung | <ul style="list-style-type: none"> <li>- grosse Amplitude des Faktors Licht</li> <li>- keine Wurzelkonkurrenz des Altbestandes</li> <li>- günstige Holzabfuhr ohne Schäden am Jungwuchs</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- zuviel direktes Licht im Zentrum, ungünstig für die Ansamlungsphase</li> </ul>   |
| Kahlhieb     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- keine Beschädigung am Jungwuchs</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- zu grosse Lichtkontraste</li> <li>- keine Transpiration durch den Altbestand (Gefahr vorübergehender Verwässerung)</li> <li>- Bodenaustrocknung</li> </ul> |

Die für das Aufkommen der Verjüngung ökophysiologisch relevanten Faktoren Feuchtigkeit, Licht, Frost, Evapotranspiration u.a., können z.T. grössere Variationen aufweisen, je nach Verjüngungsstellungen. Am stärksten ausgeprägt sind die Unterschiede zwischen dem geschlossenen Bestand und der Kahlfläche. Eine gute Übersicht über diese Variationen geben zwei detaillierte ökophysiologische Untersuchungen: eine von Krečmer (1966, 1967, 1968) in zwei Lochhieben (Breite von einer bzw. zwei Baumhöhen) in einem Föhrenwald in Ostböhmen sowie eine Versuchsanlage im Raum Nancy, wo vergleichsweise ein Lochhieb (etwa eine Baumhöhe) gegenüber Schirmhieb und Kahlfläche von Aussenac (1970, 1975, 1977) beobachtet wurde.

### 6.2.2 Wirkung der Verjüngungsstellungen auf den Faktor Feuchtigkeit

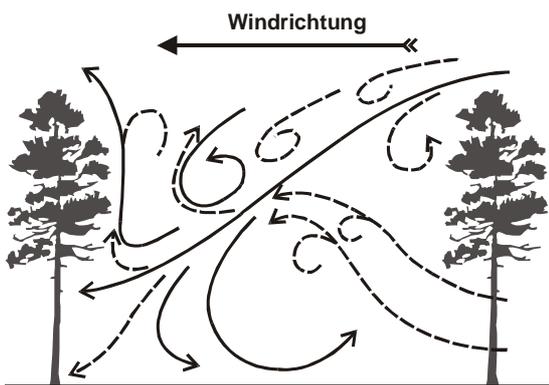
**Tabelle 6.18:** Variation der Niederschläge am Boden je nach Verjüngungsstellung.

| Verjüngungsstellung  | Relative Niederschläge im Verhältnis zum Freiland (%) |  |
|----------------------|---|--|
|                      | Angaben nach Aussenac (1975) Lothringen (F) (%)       | Angaben nach Krečmer (1967) Böhmen (%) |
| Kahlhieb             | 100   |  |
| Schirmhieb           | 83  |  |
| Lochhieb             |   |  |
| - südl. expon. Rand  | 97  | 98                                     |
| - nördl. expon. Rand | 95  | 93                                     |
| - östl. expon. Rand  | 88  | 100                                    |
| - westl. expon. Rand | 99  | 98                                     |

Die Feuchtigkeit ist ein wichtiger Faktor für die Entwicklung der Ansamung, weil die Keimlinge mit ihren sehr kleinen Wurzeln der Gefahr der Austrocknung des Oberbodens im Sommer ausgesetzt sind. Die Bodenfeuchtigkeit ist das Resultat vom Einfall der Niederschläge und von der direkten Erwärmung des Bodens. Der Anteil der Jahresniederschläge, welche auf den Boden gelangen, dokumentiert die folgende Tabelle 6.18.

Wie erwartet, wirkt die Schirmstellung deutlich reduzierend auf die Niederschläge, weil der Schirm des Altbestandes trotz Aufflichtung immerhin rund 20 % des einfallenden Wassers interzipiert. Demgegenüber verhält sich die Lochstellung in etwa wie das Freiland. Im geschlossenen Altbestand sollte der Wassereintrag zwischen rund 70 (Koniferen) bis 80 % (Laubbäume) betragen. Am Saum verhält sich der Innensaum in etwa wie der geschlossene Bestand und der Aussensaum wie der Kahlhieb.

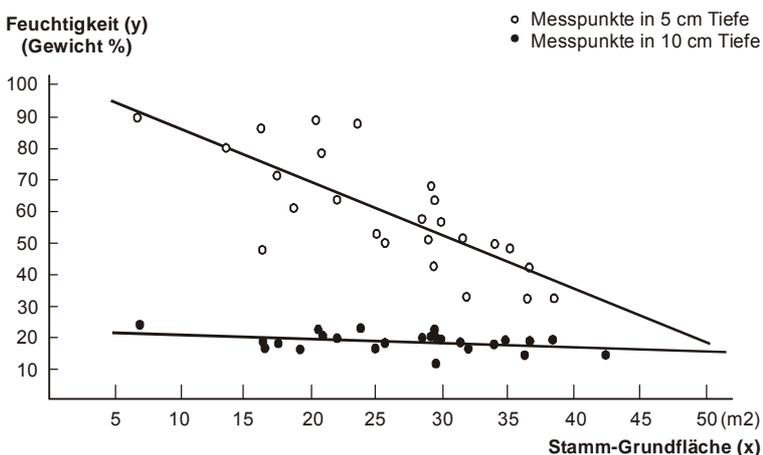
Zwischen Kleinloch (1 Baumlänge) und Grossloch (2 Baumlängen) gibt es bezüglich Niederschlägen keine wesentlichen Unterschiede. Wegen der Windturbulenzen, die im grösseren Loch stattfinden (Abb 6.19), gibt es tendenziell etwas mehr Niederschläge (104 % im Jahresdurchschnitt). Die Sogwirkung ist insbesondere im Winter für Schneeniederschläge spürbar (115 % Schneeniederschläge). Im kleineren Loch einer Baumbreite ist eine solche Sogwirkung nicht spürbar (Jahresniederschläge: 98 %).



**Abb. 6.19:** Windturbulenzen in der genügend breiten Lochstellung.

Nachgewiesen mit Rauchfahnen im Dispositiv von Krečmer (1967).

Entscheidend für die Ansamung ist die Feuchtigkeit im oberen Boden. Wie Untersuchungen von Anders (1974) in Sachsen an einem Gradient unterschiedlicher Bestandeslichtungen (gemessen an der Grundfläche der Altbestockung) zeigen, lassen sich Unterschiede in der Feuchtigkeit in der Bodentiefe von 5 cm erkennen. Hingegen sind praktisch keine Unterschiede feststellbar in einer Tiefe von 10 cm (Abb. 6.20).

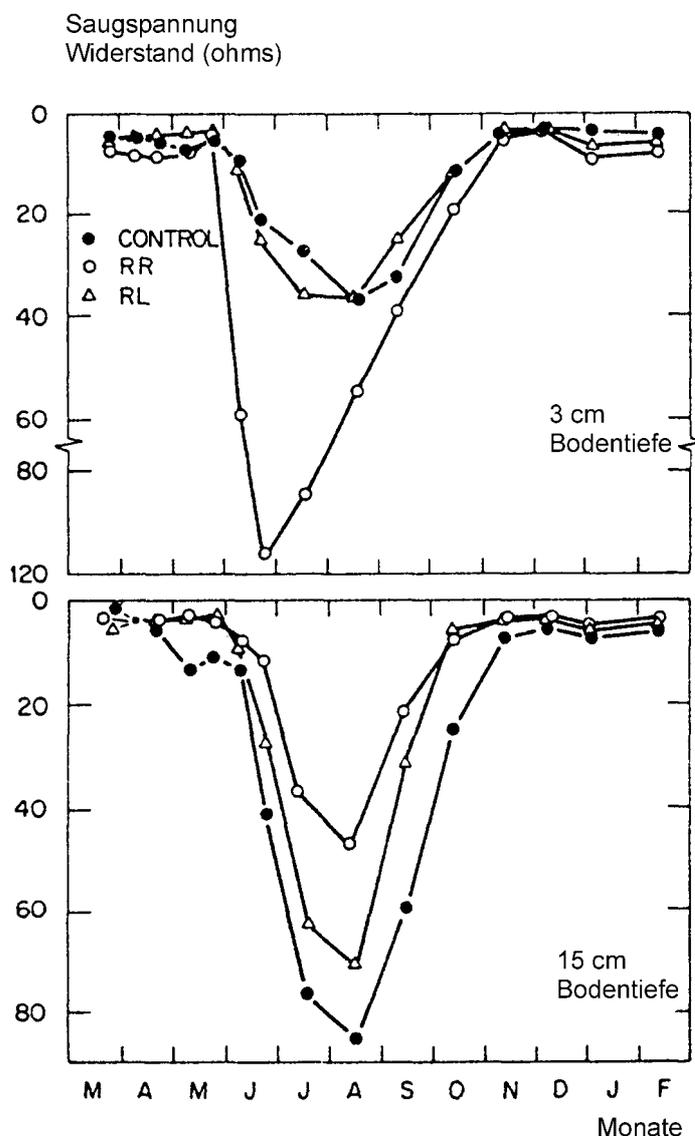


**Abb. 6.20:** Einfluss der Bestockungsdichte auf die Bodenfeuchte in 5 bzw. 10 cm Tiefe.

Nach den Untersuchungen von Anders (1974) in Sachsen (D). Die Bestockungsdichte ist mit der Grundfläche der Altbestockung angegeben.

Dabei wirkt im wesentlichen die Interzeption des Altbestandes. Sie führt zu deutlich niedrigerer Bodenfeuchtigkeit. Dieses Ergebnis zeigt, dass insbesondere in niederschlagsarmen Regionen die Wirkung des Altbestandes, mindestens bezüglich Feuchtigkeit des Oberbodens, als ungünstig zu bezeichnen ist. Diese ungünstige Wirkung der Altbestockung bestätigen die Beobachtungen von Lüscher (1990), der Ansamlung der Fichte in der obermontanen und subalpinen Höhenstufe im Engadin, welche sich schlecht unter dem Altbestand einstellt, und praktisch nur am äusseren Saum vorkommt.

Im Dispositiv von Anders wurde die Kahlstellung nicht betrachtet. Die Feldversuche von Edwards und Ross-Todd (1983) in Tennessee USA zeigen, dass im Oberboden, d.h. in der Humusschicht (3 cm Tiefe, obere Darstellung in Abb. 6.21), der Boden unter Kahlschlägen in der Sommerzeit erheblich ausgetrockneter ist als unter geschlossener Laubwalddeckung eines Laubmischwaldes (Abb. 6.21).



**Abb. 6.16:** Vergleich der monatlichen Variationen der Bodenfeuchtigkeit von Kahlschlag mit und ohne Räumung des Schlagabraumes und geschlossenem Wald in 3 und 15 cm Tiefe.

Versuch Oak Ridge, Tennessee USA (Edwards und Ross-Todd, 1983)

Varianten:

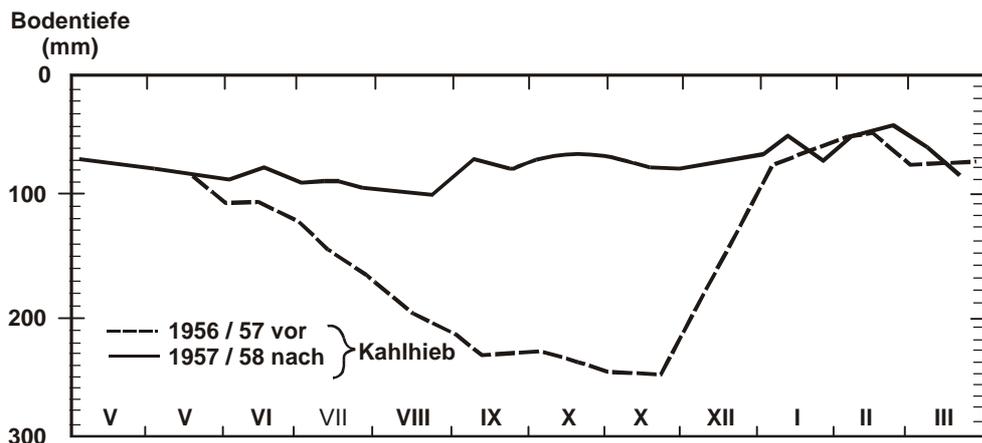
Control: geschlossener Wald

RR: Kahlhieb mit vollständiger Räumung

RL: Kahlhieb mit Liegenlassen des Schlagabraumes (< 28 cm BHD)

Die Kahlschlagvariante mit Liegenlassen einer starken Mulchschicht aus Schlagabraum (Variante RL) verhält sich in etwa wie unter geschlossenem Waldbestand. Interessanterweise ist, wie im Versuch von Anders, der Boden in 15 cm Tiefe (untere Darstellung) im Sommer unter dem geschlossenen Laubmischwald wesentlich trockener als bei den zwei Kahlschlagsvarianten. Dies lässt sich durch die Wirkung der Pumpfunktion durch die Transpiration des Altbestandes erklären.

Die Abwesenheit der Wasserpumpfunktion des Altbestandes kann, wenn der Wasserpegel hoch ist oder bei sehr tonreichen Böden, zu einer meistens nicht genügend gut bekannten Erscheinung, nämlich dem Verbleiben eines ganzjährigen hohen Grundwasserstandes führen. Dies zeigen sehr einleuchtend die Beobachtungen von Holstener-Jörgensen (1967) in einem Buchenbestand im Dänemark (Abb. 6.22). Nach Kahlhieb bleibt das Grundwasser das ganze Jahr sehr hoch, steigt sogar mit Sommerniederschlägen auf etwa 70 cm, im Gegensatz zur der bestockten Partie, wo dank Evapotranspiration der Grundwasserstand im Sommer deutlich sinkt.

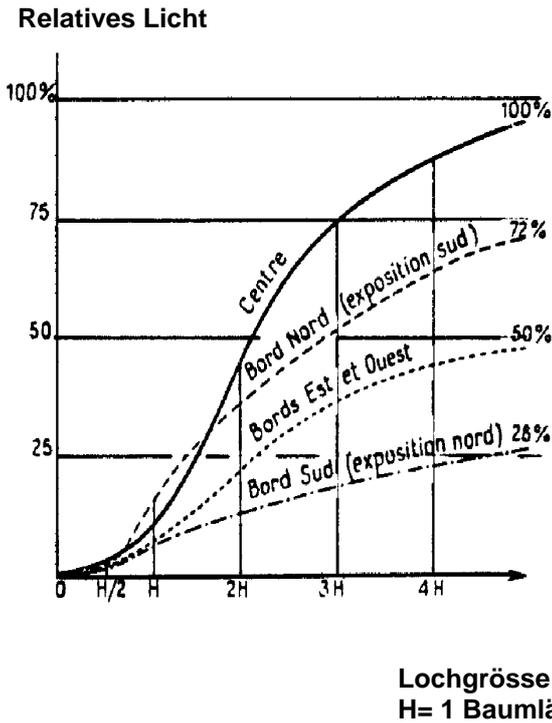


**Abb. 6.22:** Entwässerungseinfluss des Waldes dank Evapotranspiration. Jährlicher Grundwassergang in einem 75-jährigen Buchenbestand in Dänemark vor und nach dem Kahlhieb (1967). nach Holstener-Jörgensen; In: Mitscherlich (1971)

Eine solch negative Wirkung des Kahlhiebes ist besonders spürbar in Regionen mit hohen Niederschlägen im Sommer und bindigen, kapillarisch wasserbindenden Böden, die an vielen Orten im schweizerischen Mittelland anzutreffen sind. In solchen Wäldern sind nicht selten Spuren von alten Entwässerungsgräben zu finden, welche notwendig waren zur Entwässerung des Bodens nach Kahlhieb. Die Wirkung des Kahlhiebes führt insbesondere bei uns oft zu Anoxie (Luftmangel wegen Wassersättigung), allenfalls zur Förderung der Hydromorphie (Wechselfeuchte). Beobachtungen von Aussenac (1975) auf tonreichen Böden im Raum Nancy zeigen, dass die Lochstellung zu ähnlichen Phänomenen führt, insbesondere zeichnet sich im Lochzentrum eine deutliche Anhebung des kapillarischen Grundwassers bis auf 40 cm Tiefe ab.

### 6.2.3 Wirkung der Verjüngungsstellung auf den Faktor Licht

Die Lichtverhältnisse in einem kreisrunden Bestandesloch hängen im wesentlichen von der Lochgrösse ab, gemessen am relativen Durchmesser gegenüber den Baumhöhen des umrandeten Bestandes, wie Abb. 6.23 nach Modellrechnung von Roussel (1972) zeigt. Sie weist sehr eindrücklich darauf hin, dass es bezüglich Lichtklima grosse Unterschiede zwischen kleinen und grösseren Löchern gibt. Kleine Löcher (d.h. kleiner als eine Baumlänge) weisen ähnliche Lichtbedingungen auf wie unter Schirmstellung. Z. B. betragen die Lichtverhältnisse in einem Loch einer halben Baumlänge nur 3 - 4 % des Freilandes, welche auf 8 bis 13 % steigen für ein Loch einer ganzen Baumlänge. Eine drastische Steigerung erfolgt erst bei Lochgrössen von mehr als zwei Baumlängen. Grosse Unterschiede zeigen sich nach den Expositionen im Loch. Am südexponierten Saum gibt es mit 72% fast drei mal mehr Licht als am nordexponierten (28 %). Die Ost-West-Ränder weisen 50 % Licht auf.



**Abb. 6.23:** Relative Lichtverhältnisse in Bestandeslöchern unterschiedlicher Breite

Nach Modellrechnungen von Roussel (1972)

- Zentrum der Lücke
- - - südl. zugewandter Rand
- ..... östl./westl. zugew. Rand
- · - nördl. zugew. Rand

In Saumstellung ist die Exposition des Saumes massgebend. Am Saumrand findet man die oben erwähnten Lichtverhältnisse (Endwerte in Abb. 6.23): 72 % am südexponierten Saum, 28 % am nordexponierten und 50 % am ost/westexponierten.

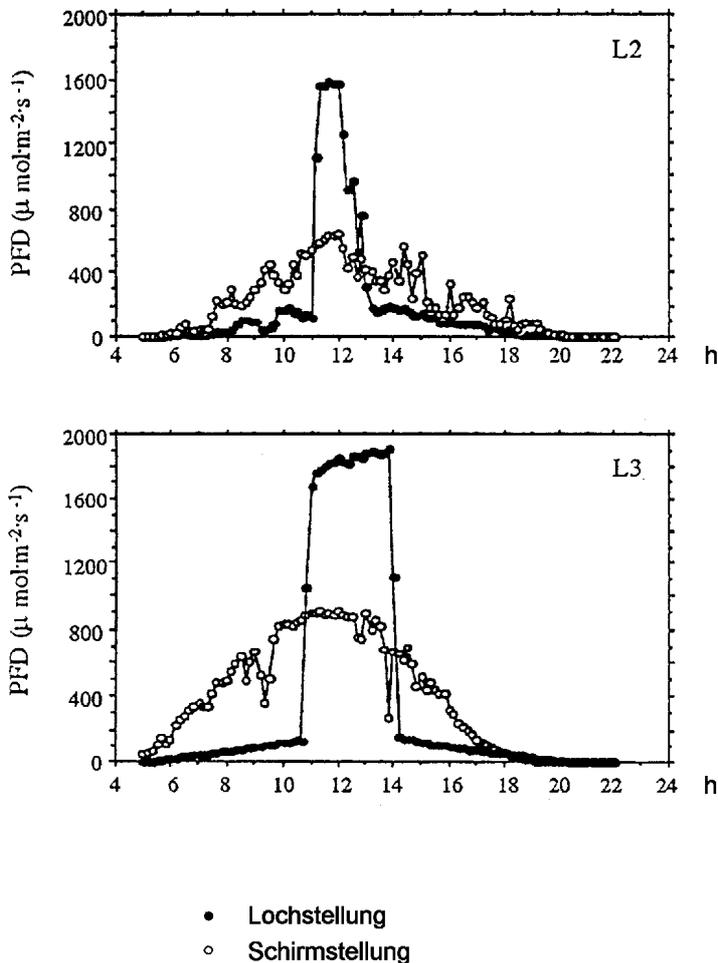
In der Schirmstellung betragen die Lichtverhältnisse je nach Lichtungsgrad des Schirmes zwischen 10 bis 20 % (z.B. 18 % nach einem Vorratsabbau von 25 %, Roussel, 1972). (Siehe Abb. 6.24). Der Unterschied zwischen Schirmstellung und Lochstellung besteht darin, dass im Tagesverlauf unter Schirm tiefere, aber ausgewogene Lichtverhältnisse vorkommen. In der kleinen Lochstellung ergibt sich eine hohe Lichtkonzentration von kurzer Dauer um die Mittagzeit und anschliessend mehr Schatten. Abb. 6.24 zeigt nach einem Experiment von Wayne und Bazzaz (1993) den Vergleich von Schirm- und Lochstellung. Die Versuche L2 und L3 wurden so konzipiert, dass für die zwei Varianten im Tagesverlauf in Schirm- und Lochstellung jeweils die gleichen Strahlungssummen erreicht wurden. Einem Loch von 0,4 x die Baumhöhe (Variante L2) entspricht eine Beschirmung von 27 %; einem mittleren Loch (0,8 x die Baumhöhe) eine Beschirmung von 50 %.

Die in solchen Versuchen gepflanzten Birkensämlinge konnten die ausgewogenen Lichtverhältnisse der Schirmstellung besser umsetzen als die der Lochstellung; sie wuchsen statistisch signifikant besser.

Betrachtet man die Voraussetzung für die Ansamung einer Schattenbaumart (z.B. der Tanne, entsprechend Tab. 6.14), wird es klar, dass die Tanne sich weder im Lochzentrum grösserer Lochhiebe noch an der Saumstellung einstellen kann, wenn schon nur in strikter Nordexposition und im innere Saum. Die Ansamung der Tanne braucht Lichtverhältnisse, wie sie unter Schirmstellung oder in ähnlich wirkenden Situationen vorkommen. Dahingegen zeigt Diaci (2002) für die erfolgreiche Ansamung der Fichte für montane Tannen-Buchenwälder, dass die Schaffung von Lücken von 5-10 Aren günstig wirken.

Die Buche nimmt als Schattenbaumart eine Zwischenstellung zwischen Tanne und Fichte ein. Gemäss Beobachtungen von Lüpke und Spellmann (1997) wachsen Fichtensämlinge unter diffusen Lichtverhältnissen über 15 % (15-30 %) schneller als diejenigen der Buche. Dazu

bedürfen sie entweder einer entsprechenden Erhöhung des Bestandesschirmes (Deckungsgrade  $< 0.6$ ) oder Lücken von mindestens 15 – 25 m Durchmesser.



**Abb. 6.24:** Unterschiede in Tagesvariationen der Belichtung zwischen Loch- und Schirmstellung.

PPF ist der durchschnittliche Flux an Photonen.

Experiment L2 vergleicht die Kleinlochstellung (0,4 H) mit Schirmstellung.

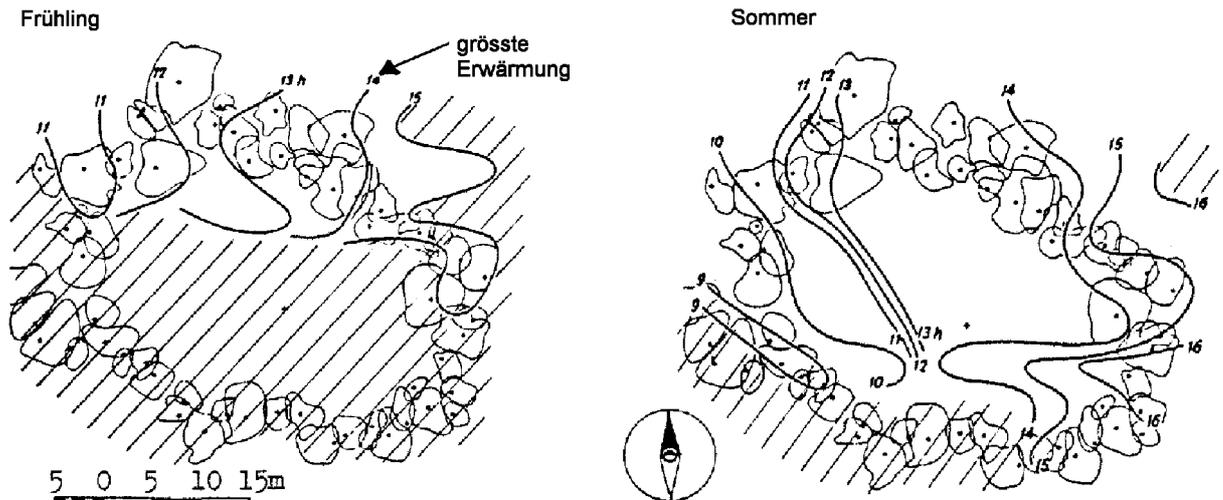
Experiment L3 vergleicht die mittlere Lochstellung (0,8 H) mit der Schirmstellung.

Nach Wayne und Bazzaz (1993)

### Erwärmung des Bodens

Strahlung wirkt nicht nur auf die Photosynthese, sondern auch auf die Erwärmung der Pflanzen und des Bodens. Eine genügende Wärme des Bodens ist z.B. notwendig für das Wachstum des Wurzelsystems. Erwärmungen des Bodens gibt es, wo direkte Strahlung bis auf den Boden gelangt, z.B. in der Lochstellung. Messungen der Bodentemperatur im Dispositiv von Krečmer zeigen, dass im Winter die Bodentemperaturen etwas tiefer sind im Lochzentrum. Im Frühling erwärmen sich die südlich exponierten Bereiche deutlicher als andere Partien, und im Hochsommer ist das Zentrum wesentlich wärmer als die Randpartien.

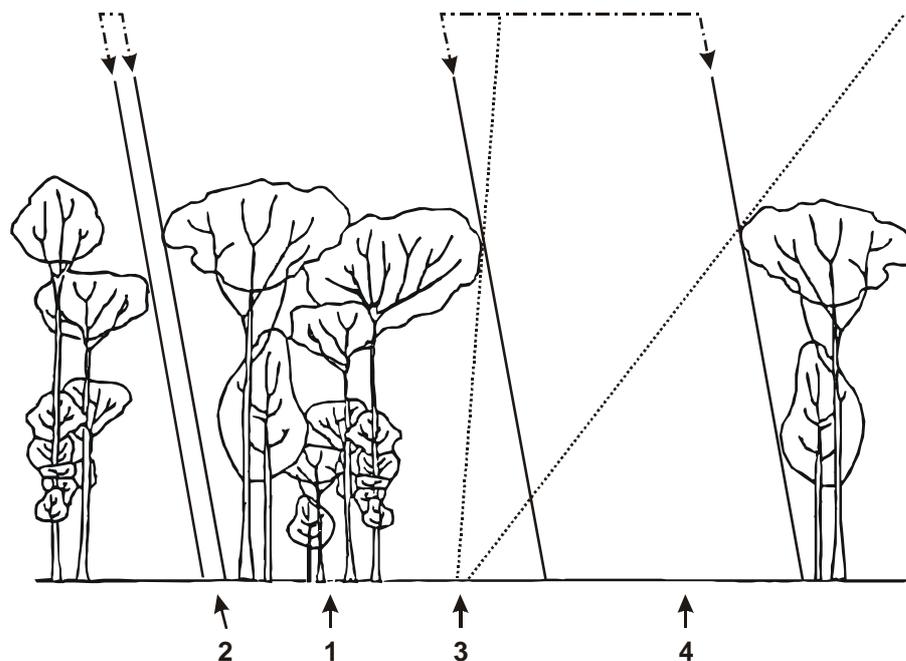
Diese Messungen weisen auch nach, dass der Boden am Nachmittag besser erwärmt wird (siehe Abb. 6.25) und bestätigen die Erfahrung, dass die Vormittagssonne am stärksten die Pflanzen und die Nachmittagssonne am stärksten den Boden erwärmen.



**Abb. 6.25:** Zonen der maximalen Bodenerwärmung in einem Bestandesloch von zwei Baumhöhen, mit Angabe der Tageszeit und der grössten Erwärmung. nach Krečmer (1967)

### Form der Bestandesöffnung und Lichtqualität

Es wurde schon auf die Bedeutung der Lichtqualität für gewisse Entwicklungsprozesse hingewiesen. Weil sich durch die Absorption des Lichteinfalles durch das Kronendach die spektrale Struktur des Lichtes verändert, gibt es unter dem Waldbestand ein Defizit im Wellenlängenbereich der Absorption durch die Photosynthese und entsprechend eine Anreicherung im Bereich des dunkelroten Lichtes.



**Abb. 6.26:** Unterschiede im qualitativen Lichtklima im Wald je nach Muster der Öffnung des Kronendachs. Gilt bei unbedecktem Himmel und Sonnenschein; nach Schmerber (1997).

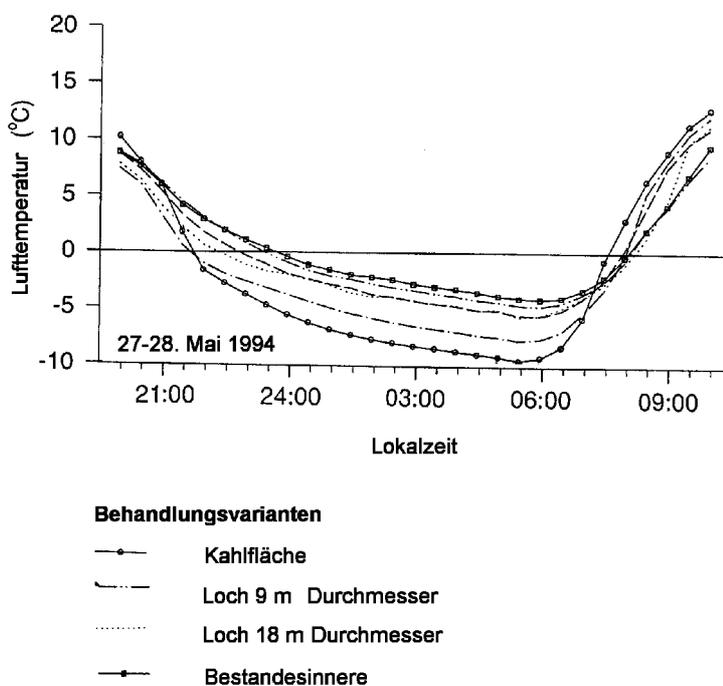
Je nach Öffnungsmuster des Kronendachs bzw. Eindringen der direkten Sonnenstrahlen die spektrale Veränderung der Lichtzusammensetzung etwas verschieden. Wie Abb. 6.26 zeigt, ist die Strahlung auf den Bestandesboden im Situationsfall 1 des normal geschlossenen Kronendachs im grün-gelblichen Spektralbereich. In kleinen Lichtschächten von weniger als 1 m Breite (Situation 2) ist das Licht rötlich. Am Trauf einer Lücke ohne direkte Sonnenstrahlung (Situation 3) ist sie blaugrau und in der Lochmitte (Situation 4) im weissen Bereich.

#### **6.2.4 Wirkung der Verjüngungsstellung auf den Faktor Fröste**

Als dritte ökologisch relevante Grösse für die Ansamung gelten die Extremtemperaturen, insbesondere die Spätfroste, wenn auf Bodenhöhe bei ausgetriebenen Pflanzenteilen die nächtlichen Temperaturen unterhalb  $-2^{\circ}\text{C}$  fallen. Die Strahlungsfröste entstehen bei klarem Himmel, wenn die langwellige Radiation aus der Bodenreflexion wesentlich grösser ist als die gleichwellige Radiation aus dem Himmel.

Weil Kaltluft schwerer als Warmluft ist, versammelt sich Kaltluft in Depressionen, Mulden und in andere orographischen Senken und bildet sog. Kaltluftseen. Auch eine Lücke im Wald kann als Kaltluftdepression wirken, wenn seine Ränder undurchlässig sind. Dichte Waldränder am Hang können auch eine solche Wirkung haben.

Dagegen wirkt jede Pflanzendecke, insbesondere ein Schirm von Baumkronen als Strahlungsreflektor und schützt die Vegetation darunter. Daraus ist abzuleiten, dass bezüglich Frostgefahr die Schirmstellung sehr günstig ist und meistens effizient schützt gegen Spätfroste, insbesondere die empfindlichen Baumarten wie Ta, Es, (Traubeneiche). Hingegen dürften Kahlhieb und grosse Lochhiebe eine recht ungünstige Wirkung ausüben.



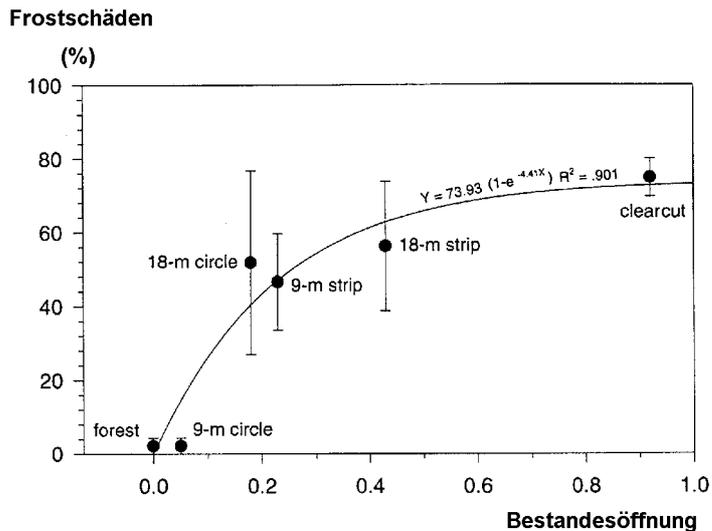
**Abb. 6.27:** Temperaturunterschiede während Spätfrostergebnissen von verschiedenen Waldstellungen gegenüber der Kahlhiebstellung.

Nach Beobachtungen von Groot und Carlson (1996) in Ontario bei Strahlungsfrostnächten im Mai.

Beobachtungen von Groot und Carlson (1996) in Ontario/Kanada zeigen (Abb. 6.27) Temperaturminimalunterschiede in Spätfrostnächten von bis  $6^{\circ}\text{C}$  zwischen Kahlfäche und geschlossenem Wald. Die Lochstellung hat eine intermediäre Wirkung. Schirmstellung, wenn

der Schirm nicht allzu stark geöffnet ist, wirkt wie der geschlossene Bestand. Ähnliche Untersuchungen in Europa von Aussenac (1970) und Krecmer (1966) bestätigen die Allgemeingültigkeit solcher Beobachtungen.

Beobachtete Frostschäden an *Picea glauca* im Versuchsdispositiv von Groot und Carlson (Kanada) zeigen den deutlichen Zusammenhang zwischen der Bestandesöffnung und dem Schadenausmass (Abb. 6.28), welche exponentiell zunehmen. Die Bestandesöffnung hat weniger Einfluss auf den phänologischen Zustand (Knospenausbruchsunterschiede) der Jungpflanzen (Fichte) von nur 2 Tagen zwischen Kahlhieb und geschlossenem Bestand.



**Behandlungsvarianten:** Kahlhieb  
Loch ( 9m Durchm. = 2.5 aren)  
Loch (18m Durchm. = 27 aren)  
Bestandesinnere

**Abb. 6.28:** Beobachtete Spätfrostschäden an jungen *Picea glauca* in Abhängigkeit der Bestandesöffnung des Altbestandes.

Nach Beobachtungen von Groot und Carlson (1996) in Ontario.

Die Autoren kommen zum Schluss, dass der Bestandesdeckungsgrad zumindest höher liegen soll als 0,7 bis 0,8, damit ein wirksamer Schutz gegen Strahlungsfröste erreicht wird.

Schwieriger wird es bei der Verjüngung von frostempfindlichen Lichtbaumarten (z.B. Eichen). In solchen Situationen empfiehlt es sich, einen Vorbau mit Treibholzarten als Strahlungsschirm vorzusehen. (Siehe Abschnitt 7.2.2)

### 6.2.5 Beschädigung durch höhere Tierarten

Ist die Hürde der Ansammlungsschwierigkeiten einmal überwunden, kann der Aufwuchs der Sämlinge durch Beschädigungen von höheren Tierarten erheblich gefährdet bzw. kompromittiert werden. Im Wesentlichen geht es hier einerseits um Beschädigungen durch Nagetiere, insbesondere durch im Wald lebende Mäuse, bzw. um Verbiss (auch Fege-, Schlag- oder Schältschäden) durch Huftiere (Reh, Hirsch und Gemse).

#### Mäuseschäden

Waldbewohnende Mäuse (Erdmaus, Schermaus und Rötelmaus) können das Überleben der Waldpflanzen im Jungwuchs bis Dickungstufe durch starke Nageschäden am Wurzelsystem

(Schermaus oder gr. Wühlmaus, *Arvicola terrestris* L.) oder durch oberirdische Ringelung am Stammfuss (Erdmaus, *Microtus agrestis* L.) beeinträchtigen. Die Rötelmaus (*Clethrionomys glareolus* Schr.) macht Ringelschäden in höheren Stammpartien. Mäusepopulationen sind zyklischen Gradationen mit einer Amplitude von 3 bis 7 Jahren unterstellt. Erdmäuse bevorzugen die insbesondere durch Brombeerwuchs stark verunkrauteten Verjüngungsflächen, welche Ihnen Sichtschutz gewähren.

Erdmäuse nagen vorzugsweise Laubholzarten mit weicher Rinde wie Esche, Buche, Eiche (etwas weniger Ahorn), aber auch Weide sowie Sträucherarten wie Pfaffenhütchen und schwarzer Holunder (Liechti, 2000) und lassen andere Arten wie Birken verschont. Beobachtungen von Guerdat (1997) in Eichenpflanzungen mit beigemischten spontan entwickelten Pionierbaumarten zeigen, dass präferenziell Weiden letalbeschädigt wurden (nebst vereinzelt Erlen), so dass die Eichen verschont blieben. Das Stehenlassen von solchen beigemischten, spontan vorkommenden Pionierholzarten wirkt als Ablenkung vor solchen Schäden (sog. Blitzableiterfunktion). In Phasen von Massenvermehrung von Erdmäusen hilft sonst als Abwehr nur die sehr kostspielige flächige Entfernung der Schlagflora.

### Schäden durch Schalenwild

Seit dem Verschwinden der grossen Predatoren seit der Beginn des 20. Jahrhunderts sind die Schalenwildbestände stark angestiegen. Gleichzeitig führen sowohl die Mechanisierung der Landwirtschaft und die dortige Verwendung von chemischen Produkten, wie auch die zunehmende Störung des Wildes durch den motorisierten Verkehr und diverse, den Wald beanspruchenden Sport- und Freizeitaktivitäten zu einer deutlichen Verschlechterung des Wildlebensraums und dadurch insbesondere zu einer Verdrängung des Wildes in den Wald. Aufgrund der künstlichen, unverhältnismässig hohen Schalenwildbestände einerseits und der Konzentration des Wildes auf den Wald andererseits, stellt das Schalenwild heute die grösste und schwerwiegendste Behinderung der Waldverjüngung dar. Sobald die Verjüngung 15 bis 20 cm Höhe erreicht hat, stellt der Verbiss durch Schalenwild oftmals einen überlebensgefährdenden Faktor dar. Dabei sind gewisse Baumarten wie die Tanne, die Esche, die Linde und besonders die seltenen Arten stärker betroffen als andere, wie namentlich die Buche und die Fichte (siehe Tab 6.29).

Baumarten, welche durch Pflanzung eingebracht wurden, erweisen sich als anfälliger auf Wildschäden und sind damit gefährdeter als die natürlich verjüngten. Das stark wachstumsfördernde bzw. gedüngte Umfeld im Pflanzgarten verleiht den Jungpflanzen einen hohen Nährstoffgehalt und somit eine Anziehungskraft auf das Wild.

Die für den Waldbau massgebenden Folgen des Wildverbisses sind in erster Linie der Verlust der Endknospen und die Verformung der Leittriebe. Darüber hinaus führen Fege- und Schlagschäden meistens zum Ausfall der Pflanzen. Weil letztere Schäden meistens zerstreut sind, haben sie entsprechend kleinere Bedeutung.

Wenn die Wilddichte einen kritischen Schwellenwert übersteigt, so führen die Verbisschäden zu unerträglichen Entmischungen bzw. unerträglichen Qualitätsausfällen. Im Falle des wiederholten Verbisses einer Pflanze geht es sogar letztendlich zum sozialen Abstieg bis zum definitiven Ausfall (Mortalität). Bei der Suche nach objektiven Kriterien für die Beurteilung der zulässigen Verbissbelastung haben Eiberle und Nigg (1987) Grenzwerte für die wichtigen Baumarten ausgearbeitet, auf Grund des einfach zu erfassenden Kriteriums des Anteils verbissener Endtriebe (sog. **Verbissintensität**). Die zulässigen Grenzen der Verbissintensität fallen je nach Baumart sehr unterschiedlich aus (siehe Tabelle 6.29), weil sie von der Verbisspräferenz, dem Verhalten bei mehrfachem Verbiss und zuletzt vom Höhenwachstumsgang abhängig sind.

**Tabelle 6.29:** Verbisspräferenzen durch Rehwild, getrennt nach Sommer- und Winterverbiss.

| Reihenfolge | Sommerverbiss |    | Winterverbiss |    |
|-------------|---------------|----|---------------|----|
|             | Baumart       | %  | Baumart       | %  |
| 1           | Linde         | 83 | Tanne         | 92 |
| 2           | Esche         | 51 | Linde         | 73 |
| 3           | Eiche         | 42 | Douglasie     | 68 |
| 4           | Erle          | 26 | Fichte        | 50 |
| 5           | Buche         | 12 | Eiche         | 47 |
| 6           | Douglasie     | 6  | Esche         | 40 |
| 7           | Fichte        | 4  | Buche         | 34 |
| 8           | Tanne         | 2  | Erle          | 9  |

NB: Die Verbisspräferenzen können, je nach Vorkommen und Häufigkeit der vorhandenen Arten, beträchtlich variieren. Das Schalenwild hat nämlich die unerfreuliche Angewohnheit, vor allem die jeweils am schwächsten vertretenen Arten zu verbeissen.

Nach König (1976).

Die in Tabelle 6.30 angegebene zulässige Verbissintensitäten gelten für einigermaßen rasche Verjüngungsfortschritte. Bei langsamem Verjüngungstempo liegen die zulässigen Grenzwerte erheblich höher.

**Tabelle 6.30:** Zulässige Verbissbelastungen durch Rehwild auf Grund des Kriteriums Verbissintensität nach Eiberle und Nigg (1987).

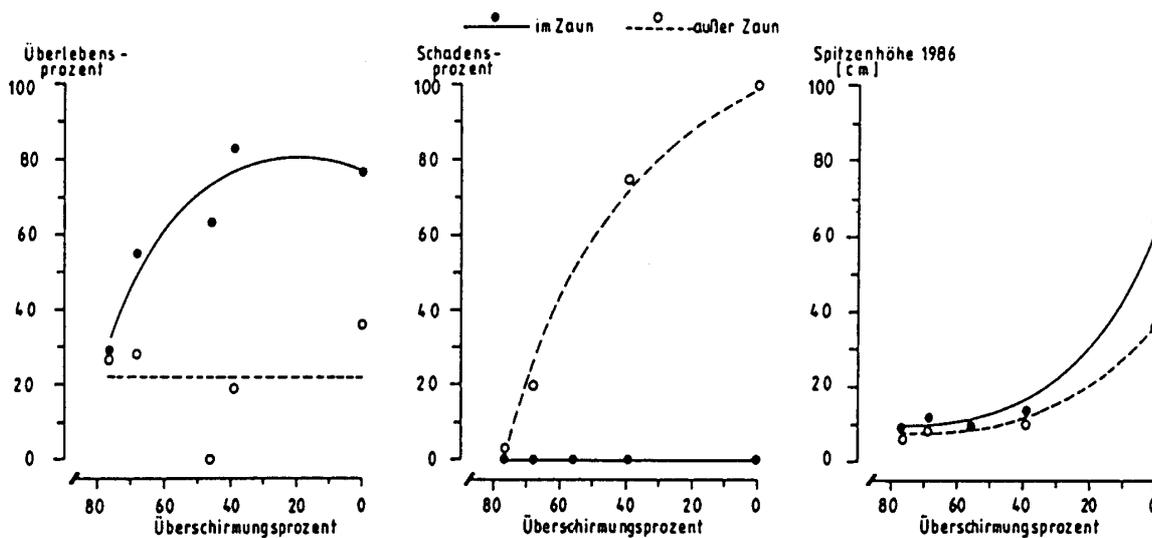
| Baumart   | Anzahl zulässige<br>verbissene Pflanzen<br>% | Zulässige Verbissintensität<br>% |
|-----------|--|----------------------------------|
| Tanne     | 29   | 9                                |
| Fichte    | 28   | 12                               |
| Föhre     | 17   | 12                               |
| Lärche    | 35   | 22                               |
| Bergahorn | 31   | 30                               |
| Esche     | 21   | 35                               |

Zulässige Verbissintensität = Anzahl verbissene Endtriebe  
Nach Eiberle und Nigg (1987)

Die Verbissintensität erlaubt immerhin eine objektive Erfassung der Schadensbelastung und damit die langfristig einzig akzeptierbare Problemlösung, nämlich die Regelung der Wildbestände durch jagdlichen Abschuss. Leider kommen solche Lösungen in Wirklichkeit trotz gesetzlicher Verpflichtung nur langsam voran, so dass man kurzfristig zu anderen Schadensabwehrformen wie Einzäunung, Einzelschutz (chemisch oder mechanisch) usw. greifen muss. Die Einzäunung bringt jedoch keine langfristig befriedigende Lösung der Wildschäden, da auch die

Äsungsfläche entsprechend verkleinert wird. So darf sie lediglich als Notlösung betrachtet werden. Verbuschte und verzweiselte Laubholzarten lassen sich nach langer Überschirmung bei entsprechender Lichtung auch korrigieren, indem sie bodeneben mit einem sauberen Schnitt auf dem Stock gesetzt werden. Erfahrungsgemäss ist diese Massnahme aus Gründen der Stabilität nur bei Stockdurchmessern von einigen cm erfolgreich.

Bei den erwähnten Beobachtungen des Münchner Waldbauinstituts im Bergmischwald der Bayerischen Kalkalpen sind die Überlebensrate, die Wildverbiss-Schadensanteile und die Pflanzenhöhen zehn Jahre nach Versuchsbeginn in Abhängigkeit der Beleuchtungsverhältnisse dokumentiert (Abb. 6.31).



**Abb. 6.31:** Wirkung der Schalenwildschäden auf das Überleben und die Entwicklung der natürlichen Ansamung im Bergmischwald. nach Mosandl (1990)

Das Überleben wird deutlich beeinflusst durch das Einzäunen und ist einigermaßen optimal auf wenig beschirmten Flächen. Die Verbisstätigkeit hängt auch von den Lichtverhältnissen ab – das Reh bevorzugt kräftig entwickelte Pflanzen. Die erreichten Pflanzenhöhen hängen primär vom verfügbaren Licht ab. Bei mässiger Wildbelastung und genügender Besiedlungsdichte lässt sich überlegen, ob auf eine Einzäunung aus Kostengründen verzichtet werden kann. Dies ist nur sinnvoll bei genügender Ansamungsdichte und unter kräftiger Belichtung. Hohe Schalenwildbestände zwingen oft zu unnötig raschem Verjüngungsfortschritt.

### 6.2.6 Feldbeobachtungen

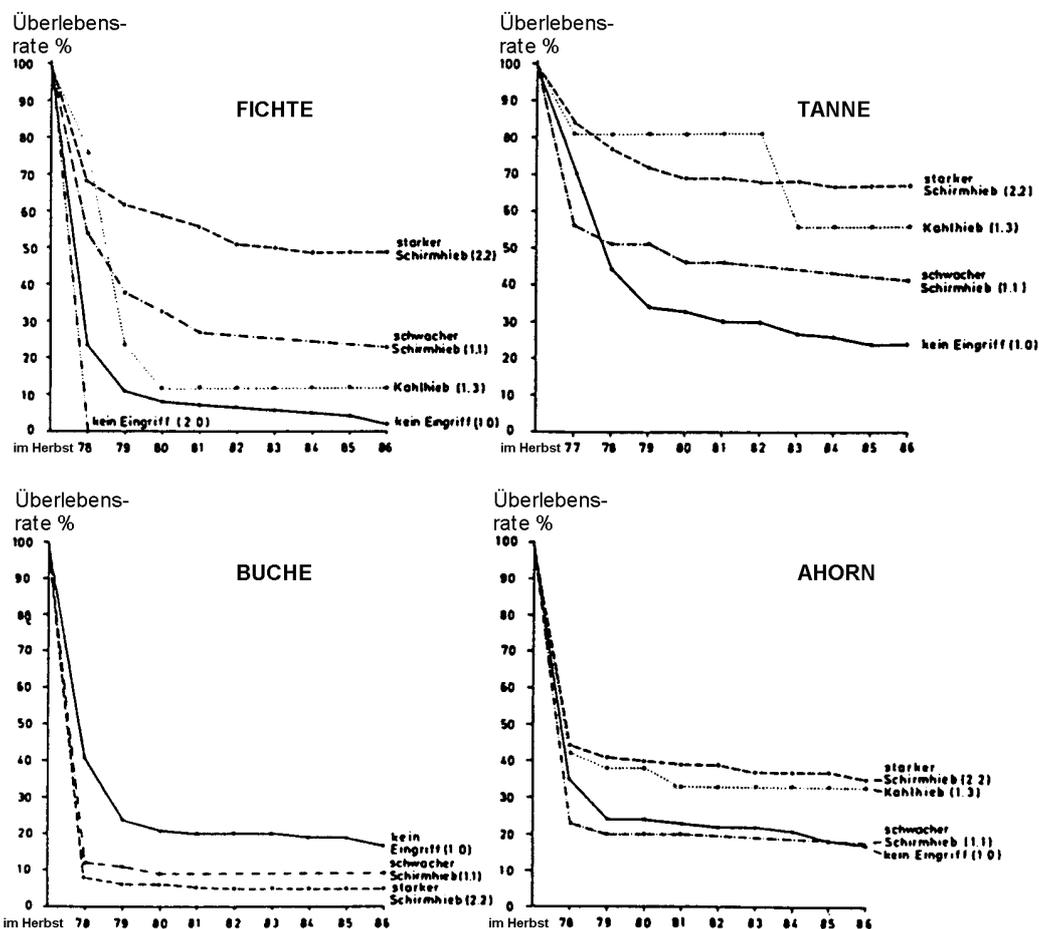
Eine erfolgreiche Ansamung hängt zuerst einmal vom Samenangebot und von den Faktoren des Überlebens, d.h. von der natürlichen Ausscheidung der Jungpflanzen (Mortalität, Parasitierung) ab. Je nach Witterung fallen die Fruktifikationen sehr unterschiedlich aus. Es gibt auch recht grosse Unterschiede im Überleben. In günstigen Jahren kann die Überlebensrate um ein Mehrfaches höher sein als im Durchschnitt, das gilt insbesondere für Baumarten mit mässigem Erfolg. Das Überlebensprozent der Fichte liegt z.B. bei 5 % im Durchschnitt. In guten Jahren kann es bis auf 25 % steigen (Mosandl, 1990).

Wie die Untersuchungen von Burschel und Mitarbeitern im Bergmischwaldgebiet in den ostbayerischen Kalkalpen zeigen (Mosandl et al., 1988; Mosandl, 1990; Burschel et al. 1993), sind die Unterschiede des Anwuchserfolges baumartenspezifisch. Für diese Mischwälder in montaner Lage ist der Verjüngungserfolg der Hauptbaumarten folgendermassen zu bewerten: (Burschel et al. 1993):

**Bergahorn > Tanne > Fichte > Buche**

Die Lichtverhältnisse können einen z.T. beträchtlichen Einfluss auf diesen Ansamungserfolg ausüben, direkt oder indirekt. Das schlechte Ergebnis der Buche hängt z.B. nebst den aussetzenden Fruktifikationen von der Eliminierung des Saatgutes durch Mäuse ab. Dieses erfolgt besonders akut auf stark gelichteten Flächen, insbesondere im Loch- oder Kahlhieb, weil diese Nagetiere solche verunkrautete Biotope bevorzugen.

### Überlebensprozente



**Abb. 6.32:** Anwuchserfolg der natürlichen Ansamung in den 10 Jahren nach der Keimung unter unterschiedlichen Verjüngungsstellungen und Belichtungsverhältnissen in den Kalkalpen Bayerns.

Geltungsbereich: Bayerische Kalkalpen, Höhenstufe: montan (900-950 müM);  
 pflanzensoziologisch: *Adenostylo glabrae Abieti-Fagetum caricetosum albae*.  
 nach: Mosandl (1990)

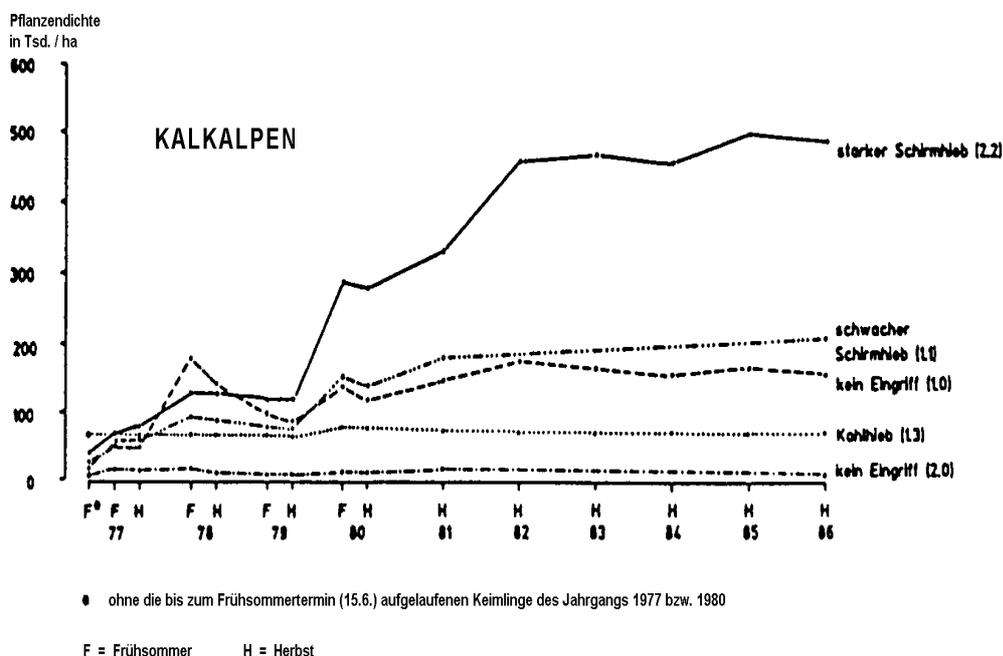
Abb. 6.32 zeigt die Überlebensprozente der Hauptbaumarten Fichte, Tanne, Buche und Bergahorn im Bergmischwaldversuch vom Münchner Waldbauinstitut. Abgesehen von der schon erwähnten Buche, welche die beste Überlebensrate unter dem geschlossenen Altbestand aufweist, weil für diese Baumart die Mäuse besonders relevant sind, zeigt es sich, dass die besten Überlebensraten unter starken Schirmhieben erfolgen. Es scheint, dass diese Verjüngungsstellung den besten Kompromiss aufweist für ein erfolgreiches Aufkommen der Jungpflanzen, insbesondere für die lichtbedürftige Arten wie Fichte und Bergahorn. Interessant ist zu vermerken, dass der Anwuchserfolg der Weisstanne und des Bergahorns auf der Kahlfäche praktisch so gut ist wie unter starken Schirmhieb.

### Besiedlungsdichte

Nicht nur die relativen Überlebensanteile sind für den Erfolg einer natürlichen Verjüngung massgebend, sondern die Zahl der Pflanzen (Besiedlungsdichte) und ihre Entwicklung in die Höhe, welchen von den Risiken (z.B. Verbiss) abhängen.

Abb. 6.33 zeigt für die gleiche Versuchsbedingungen wie vorher (Bayerische Kalkalpen) die Entwicklung der Pflanzendichte unter unterschiedlichen Hiebsbedingungen. Infolge weiterer Ansammlungen nimmt die Pflanzendichte noch einige Jahre nach dem Lichtungseingriff zu (sogenannte Nachverjüngung). Die Besiedlung ist eindeutig besser unter einem starken Schirmhieb (Reduzierung von 50 % der ursprünglichen Grundfläche). Zehn Jahre nach dem Eingriff ist die Besiedlung doppel so dicht wie unter schwächerem Schirmhieb (30 %).

Am schlechtesten fällt der Kahl- bzw. Lochhieb wegen mangelndem Samenangebot, grossem Mäusebefall (Bu) und üppiger Entwicklung der Schlagflora aus.

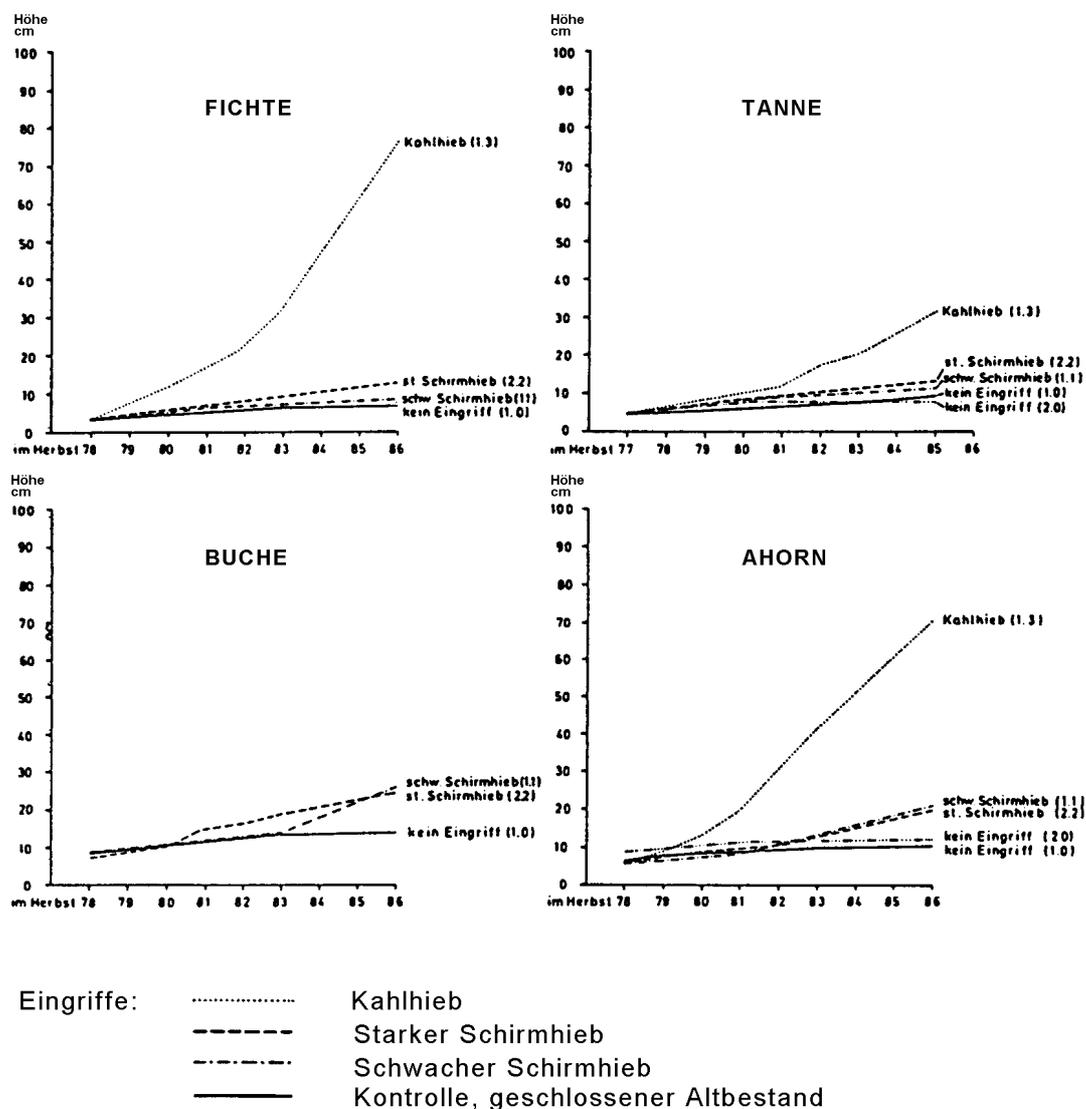


**Abb. 6.33:** Entwicklung der mittleren Besiedlungsdichte im Bergmischwaldversuch unter unterschiedlichen Verjüngungsstellungen. jeweils Mittelwerte von 32 Probekreisen im Zaun; Geltungsbereich: wie Abb. 6.32.

Schlussfolgerung solcher langfristigen Beobachtungen: Die Lichtdosierung während der Ansamlungsphase ist entscheidend für den Anwuchserfolg. Die Fichte scheint eine Baumart zu sein, welche am schwierigsten zu verjüngen ist, weil sie schon in der Ansamlungsphase besonders gute Lichtverhältnisse verlangt. Sie wird normalerweise nur unter starkem Schirmhieb oder in der Kleinlochstellung (5-10 Aren; nach Diaci, 2002) genügend aufkommen. Auf den besten Standorten ist aber eine solche Belichtung mit einer üppigen Entwicklung der Schlagflora verbunden, die ungünstig ist. Unter solchen Umständen sollen also eher mässig starke Schirmhiebe praktiziert werden.

**Höhenentwicklung**

Einige Jahre nach der heiklen Phase der Keimung sind die Sämlinge installiert, sie brauchen dann wesentlich mehr Licht für ihre Entwicklung in die Höhe.



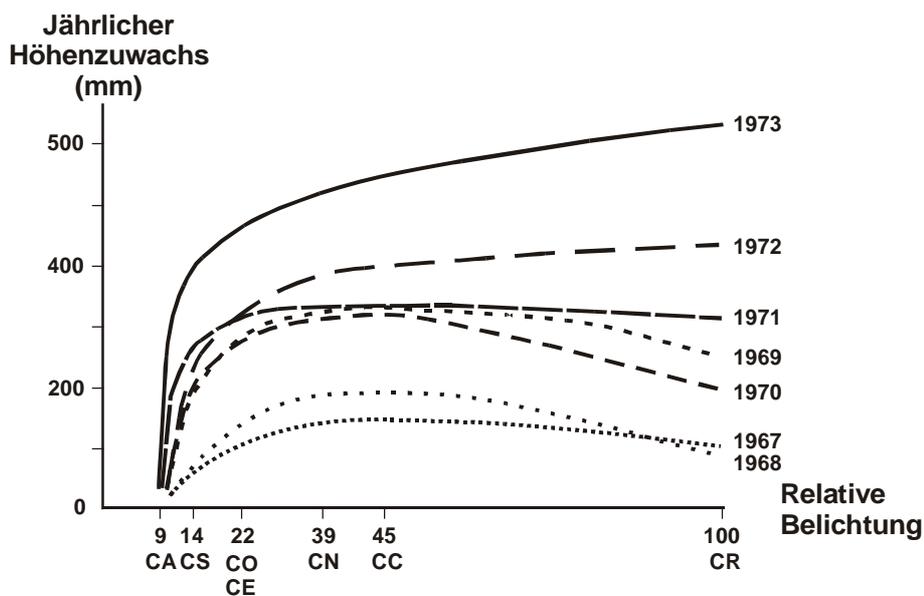
**Abb. 6.34:** Entwicklung der Pflanzenhöhen der vier Hauptbaumarten im Bergmischwaldversuch in den acht ersten Jahren unter verschiedenen Verjüngungsstellungen.

Geltungsbereich: wie Abb. 6.32.

Ist die Schirmstellung günstig für die erste Phase, zeigt es sich, dass schon einige Jahre danach die Höhenentwicklung in engem Zusammenhang mit dem Lichtangebot steht. Wie Abb. 6.34 zeigt, ist die Höhenentwicklung der Sämlinge auf dem Kahlhieb im gleichen Bergmischwaldversuch am günstigsten.

Schlussfolgerungen: Schon 4 bis 5 Jahre nach der Ansamung bei Nadelbäumen, noch etwas früher bei Laubbaumarten, führt die Räumung des Altbestandes zu optimaler Entwicklung der Pflanzen.

Dass installierte Jungbäume wesentlich mehr Licht brauchen, als dies während der Ansamlungsphase der Fall ist, zeigen Ergebnisse der Entwicklung des Höhenzuwachses bei gepflanzten Fichten in einem Versuch von Aussenac (1977) in der Nähe von Nancy mit unterschiedlichen Stellungen. Abb. 6.35 zeigt den Höhenzuwachs in den sieben Jahren nach der Bestandesbegründung, von unterschiedlichen Verjüngungsstellungen und ihren entsprechend relativen Lichtbedingungen. Es zeigt sich, dass optimale Höhentriebe in den drei ersten Jahren nach der Pflanzung bei mittleren Beschirmungen von ca. 25 bis 50 % Belichtung liegen. Danach wachsen die Fichten am besten auf der freien Fläche bei vollen Lichtverhältnissen.



**Abb. 6.35:** Höhenzuwachs von gepflanzten Fichten in unterschiedlichen Lichtstellungen und Belichtungsverhältnissen.

Stellungen:

- CA: Saumhieb
- CR: Kahlhieb
- CS: Lochhieb (süd)
- CO: Lochhieb (west)
- CE: Lochhieb (ost)
- CN: Lochhieb (nord)
- CC: Lochhieb Zentrum

Geltungsbereich: Wald von Amance in der Nähe Nancy. Boden Braunerde-Pseudogley auf Lias Mergel; Höhenlage 250 müM; nach Aussenac (1977)

Solche Erkenntnisse gelten auch generell für Buchen- oder Eichenpflanzungen. Lüpke (1987) zeigt in einem Versuch der Pflanzung beider Baumarten unter Schirm-, Loch- und Kahlstellung, dass die Entwicklung der Buchen acht Jahre nach der Begründung besser in der Lochstellung (0,2 ha Grösse) ist als auf der freien Fläche (-30 %, wegen Frostschäden) und in erheblichem Mass besser als unter Schirm (-46 – 57 %).

Bei den Eichen ist die Entwicklung auf der freien Fläche und in der Lückenstellung am besten, hingegen wesentlich verlangsamt unter Schirm (-76 – 80 %). Er kommt zum Schluss, dass der

Schirmhieb zu einem eher schlechten Kompromiss zwischen Entwicklung der Forstpflanzen und Schlagflora führt, weil die Forstpflanzen zu wenig in der Höhe wachsen und somit zu lang der Vegetationskonkurrenz ausgesetzt sind.

### **6.2.7 Anwuchssicherung durch Pflegemassnahmen (Jungwuchspflege)**

Ziel der Installationsphase unter Verwendung der natürlichen Verjüngung ist die Sicherung der Ausbildung einer einigermaßen vollständigen Bestockung aus gewünschten und in ihren Entwicklung gegenseitig angepassten (d.h. verträglichen) Baumarten.

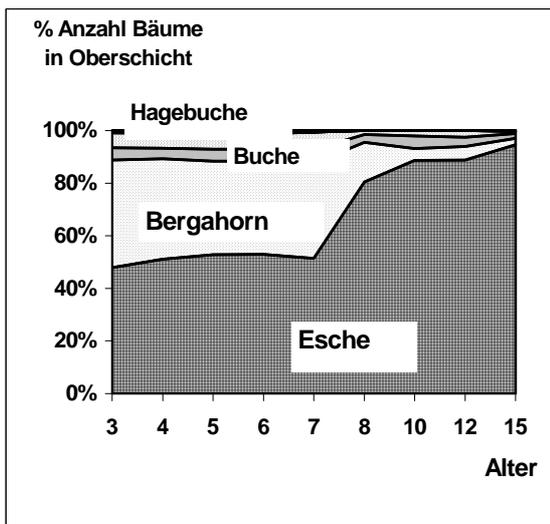
Auch wenn die Phase des Jungwuchses durch hohe exogene Risiken wie Spätfröste, Beschädigung durch höhere Tiere und Verunkrautung gekennzeichnet ist, lassen sich die Hauptrisiken durch direkte wie indirekte Massnahmen eindämmen. Dies erfolgt für Fröste und Verunkrautung weitestgehend durch die Kontrolle der Lichtdosierung, bzw. durch eine Überschildung, entweder mit der Ausgangsbestockung oder durch das Wachsenlassen von spontan vorkommenden Vorbaubaumarten (bzw. deren Begründen); siehe dazu Abschnitt 7.2.2. Für die Wildschäden sind Populationsregelungs- allenfalls notbehelfs direkte Schutzmassnahmen angebracht.

### **Natürliche Entmischungstendenzen in Mischverjüngungen**

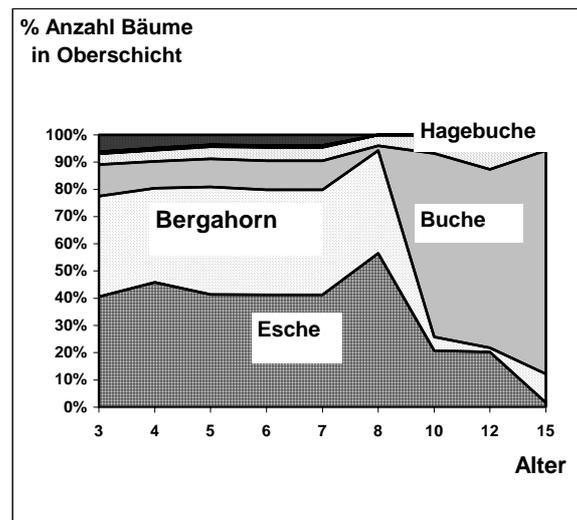
Weil das Erreichen von gemischten Bestockungen einer der übergeordneten Ziele einer modernen, polyvalenten Waldbehandlung ist, stellt sich die Frage, wann und wie dies am effizientesten erreicht wird. Sehr fein (einzelweise) gemischte Jungwüchse aus Naturverjüngung weisen in den ersten Jahren nach Bestandesgründung bis zur Dickungsstufe oft eine erhebliche Tendenz zur Entmischung auf. Davon zeugen zahlreiche Beobachtungen, auch bei anscheinend sozialen Baumarten wie Esche und Ahorn, welche sich in ihren Ansprüchen nicht allzusehr unterscheiden und die man als einigermaßen verträglich einstufen würde (Miegroet, 1956; Beck und Göttsche, 1976; Migroet et al., 1981).

Ergebnisse der Beobachtung der Entmischung einer Naturverjüngung in einer mittleren Femellücke (0,15 bis 0,25 ha) zeigen diese Tendenzen der Entmischung in der Phase zwischen Sämlingsstufe und Ende Dickungsstufe (ca. 12 m Höhe) sehr eindrücklich (siehe Abb. 6.36). In gut belichteten Partien (etwa in der Lochmitte) setzen sich die Eschen sehr klar durch und verdrängen sogar die am Anfang beigemischten Bergahorne. In beschatteten Partien (gegen Lochränder und unter dem Lochsaum) setzen sich die Buchen durch.

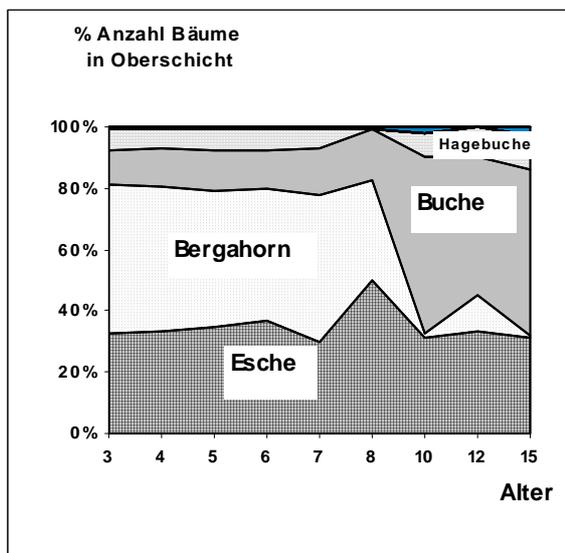
Echt verträgliche Baumarten in stabilen Einzelmischungen sind bei uns äusserst selten (in etwa Fichte/Tanne oder Tanne/Buche). Die Entmischungstendenzen erfolgen, wenn eine der Baumarten aufgrund eines Vorteils im Wuchsgang, in der Kronenausdehnung oder in der Bodenbesiedlung durch feine Wurzeln (Büttner und Leuschner, 1994) die anderen beigemischten Arten nach und nach verdrängt.



Lichte Verhältnisse



Schattige Verhältnisse



Gemischte Lichtverhältnisse

**Abb. 6.36:** Entmischungstendenzen in einer gemischten Naturverjüngung in einer Femelücke mit unterschiedlichen Belichtungsverhältnissen

Versuchsfläche der Professur Waldbau in Affoltern a.A.  
Standort: Galio odorati-Fagetum bis Aro-Fagetum

### Mischungsform

Kollektive aus gleichen Artgenossen sind bezüglich Entwicklungschancen stabiler, weil innerhalb von Artgenossen die Wuchs- und Wettbewerbskräfte einigermaßen konstant sind. Daher führen Mischungen aus Kollektiven (in Trupp-, Gruppen- oder sogar Horstgrösse) effizienter und sicherer zur Erhaltung der Mischungen und letztendlich zur Sicherstellung vielfältiger Endbestockungen. Die ganze Krux der Schaffung erfolgreicher Mischungen liegt in der Festlegung der minimalen wirksamen Kollektivgrösse bzw. des richtigen Zeitpunkts für minimale Pflegemassnahmen. Je konkurrenzschwächer die Baumarten gegenüber den auf den entsprechenden Standorten herrschenden sind, desto kräftiger müssen die Pflegeeingriffe sein,

um sie zu fördern, damit sie sich in der Oberschicht behaupten können. Je unverträglicher (asozialer) die Baumarten sind, in desto grösseren Gruppierungen sollen sie auf dem Weg der Pflege (Mischungsregelung) ausgeschaffen werden. Selbstverständlich kann man auf dem Weg der Waldpflege mittels wiederholten und kräftigen Befreiungseingriffen praktisch jede Mischung erhalten. Die Aufrechterhaltung von zu feinen Mischungen verlangt also i.d.R. eine konstante Beobachtung und eine intensive Pflege, deren Kosten, nach Loycke (1964), 4 bis 6 mal so hoch sein können wie im Normalfall.

### Die Mischungsregelung

Will man reich gemischte Bestockungen ausformen, ist es naheliegend, dass die Hauptmassnahme zur Pflege von gemischten Naturverjüngungen die **Mischungsregelung** der Bestockung mit positiver Befreiung ist. Ansonsten führt die Natur zu einer Entmischung und Homogenisierung. Darüber hinaus sind im Jungwuchsalter bei allen Bestockungen subsidiär vorwachsene, schlechtgeformte und verdrängende Grobpflanzen (sog. **Protzen** oder Wölfe) möglichst frühzeitig zu entfernen. Diese die Ausbildung einer qualitativ ausgewogenen Bestockung verhindernde Jungpflanzen bilden sich oftmals bei einer zerstreuten Vorverjüngung unter starkem Schirm.

Dafür, dass eine solche Arbeit vorzugsweise im Jungwuchsalter stattfinden soll, sprechen praktische Gründe. Es ist sicherer und einfacher (und also kostengünstiger) die Regelung der Mischungen und die Protzentfernung zu realisieren, solange man noch eine gute Übersicht hat und das Eindringen in die Bestockung noch gut möglich ist. Bei allzu frühen Eingriffen allerdings korrigiert die Natur sofort nach. Effiziente Eingriffe sollen also vorzugsweise gegen Ende des Jungwuchsstadiums bis angehende Dickung erfolgen.

### Soziabilität der Baumarten

(siehe auch Abschnitt 2.5.4 im Skript Waldbau III)

Die Beurteilung des Sozialverhaltens der Baumarten und ihres Entwicklungspotentials (kurzum die **Soziabilität** oder **Verträglichkeit**) stellt die Grundlage zur Beurteilung der anzustrebenden Mischungsverhältnisse und insbesondere der Mischungsform dar. Die Soziabilität muss im aktiven wie auch im passiven Sinne verstanden werden. Eine sozial verträgliche Baumart schafft es also, den Konkurrenzdruck anderer Baumarten zu ertragen und dadurch auch langfristig in einer Mischung zu überleben. Eine Baumart kann aber ebenfalls als sozial verträglich bezeichnet werden, wenn sie es schafft, sich von Beginn an gegenüber anderen durchzusetzen, ohne dabei jedoch die anderen Baumarten langfristig zu verdrängen.

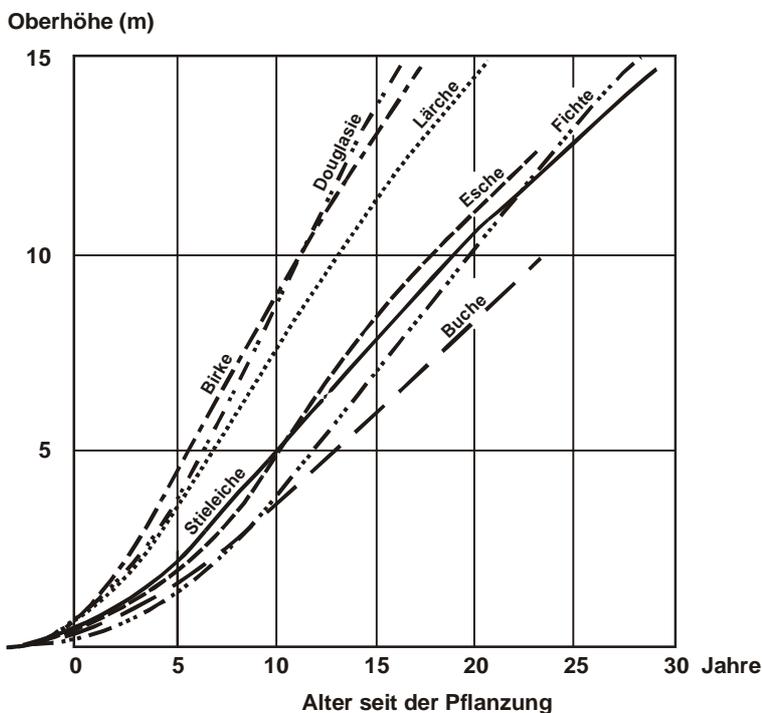
Die Verträglichkeit hängt von folgenden Faktoren ab:

- Höhenwuchs
- Schattentoleranz
- Wirkung der Krone (Durchlässigkeit, Expansionsfähigkeit)
- Feinwurzeldichte (ev. Mykorrhizierung)

Darüber hinaus sind weitere Inkompatibilitätsfaktoren wie unterschiedliche Lebensdauer, Enddimensionen sowie Krankheiten zu berücksichtigen

Die Soziabilität hängt zuerst von der Geschwindigkeit des Höhenwachstums in der Jugend ab. Ist diese bei einer Baumart hoch, so erlaubt sie eine dementsprechend rasche Jugendentwicklung, wodurch diese Baumart befähigt wird, die mitwachsenden Bäume zu beherrschen und somit zur Dominanz zu gelangen (siehe dazu Abb. 6.37). Auch die Durchlässigkeit der Krone spielt dabei eine Rolle, indem Baumarten mit dichter Belaubung

wettbewerbsfähiger sind als solche mit durchlässiger (Birke, Föhre, Aspe, Vogelbeere). Auch die Eigenschaft der Kronenexpansion spielt eine Rolle. Die Buche z.B. besitzt eine ausserordentliche Fähigkeit, den Raum zu erobern und auszunützen, was auch ihre natürliche Dominanz bei passendem Klima erklärt (Schütz, 1998b).



**Abb. 6.37** Jugendhöhenentwicklung einiger Baumarten auf einem mittleren Standort (Waldmeister-Buchenwald) des Schweizerischen Mittellandes.

Gleichzeitig muss man aber berücksichtigen, dass sich die Wachstumsgeschwindigkeit und die Wettbewerbsfähigkeit einer Baumart mit der Zeit verändern. Dadurch kann der Vorteil einer anfänglich raschen Entwicklung durch eine frühzeitige Verlangsamung des Höhenwachstums (wieder) aufgehoben werden. Andererseits können aber diese Veränderungen einer Baumart mit anfänglich nur mässigem, aber dafür beständigem Wachstum erlauben, ihren Wachstumsrückstand aufzuholen und dadurch über eine andere Baumart, welche anfänglich noch schneller gewachsen ist, die Oberhand zu gewinnen. Diese Fähigkeit ist umso ausgeprägter, je besser eine Baumart den Halbschatten ertragen kann. Im Falle einer Mischung von Buche mit Esche und Bergahorn hat Röhrig (1966) gezeigt, dass die Buche, welche in der Jugend noch hinter den zwei mitwachsenden Baumarten zurückbleibt, ihren Rückstand dank der konkurrenzkräftigeren Entwicklung ihrer Krone wettmachen und schliesslich den Ahorn und die Esche im Alter von 50 bis 60 Jahren sogar überholen kann. Die zusätzliche Bedingung für eine gute Soziabilität ist also die **Schattentoleranz**, welche einer Baumart erlaubt, die Nachbarschaft (bzw. den starken Konkurrenzdruck) von anfänglich rascher wachsenden Baumarten zu ertragen.

Der asoziale Baumartentyp schlechthin ist die Eiche, und in geringerem Masse auch die Waldföhre. Alle beide weisen ein relativ langsames Jugendwachstum auf und benötigen schon früh viel Licht. Sie müssen also in genügend grossflächigen Bestockungen angelegt werden. Dies gilt ebenfalls für die sehr lichtbedürftigen Arten mit einem schnellen Wachstum, wie etwa die Pappeln, die Erle, die Birke und die Lärche.

Im Gegensatz dazu ist eine schattentolerante Baumart wie die Buche als ziemlich gesellig zu betrachten. Sie ist für mehrere Mischungsarten geeignet; wobei allerdings beachtet werden muss, dass für eine Produktion von hochwertigem Qualitätsholz die Beschattung nicht zu lange andauern darf.

## Inkompatibilitäten

Langfristig spielen bezüglich Kompatibilität ferner auch die erreichten Enddimensionen eine bestimmte Rolle. So hat eine Baumart dritter Grössenordnung, welche also auch bei günstigen Bedingungen nicht sehr hoch wird, mittelfristig in einer feinen Mischung mit einer Baumart erster Grössenordnung keine Chance. Ähnlich geht es mit der Lebensdauer bzw. übereinstimmender Umtriebszeiten. So macht es wenig Sinn, oder es ist zumindest problematisch, kurzumtriebige Baumarten (z.B. Esche, Kirsche) mit langumtriebigen zu kombinieren. Aus diesem Grund sollten Mischungen wie Eiche-Esche oder Eiche-Kirsche vermieden werden. Anderenfalls empfiehlt sich eine räumlich getrennte Anordnung der Baumarten z.B. in Form von Horsten.

Schlussendlich gibt es Unverträglichkeiten biotischer Art. Dies ist z.B. der Fall, wenn die Anwesenheit zweier Arten die Entwicklung von schwerwiegenden Krankheiten begünstigt. Dabei kann es sich um schadenverursachende Insekten oder auch gewisse Pilze mit Wirtswechsel handeln. Ein klassisches Beispiel hierfür ist die biotische Unverträglichkeit der Fichte und der Lärche in mittleren Höhenlagen, welche auf dem Risiko einer starken Gradation des Lärchenblasenfusses (*Taeniothrips laricivorus* Krat. & Far.) beruht. Dieser Schädling kann in jungen Lärchenbeständen schwerwiegende Verformungen der Endtriebe verursachen, was zur Bildung von stark gekrümmten Stämmen oder gar zu deren Verbuschung führen kann. Das Insekt, das normalerweise nur kurze Strecken fliegt, kann sich aber auch vom Wind tragen und so über wesentlich weitere Distanzen transportieren bzw. verschleppen lassen. Man muss also sowohl eine enge, feine Mischung der Fichte mit der Lärche, wie auch, da dieser Fall noch schlimmer ist, eine abwechselnde Abfolge von Fichten- und Lärchenbeständen in der Achse der Hauptwindrichtungen vermeiden (Brassel, 1980). Man stellt hier eine sonderbare biologische gegensätzliche Verhaltensweise der zwei erwähnten Arten fest. Die Lärche ist auch der Zwischenwirt von Insekten, welche die Fichte zwar als Hauptwirt befallen (Fichtengallenläuse; *Adelges* sp. und *Sacchiphantes* sp.), glücklicherweise aber dabei keine schwerwiegenden Schäden verursachen.

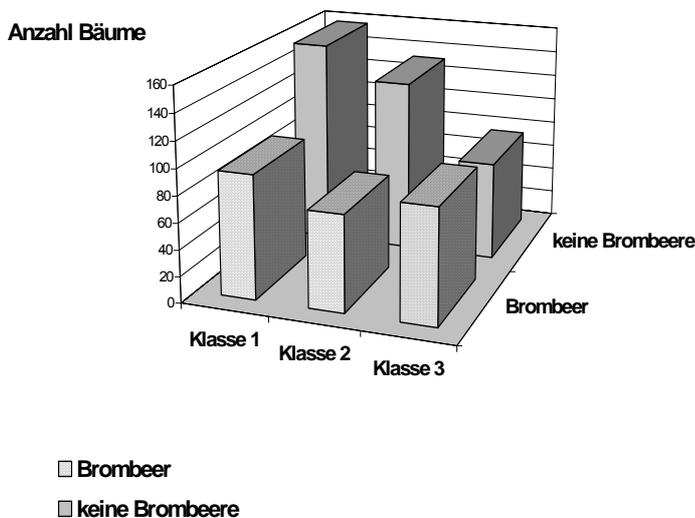
## Verunkrautungsgefahr

Die Hemmende Wirkung der sog. Adventivvegetation (Schlagflora) wurde früher weitestgehend überschätzt. Im Wesentlichen ist es klar, dass die Lichtverhältnisse das primäre Steuerungselement für die Entwicklung der Schlagflora sind, und damit lässt sich primär die Üppigkeit der Schlagflora mit der Überschirmung kontrollieren.

Abgesehen davon zeigen neuere Arbeiten, dass die Konkurrenz der Vegetation auf die Forstpflanzen nicht so limitierend wirkt wie früher angenommen. Das gilt insbesondere für krautige Vegetation und etwas grössere Pflanzen. So zeigen die Arbeiten von Burschel und Binder (1993) im Falle von montanen Mischwäldern, dass bezüglich Entwicklung der Forstpflanzen praktisch keine Unterschiede bestehen, ob sie von der Unkrautkonkurrenz durch Pflege befreit werden oder nicht. Ähnliche Ergebnisse bestehen für Pflanzungen (Olberg, 1974; Olberg-Kallfrass, 1979; Burschel und Schmaltz, 1965; Binder, 1992). Auf Grund solcher Ergebnisse verzichtet man heute in der Jungwuchsphase weitestgehend auf Massnahmen wie Freischneiden oder einzelnes Austrichern, dies zumindest bei Konkurrenz durch krautige Pflanzen.

Gerry und Wilson (1995) haben experimentell gezeigt, dass weniger die oberirdische Konkurrenz der Adventivvegetation bestimmend ist, als die Konkurrenz der Feinwurzeln im oberen Bodenraum. So erklärt sich, dass Gramineen (aber nur bei Bildung von kompakten Teppischfilzen) negativ auf Ansamung und Pflanzenentwicklung wirken können.

Das gleiche gilt für die Wirkung von Brombeeren und Lianen (Schlingpflanzen) bei üppiger Entwicklung, weil sie im Winter unter der Schneemasse am Boden zuzusammenfallen und dabei die beigemischten Forstpflanzen mitnehmen. Im Lehr- und Forschungswald der ETHZ zeigen Beobachtungen von Guerdat, dass gepflanzte Eichen in ihrer Form in Partien ohne Brombeerenwuchs wesentlich besser, d.h. gerader, stehen als dort, wo die Brombeeren wuchern (siehe Abb. 6.38). Meist ist die Entwicklung der Brombeeren durch die Beimischung von Treibholzarten wie Birke gesteuert, indem Birken und andere Treibholzarten sie daran hindern, sich üppig zu entwickeln.



**Abb. 6.38:** Einfluss des Brombeerenwuchses auf die Stabilität und die Schaftform junger gepflanzter Eichen.

Beobachtungen im Lehr- und Forschungswald der ETHZ durch Guerdat

**Klasse 1 = gerade Eichen**  
**Klasse 2 = schiefe Eichen**  
**Klasse 3 = sehr schiefe Eiche**

### 6.2.8 Schlussfolgerungen

Die Lichtdosierung ist eines der wichtigsten Mittel, um die Voraussetzung zur Förderung der Ansamung zu schaffen, ohne die konkurrenzierende Bodenvegetation üppig werden zu lassen. Ist die Fläche derart von einer perennierenden Vegetation (z.B. Gräser) besiedelt, hilft nur Bodenbearbeitung oder zuwarten, bis sich eine natürliche Sukzession spontan einstellt.

In der Regel werden Naturverjüngungen unter Zuhilfenahme der wiederholten in Art, Form und Stärke unterschiedlichen Auflösung des Altbestandes gesteuert (siehe Kap. 7.2, bzw. 7.3).

Die Ergebnisse des Versuches Bergmischwald (in Bayern) zeigen, dass die frühe Ansamung und Entwicklung der Forstpflanzen günstiger ist unter gleichmässiger Öffnung des Kronendaches (Schirmhieb) als in der Lochstellung, wo sich die Bodenvegetation zu üppig entwickelt, bevor sich die Ansamung verbreiten kann. Das bestätigen die Beobachtungen von Diaci (1995) in den Bergmischwäldern Nordsloweniens. Dies gilt aber nicht für die Ansamung der Fichte, welche vorzugsweise in der Kleinlochstellung erfolgt (0,05 – 0,10 ha), die noch nicht von der Bodenvegetation überwachsen ist (Diaci, 2002). Sonst scheint die Lochstellung keine optimale Bedingung für die Ansamung zu gewähren und fördert eher die Bodenvegetation, ausgenommen vielleicht an der Saumlinie zum Altbestand.

Diese Hiebsform ist besser geeignet für das Stadium der Förderung einmal installierter Sämlinge, wenn es darum geht, optimale Lichtverhältnisse zur Förderung des Höhenwuchses der Forstpflanzen zu finden oder für soziale Lichtbaumarten (Esche, Ahorn). In der Phase des Aufwuchses (gut entwickelte Jungpflanzen) ist die biologisch beste Entwicklung bei praktisch vollen Lichtverhältnissen.

## 7. VERJÜNGUNGSFORTSCHRITT

### 7.1 WUCHS DER JUNGPFANZEN IM SCHATTEN

Bei der Naturverjüngung ist nicht in jedem Fall eine schnelle Pflanzenentwicklung mit raschem Verjüngungsfortschritt angebracht, auch wenn dies biologisch die beste Lösung ist. Unter gewissen Voraussetzungen ist man darauf angewiesen, eine anstehende Ansamung lang im Schatten wachsen zu lassen. Dies ist der Fall, wenn man zum Beispiel die Ausschöpfung des Ertragsvermögens des Ausgangsbestandes ausnützen möchte oder wenn man von einem sogenannten Lichtungszuwachs des Altbestandes profitieren will.

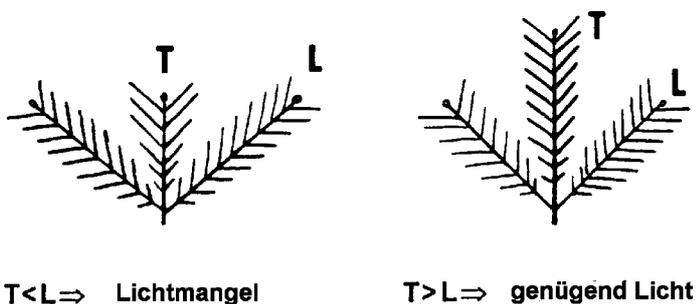
Dann stellen sich folgende Fragen:

- wie lange kann man die Jungpflanzen am Schatten wachsen lassen ohne qualitative Einbussen,
- wie stark ist die Unterdrückung aus biologischen Gründen tolerierbar?

Auch wenn man geringe Ansamungsdichten anstreben will, empfiehlt es sich, mit längeren Verjüngungszeiträumen zu arbeiten, insbesondere bei Verwendung von Schatten- oder Halbschattenbaumarten.

#### Nadelbäume

Bei den Nadelbäumen hat sich als Mass für das Entwicklungspotential von von der Beschattung unterdrückten Tannen und Fichten das Verhältnis vom Höhentrieb (T) zum Seitentrieb (L) seit Fabjanowski et al. (1974) eingebürgert (siehe Abb. 7.1). Dieser Faktor  $H = T/L$  wird Honowski-Lichtfaktor genannt (Cescatti, 1996). Ist H grösser als 1, ist das Wachstumspotential gut. Ist H kleiner als 1, ist das Potential weniger gut. Unterhalb 0,5 ist es schlecht und < als 0,25 sehr schlecht (Fabjanowski et al. ,1974).



**Abb 7.1** Der Honowski-Lichtfaktor. Das Verhältnis von Gipfeltrieb zu Seitentrieben stellt ein gutes Mass für den Lichtgenuss von Nadelbäumen, insbesondere Tanne und Fichte dar.

Nach Fabjanowski et al. (1974)

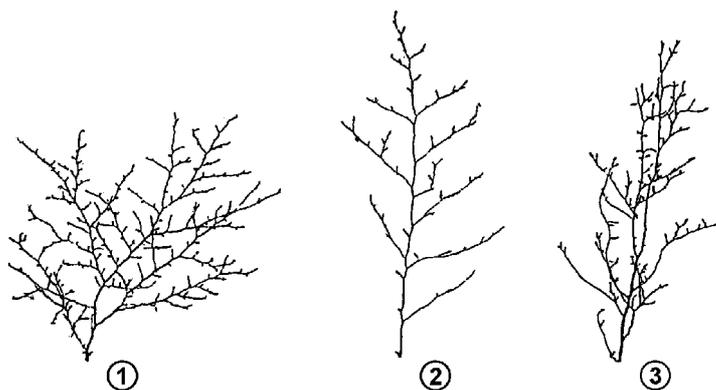
Nadelbäume haben den Vorteil, dass sie auch bei starker Beschattung ihre Fähigkeit, aufrecht zu wachsen (akrotoner Wuchs) nicht verlieren. Die Wirkung der Beschattung hat im grossen und ganzen keinen wesentlichen Einfluss auf die Pflanzenqualität, insbesondere auf die Prägung der Schaftachse. Die Unterdrückung kann extrem lang dauern, ohne ein späteres Entwicklungspotential einzuschränken (Schütz, 1969).

Bei Wuchs unter schattigen Bedingungen bilden die Bäume Schattenblätter, die schmal und dünn sind und keinen Schutz gegen Austrocknung durch das Pallisadengewebe haben (Aussenac, 1973). Wenn solch unterdrückte Jungbäume zu plötzlich freigestellt werden, müssen sie, um zu überleben, zuerst neue Lichtblätter bilden. Wenn die Freistellung zu schnell erfolgt, sterben sie ab oder sind sehr stark eingeschränkt in ihrer Vitalität (Freistellungsschock; *crise du découvert*). Bei mittleren Lichtverhältnissen von 15 bis 40 % relativem Licht bilden die Jungbäume intermediäre Blätter, welche sich an Freilicht anpassen können und somit keinen Freistellungsschock aufweisen.

Es empfiehlt sich also, stark unterdrückte Koniferen nicht plötzlich freizustellen, sondern sukzessiv. Dies gilt insbesondere für die Weisstanne, welche die Beschattung besser erträgt als die Fichte und somit in extremeren Beschattungsverhältnissen vorkommen kann.

### Laubbäume

Die Akrotonie (aufrechter Wuchs) ist **bei gewissen Laubbaumarten** weniger ausgeprägt als bei Koniferen. Dabei muss zuerst zwischen monopodisch verzweigten (Ah, Es, Ki) und sympodisch verzweigten (Bu, Ei, Li, Ul) unterschieden werden. Beim letztgenannten Verzweigungssystem führt eine mässige Beschattung zur Bildung guten Schaffformen. Bei zu starker und insbesondere zu langer Unterdrückung geht die Bildung einer durchgehenden Schaftachse verloren, und die Pflanze wächst schräg (sog. plagiotroper Wuchs). Sie kann später, wenn die Belichtungsverhältnisse besser sind, keine brauchbaren Schäfte mit durchgehender Achse bilden. Siehe Abb. 7.2 nach Kurth (1946). Auf der freien Fläche ist die Form der Buchen sehr unterschiedlich, weil das volle Licht einerseits die Bildung von physiologisch bedingten Zwiesel fördert (Schütz und Barnola, 1996), aber andererseits wird für einen Teil der Individuen der angeborene aufrechte (wipfelschäftige oder monopodische) Wuchs gefördert (Dupré et al. 1986).



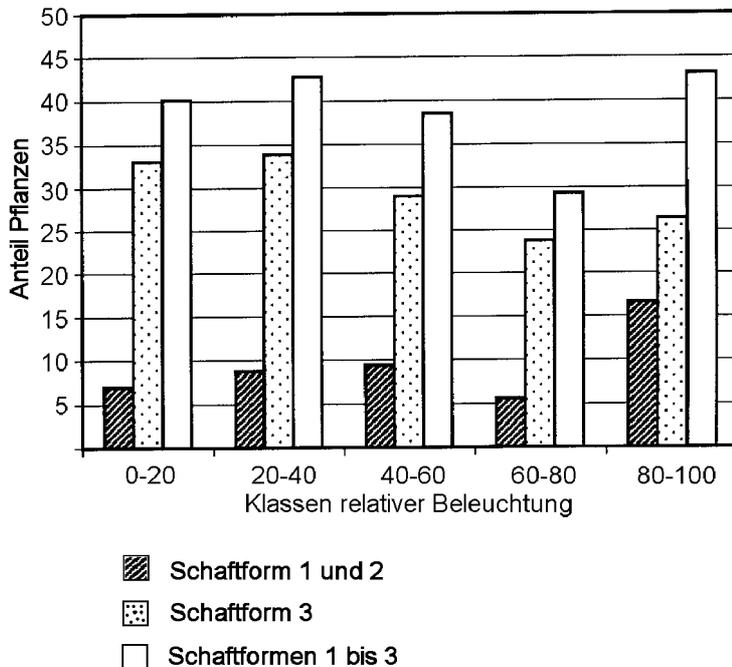
**Abb. 7.2** Einfluss der Beschirmung auf die Form von Jungbuchen.

- ① bei Deckungsgrad 1,0:m vollständige Auflösung der Achse (Plagiotropie)
- ② bei Deckungsgrad 0,7: gutausgebildete Achse
- ③ bei Deckungsgrad 0 (Freiwuchs), Neigung zur Auflösung der Achse

Nach Kurth (1946)

Dass schlussendlich bei der Buche recht gute Belichtung (Beleuchtungsstärke 70 %) zur grössten Ausbildung von sehr gut aussehenden Formen (wipfelschäftig ähnliche Individuen) führt, bestätigen die Beobachtungen von Sagheb-Talebi (1996) an Jungbuchen (ca 9jährigen) aus Naturverjüngung in unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnissen. Dabei zeigt es sich, dass einwandfreie Jungbuchen der Güteklasse 1 und 2 (siehe Abb. 7.3) auf der freien Fläche doppelt so häufig vorkommen als unter Schirmbedingungen. In besseren Lichtverhältnissen entfalten sich die echten monopodial veranlagten Individuen, was auch eine positive Auslese der phänotypisch guten Typen erlaubt.

Dies spricht heute für eine Lichterziehung der Buche in der Jugend (Schütz und Barnola, 1996). Früher galt die gängige Auffassung, dass ein Halbschattenklima die Qualität der Jungbuchen günstig zu beeinflussen vermag. Man kann sich dies so erklären, dass Halbschatten die Ausprägung der schlechten Formen unterdrückt, aber damit werden die genetischen Eigenschaften verschleiert. Es ist besser, vom Standpunkt der frühen positiven Auslese nach Schaffformeigenschaften diese durch genügend Lichtdosierung zu offenbaren.



**Abb. 7.3** Schaffteigenschaften von jungen Buchen und Beleuchtungsstärke.

Anteil wipfelschäftiger Jungbuchen (9-jährig) der besten Güteklassen 1 bis 3 von insgesamt 6 entlang ein Beleuchtungsgradienten in Naturverjüngung im Femelschlag (Schweiz. Mittelland).

Nach Originalangaben von Sagheb-Talebi (1996)

Schaffformen:

- 1: wipfelschäftig, gerade, einwandfrei
- 2: wipfelschäftig und leicht schief
- 3: wipfelschäftig, mit einigen Verformungen oder leichte Schäden

NB: Es ist hier nur der wipfelschäftige Anteil der Nachkommenschaft betrachtet. Die auf dieser Darstellung nicht vorkommenden Klassen 4, 5, 6 (nicht wipfelschäftige) sind ausgeklammert. Anzahlmässig machen sie aber der grösste Anteil der Population aus.

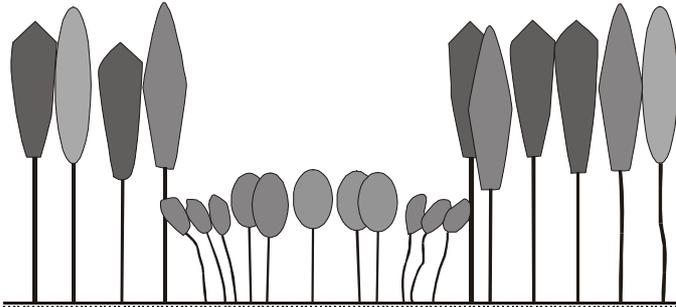
Unterdrückte, verformte (z.B. durch Verbiss), beschädigte Verjüngung von Laubholzarten lassen sich nach der Räumung des Mutterbestandes am zweckmässigsten korrigieren, indem sie bodeneben abgeschnitten werden (sog. Massnahme des „**Auf-den-Stock-setzens**“): Voraussetzungen dazu sind ein sauberer Schnitt und dass die Pflanzen nicht dicker sind als etwa 2-3 cm Durchmesser (wegen Stabilität).

## 7.2 VERJÜNGUNG VON LICHTBAUMARTEN

Will man für lichtbedürftige Baumarten günstige Voraussetzungen schaffen, sind genügend ausgedehnte Verjüngungsflächen anzustreben. So gab man früher für die effiziente waldbauliche Erziehung der Stieleiche eine Flächengrösse von mindestens 0,5 bis 1 ha Ausdehnung (Leibundgut, 1945; Schütz und Badoux, 1979).

### 7.2.1 Arbeit in der Kleinlochstellung

Die Erziehung der Eichen in kleineren Lücken ist wohl möglich, insbesondere mit der etwas schattenertragenden Traubeneiche, aber nicht für allzulange Zeit (v. Lüpke, 1987) und auch nicht unter einer minimalen Lückengrösse von 15 Aren (Schütz, 1991). Zu kleine Lücken führen für die Schneeeverhältnisse des Schweizerischen Mittellandes zu schwerwiegenden Schneedruckschäden, insbesondere in der Nähe des Lückenrandes, wo Jungeichen auf einer Breite von 5 bis 15 m vom Altbestand praktisch ausfallen (Keller, 1990, Abb. 7.4).



**Abb. 7.4** Schematische Darstellung der Probleme der Erziehung von lichtbedürftigen Baumarten in Kleinlochstellung, am Beispiel der Stieleiche.

Nach: Schütz (1991)

Einer der Gründe für die erhöhte Anfälligkeit der Jungeichen in Dickete bis Stangenholzstadium in der Kleinlochstellung ist, dass Schatten mehr auf den Dickenzuwachs als Höhenzuwachs wirkt, und somit zu sehr schlanken Heisterformen führt. Das abgedorrte Laub der im Schatten aufkommenden Eichen andererseits haftet im Winter länger an (Franz.Marcescence) als bei den unter Freilandbedingung verjüngten.

### 7.2.2 Verwendung von Vorbau- und Treibholzarten

Weil auf sehr stark belichteten Flächen (oder gar Freiflächen) ungünstige Wirkungen die Entwicklung der Ansammler der Forstpflanzen hindern können, ist auch für sehr lichtbedürftige Baumarten eine allzu frühe Freistellung nicht in jedem Fall optimal. Es geht hier nämlich um Fröste einerseits, sowie um eine üppige Entwicklung der konkurrenzierenden Schlagflora andererseits.

Die Verwendung von rasch wachsenden Baumarten zur Schaffung eines günstig wirkenden Schirmes schafft hier Abhilfe. Die Technik ist allgemein als **Vorbau** bekannt.

Als **Frostschutz** hat sich die Verwendung von Vorbau aus z.B. Weisserlen, Birken und anderen schnellwachsenden Baumarten zum Schutz recht spätfrostempfindlicher Baumarten wie Stieleiche und Esche bewährt. Andere Vorbauarten wie z.B. Aspe, Weide kommen ebenfalls in Frage. Für frostempfindliche Schattenbaumarten wie Weisstanne ist ohnehin die Verjüngung unter Schirm angebracht. Leibundgut (1965) berichtet im Falle eines versuchsmässigen Vorbaus von Weisserlen zum Schutz einer Stieleichenkultur im Hönggerberg bei Zürich, dass im Alter 11 die unter Vorbau stehenden Eichen noch einen Wuchsvorsprung gegenüber nicht vorangebauten von rund 1 Meter auswiesen, weil die Eichen auf der freien Fläche sehr stark von Spätfrösten in Mitleidenschaft gezogen wurden. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt Nüsslein (1999) im Falle von Birkenvorbau über Eichenkulturen.

Vorbauten aus genügend lichtdurchlässigen Baumarten können aber durch andere Wirkungen günstig sein, nämlich:

- die Eindämmung der Entwicklung der Schlagflora, insbesondere von Brombeeren (nach Ablösung von Fichtenreinbeständen)
- Verhinderung von Rehwildschäden (Fege- und Schlagschäden) oder Ringelung durch Erdmäuse, welche sich gerne in verunkrautete Verjüngungsflächen konzentrieren.
- Günstige Wirkung auf die Schaffform und Astigkeit.

Positive Auswirkungen von solchen lichtdurchlässigen Baumarten, die gleichzeitig eine lockere Bodenbesiedlung mit ihrem Wurzelsystem aufweisen, sind durch zahlreiche Feldexperimente belegt. Man spricht hier von **Treibholzarten**. Heute werden solche Treibholzarten generell im Jungwuchs bis Anfang Dichtung angestrebt und zwar in sehr unterschiedlichen Vermischungsdichten.

Unter **Treibholzarten** (oder assoziativen Baumarten) versteht man solche Arten, die sich auf Verjüngungsflächen meistens spontan verbreiten und schnell entwickeln, die genügend Licht durch ihre Krone einfallen lassen, so dass sich die Forstpflanzen des Schlusswaldes ohne Qualitätseinschränkung einstellen bzw. entwickeln können. Es geht um Baumarten wie Birke, Aspe, Sahlweide, Vogelbeere u.a.m. Sie stellen sich normalerweise spontan ein, sofern nicht einige Samenbäume allzu weit entfernt stehen. Im Falle der schwersamigen Vogelbeere allerdings, ist die Samenverbreitung weniger breit gesichert. Sie erfolgt durch Vogelsaat.

Leder (1992) hat die Konkurrenz durch Lichtentzug solcher Arten eingeschätzt, gegenüber der Referenzbaumart Birke (siehe Tab. 7.5). Im Wesentlichen steht die Durchlässigkeit der Krone im Zusammenhang mit der Blattgrösse und der Stellung der Blätter, senkrecht oder waagrecht zu den Sonnenstrahlen (entsprechend der Horn'schen Vorstellung von monolayers oder multilayers; Horn, 1971). Die Sahlweide mit ihren grossen Blättern konkurrenziert stärker als die Birke bzw. Vogelbeere.

**Tabelle 7.5:** Geschätzte Konkurrenz, meistens durch Lichtentzug von fünf Treibholzarten. Der gutachtlich geschätzte Beschattungsfaktor bezieht sich auf die Baumart Birke.

| Baumart    | Gutachtlich geschätzter Beschattungsfaktor |
|------------|--|
| Vogelbeere | 0,8  |
| Aspe       | 0,9  |
| Birke      | 1,0  |
| Faulbaum   | 1,1  |
| Sahlweide  | 1,2  |

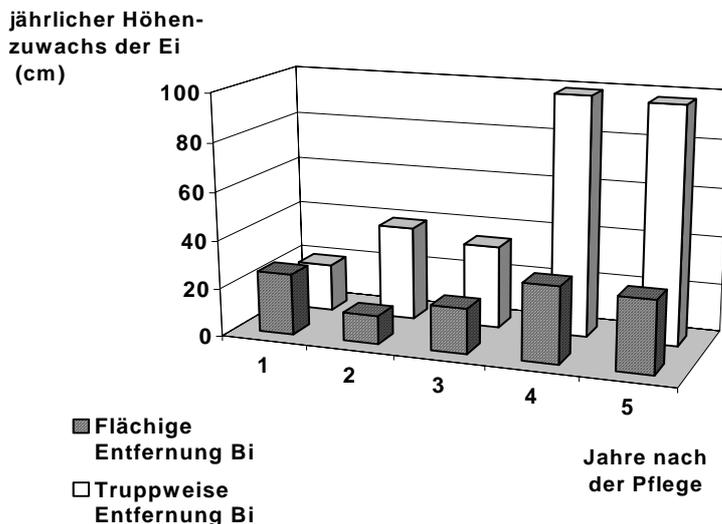
Nach Leder (1992)

Förderung der Treibholzarten kann **passiv** oder **aktiv** erfolgen. Passiv heisst Duldung des Vorkommens von selbstangesamten Pionierholzarten wie Birke, Sahlweide, Vogelbeere, Faulbaum, allenfalls Aspe, welche sich normalerweise spontan auf freien Flächen einstellen. Aktiv kann man Vorbau durch gezielten Anbau der Treibholzarten durch einfache und billige

Methoden (Saat, Stecklinge usw.) erzielen. Zu den bereits erwähnten Baumarten kommt noch schmalblättrige Weide in Frage (Guerdat, 1997).

Die Wirkung von Birkenbeimischung (bzw. –Vorbau) auf die Entwicklung von Eichenkulturen zeigen neuerdings viele Beobachtungen und Versuche. Sie zeigen, dass die Beimischung insgesamt in den ersten Jahren positiv zu beurteilen sind, und dies bis 7 Jahre nach dem Einbau (Wagner und Röker, 1999). Das Ganze hängt selbstverständlich von der Beimischungsdichte ab. Sowohl Leder (1992) wie Ammer und Dingel (1997) zeigen, dass Dichten an Birken bis 5000/ha tolerierbar sind. Die Qualität der Eichen wird von Treibholzarten günstig beeinflusst (Leder, 1992; Ammer und Dingel, 1997). Die Höhenentwicklung ist bis 5 Jahre nach Einbau nicht beeinflusst, im 6. Und 7. Jh. nur unwesentlich (Wagner und Röker, 1999). Hingegen wird das Dickenwachstum deutlich reduziert, so dass die jungen Eichen in Beimischung wesentlich schlanker wachsen.

Irgendwann soll der Vorbau reduziert bzw. eliminiert werden. Wie Ergebnisse von Nüsslein (1999) aufzeigen, wirkt eine trichterförmige (oder truppweise) sukzessive Verminderung des Birkenvorbaus wesentlich günstiger auf den Höhenzuwachs nach der Behandlung (siehe Abb. 7.6) als eine flächendeckende Räumung der Birken.



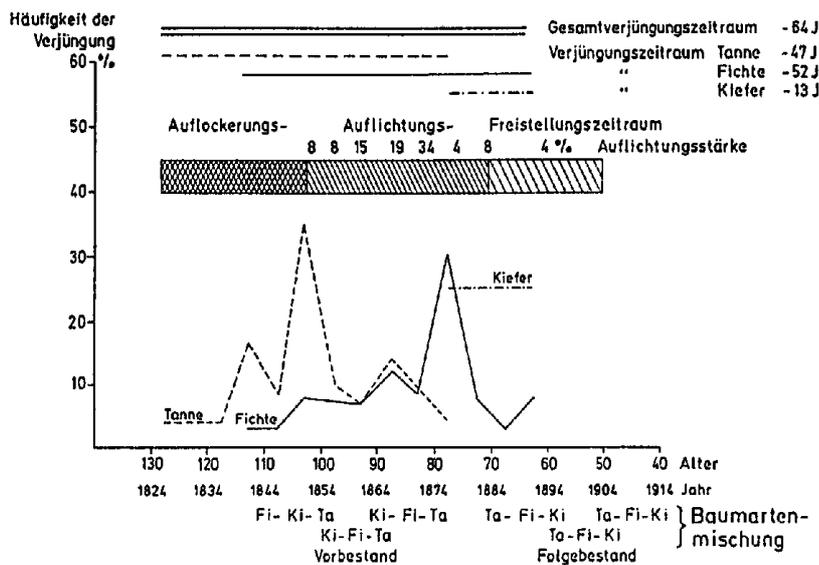
**Abb. 7.6:** Reaktion von Eichendickungen, welche am Anfang unter einem Birkenvorbau begründet wurden (auf unterschiedlicher Art der Eliminierung der Birken).

nach Nüsslein (1999)

Vorbaureduktion ist auch möglich mit waldbaulich einfachen und billigen Massnahmen, wie der Ringeltechnik, bzw., wenn die Birken nicht allzu dick sind durch abknicken mit der Hand (Leder, 1995).

### 7.3 MISCHVERJÜNGUNGEN

Da jede Baumart eine unterschiedliche Lichtbedürftigkeit hat – sowohl in der Anwuchsphase nach der Keimung als auch später in der Aufwuchsphase – ist die zu bevorzugende Lichtdosierung stark abhängig von der gewünschten Baumart. Einer der schwierigsten Aufgabe ist es, Naturverjüngungen von gemischten Baumarten unterschiedlicher Lichttemperamente wie Naturverjüngungen von Tanne, Fichte und Föhre, erfolgreich zu bekommen. Dies ist nur möglich durch eine zeitliche Staffelung des Ansamungs- und Aufwuchsvorganges in sich kurzfristig folgenden Auflockerungen, Lichtungs- und Freistellungseingriffen. Dies zeigt Abb. 7.7 am Fallbeispiel der langandauernden Verjüngungen im Schirmschlagverfahren im östlichen Schwarzwald nach Kwasnitschka (1955). Der Höhepunkt der Verjüngung der Fichte fällt zeitlich mit dem Ende der Tannenverjüngung und dem Beginn der Föhrenverjüngung zusammen.



**Abb. 7.7:** Entwicklung der Verjüngung von gemischten Bestockungen von Tanne, Fichte und Föhre entsprechend der sukzessiven Auflichtung der Bestände.

Geltungsbereich: Donaunaueschingen, (östl. Schwarzwald)  
 Meereshöhe: 900 müM.  
 Substrat: Buntsandstein.

Nach Kwasnitschka (1955)

## 7.4 VERJÜNGUNGSTEMPO

Die Entscheidung zwischen einem eher raschen Verjüngungsfortschritt oder einer möglichst langen Verjüngung gehört zu den heikelsten Entscheidungen der Waldverjüngung. Grundsätzlich kann eine lange Verjüngungsdauer auf zwei unterschiedlichen Wegen erreicht werden:

- 1) sehr langsame Erweiterung kleinflächig eingeleiteter Verjüngungszentren im Sinne eines extrem feinen Femelsystems,
- 2) eine möglichst lange Überlappung der Mutter- und Folgegeneration auf der ganzen Fläche,
- 3) oder eine Kombination von beiden.

In beiden Fällen liegt der Vorteil in der Möglichkeit der bestmöglichen Ausnützung von Ertragsvermögensunterschieden von Bestandesteilen im Fall 1) oder der qualitativ besten Individuen der Bestockung im Fall 2). Dieser ökonomische Vorteil ist bei heterogener Bestockung nicht zu unterschätzen.

### 7.4.1 Langsame Ablösung der Generation mit langer Überlappung der Generationen

Die Verjüngung in langer Überlappung der Generationen hängt von baumartenspezifischen Eigenschaften und waldbaulich-ökonomischen Überlegungen ab. Grundsätzlich bietet eine lange Überlappung der Generationen die Vorteile der Entwicklung der Folgegeneration mit gleichzeitigem Reifenlassen der besten Elemente der Mutterbestockung (sog. Lichtungszuwachs) und somit der bestmöglichen Ausnützung der Produktionskräfte. Das funktioniert aber nur unter folgenden Bedingungen:

- eine günstige Reaktion auf die Lichtung ist möglich (Kronenerweiterung und entsprechender Dickenzuwachs).
- ein Lichtungszuwachs lässt sich ohne Nachteil für die Folgegeneration und auch ohne Verminderung der Holzqualität der übrig bleibenden Bäume der Muttergeneration (z.B. durch Sonnenbrand, Klebastbildung, Farbverkernung bzw. Stabilität) nachweisen.

### Unterscheidung zwischen Lichtung und Lichtwuchs

Unter dem Begriff **Lichtwuchs** (bzw. Lichtwuchsdurchforstung) verstehen wir eine Auflichtung eines noch nicht reifen Bestandes. Ihr Zweck ist dank Freistellung zu einem Wuchsbeschleunigungseffekt der besten Bäume, insbesondere dank Sortimentssprünge zu einem flächenbezogen insgesamt positiven Zuwachsergebnis, zu kommen.

Unter **Lichtung** verstehen wir etwas ähnliches, mit dem wesentlichen Unterschied, dass im Falle der Lichtung die Installation bzw. das Aufkommen der Folgegeneration betrachtet bzw. optimiert wird. Dazu sind Nachlichtungen notwendig, weil die ursprünglich eher schattenfeste Ansammlung zunehmend lichtbedürftig wird. Ohne Nachlichtungen können unerwünschten Nachteile der Stammform (z.B. plagiotroper Wuchs) oder der Stabilität (zu schlanker Stamm) erfolgen.

Der Lichtwuchsbetrieb ist also eindeutig eine Waldbaumassnahme der Walderziehung. Sie wird auch im Skript Waldbau I behandelt (Abschnitt 7.5.2). Dabei wird eine Optimierung der gesamten Wertleistung einer einzigen Baumgeneration angestrebt. Mit einer Lichtung strebt man, durch langsame Ablösung bzw. Überlappung der Generationen, eine optimale Leistung der beiden Generationen an. Dabei wird wohl auch ein Lichtungszuwachs bei der alten Generation erzeugt. Optimiert wird das Ganze in Rücksicht auf eine genügende Entwicklung der Folgegeneration. Das Ergebnis ist die Schaffung sog. **zweihiebiger Bestände** (Freist, 1962).

Die Wirkung des Lichtungszuwachses auf das Volumen der ganzen Wuchsleistung ist gesamthaft recht unterschiedlich. Dies zeigen die Ergebnisse von Simulation von Spellmann (1997). Sie bezeugen, dass nur bei den Baumarten Buche und allenfalls Douglasie ein Kompensationseffekt stattfindet, was zu einer besseren Wuchsleistung führt gegenüber der Bestandeswirtschaft. Dies gilt zumindest bezüglich der Volumenleistung (siehe Tab. 7.8).

**Tabelle 7.8:** Wuchsleistung von Beständen im Lichtungszuwachs mit Zielstärkennutzung im Vergleich zur Bestandeswirtschaft.

| Baumart   | Volumenleistung im Verhältnis zur Bestandeswirtschaft (%) |
|-----------|---|
| Fichte    | 92  |
| Buche     | 166   |
| Douglasie | 104   |
| Föhre     | 93  |
| Eiche     | 85  |

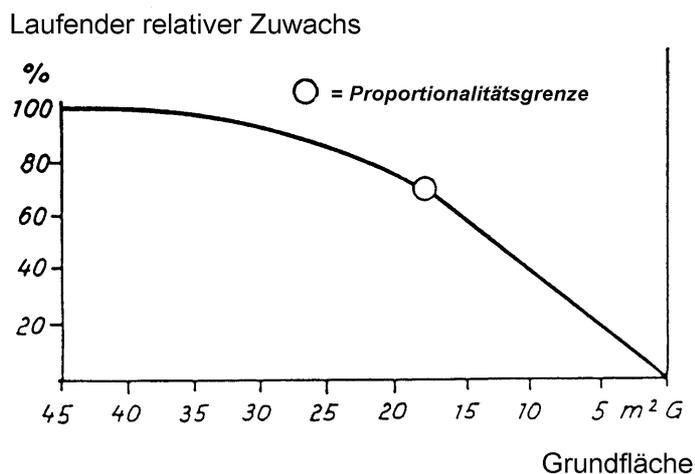
(Nach Spellmann, 1997)]

In Rücksicht auf das heutige grosse Vorkommen und die wirtschaftliche Bedeutung der Farbverkernung bei der Buchenwirtschaft, ein Phänomen, welches primär in Zusammenhang mit der Alterung zu stehen scheint (v. Büren, 1998, 2002; Knoke, 2002; Seeling, 1992; Höwecke, 1998), müssen die Vorteile solcher Systeme unter grossen Vorbehalten betrachtet werden.

Gute Beispiele von erfolgreicher langer Überlappung der Buchengeneration (d.h. bis über 40 Jahre) sind eher selten, aus diesem Grunde und auch deshalb, weil im feuchten Klima des Schweizerischen Mittellandes der Buchenkrebs (*Nectria ditissima*) auf der Folgegeneration dabei gefördert wird. Diese normalerweise unbedeutende Krankheit pflanzt sich von den Altbäumen auf die Verjüngung fort (Perrin, 1981) und kann besonders an unter Schirm stehenden Jungwüchsen bis Dickungen erhebliche Schäden verursachen, so dass in gewissen Fällen eine genügende Auslese kompromittiert wird.

### Kompensationseffekte zwischen Auflichtung und Zuwachs

Immerhin ist die Buche eine Baumart, die auch im hohen Alter (Chollet et al., 1998) für ihre gute Kronenreaktionsfähigkeit bekannt ist (Bouchon et al., 1989), und bei welcher ein Lichtungszuwachs gut möglich ist. Vergleicht man den Volumenzuwachs älterer Buchenbestockungen mit unterschiedlicher Auflösung gemessen an der Grundflächenhaltung (Abb. 7.9), ist bis zu einer Dichte von ca 17 m<sup>2</sup> Grundfläche festzustellen, dass der Zuwachs nicht proportional zur Reduktion der Bestockungsdichte läuft, d.h. dass der restliche Bestand fähig ist, Zuwachskompensation zu schaffen. Zu ähnlichen Ergebnissen kam schon Noisette (1928) für Buchenaltbestände Frankreichs.



**Abb. 7.9:** Volumenzuwachsverlauf in unterschiedlich aufgelichteten Buchenbestockungen.

Gilt für über 100-jährige Buchenbestände.

Nach Freist (1961), in:  
Burschel und Huss (1987)

### Notwendigkeiten von Nachlichtungen

Weil die Junggeneration mit zunehmender Entwicklung immer mehr Licht bedarf, um eine qualitativ genügende Entwicklung bzw. eine entsprechende Stabilität gegenüber Schneedruckrisiken aufzuweisen, sind Nachlichtungen notwendig. Dies gilt auch für eine Schattenbaumart wie die Buche. Sowohl Lichtwuchs- wie Lichtungsbetrieb haben gerade bei einer dafür geeigneten Baumart wie die Buche eine lange Geschichte (Noisette, 1928, Zimmerle, 1944; Freist, 1962; Dittmar, 1991).

Aufgrund ausführlichen Untersuchungen in alten Buchenbeständen in der Lichtung- bzw. Verjüngungsphase gibt Freist (1962) in etwa die folgende anzustrebende Staffelung der Lichtungshiebe an (siehe Tab. 7.10).

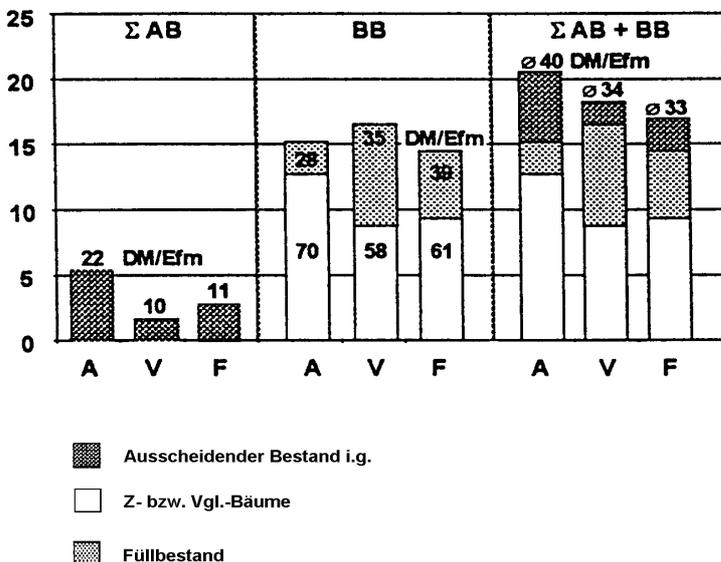
**Tabelle 7.10:** Kritische Bestockungsdichte von Buchenwäldern bei langer Überlappung der Generationen (sog. zweihiebige Bestände).

| Entwicklungszustand der Folgegeneration |         | Bestockungsdichte der Hauptgeneration |                               |
|---|---------|---------------------------------------|-------------------------------|
| Entwicklungsstufe                       | Alter   | Deckungsgrade                         | Grundfläche (m <sup>2</sup> ) |
| Dickung                                 | 0 – 25  | 0,50                                  | 16 – 20                       |
| Schwaches Stangenholz                   | 25 – 35 | 0,40                                  | ~ 12                          |
| Starkes Stangenholz                     | 35 – 50 | 0,30                                  | ~ 8                           |
| Schwaches Baumholz                      | 50 - 70 | 0,15                                  | ~ 4                           |

Nach Freist (1962)

Vergleichende Wertkalkulationen von optimierter Lichtwuchsdurchforstung nach Altherr (1971, 1981) gegenüber dem Lichtungsbetrieb nach Seebach (Dittmar, 1991) und den klassischen Durchforstungsbetrieben zeigen den Vorteil des Lichtungsbetriebs am Fallbeispiel der Buche (Abb. 7.11).

Tsd.DM/ha



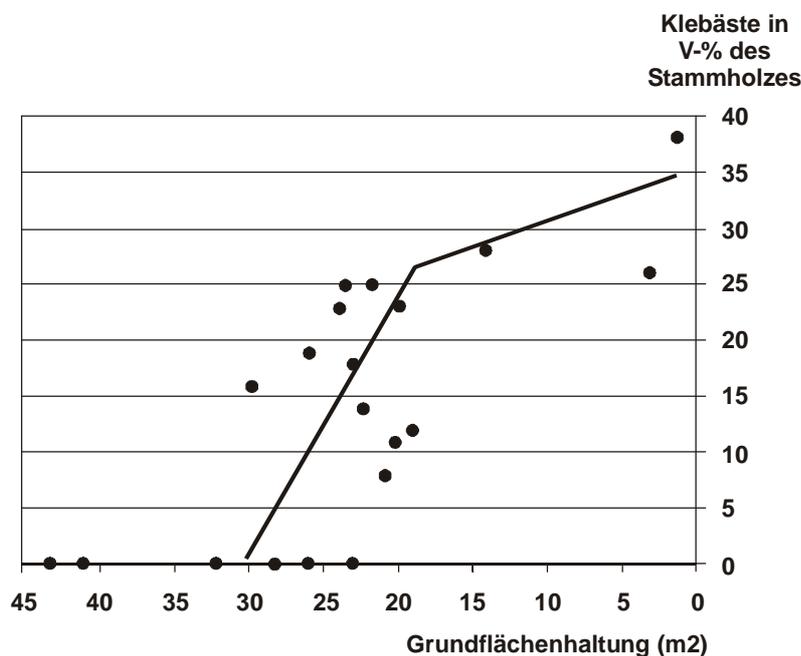
A = Lichtwuchsdurchforstung nach Altherr;  
 V = Klassische Durchforstung;  
 F = Lichtungsbetrieb nach Freist (1962)

**Abb. 7.11:** Wertkalkulation bei Hiebsreife der Leistung des Lichtwuchs- bzw. Lichtungs- und Durchforstungsbetriebes am Fallbeispiel der Buche. Dargestellt sind die erntekostenfreien Werte der Vornutzungen (ΣAB) des Endbestandes (ΣBB) und der Gesamtwuchsleistung (ΣAB und BB). Kostenpreisbasis 1995, Baden-Württemberg. Die entsprechenden Leistungen der Z-Bäume sind getrennt ausgewiesen gegenüber dem Füllbestand. (Nach Klädtke, 1997).

Interessant bei diesen Ergebnissen ist, dass beim Leistungsausweis die Ergebnisse getrennt nach Z-Bäumen und Füllbestand vorliegen. Es sind offensichtlich die Z-Bäume, welche die Mehrleistung des Lichtwuchsmodells ausmachen (Klädtker, 1997).

### Grenzen der Lichtung bezüglich Stammqualität: Das Problem der Klebäste

Mit der Auflichtung im Kronenraum im Lichtwuchsbetrieb besteht die Gefahr der unerwünschten Entwicklung von Klebästen. Das ist einer der Gründe, warum diese Technik nur bei Baumarten, welche praktisch keine oder nur wenige Klebäste produzieren, angebracht ist (Lärche, Föhre, Douglasie). Bei der sehr empfindlichen Eiche ist sie nur insofern als die Eichen von einem Füllbestand gut eingepackt sind, zu verantworten. Obwohl die Buche weniger empfindlich reagiert, gibt es dennoch bei dieser Baumart einen deutlichen Zusammenhang zwischen Kronenschluss und Anteil an Klebästen (siehe Abb. 7.12).



**Abb. 7.12 :** Klebastbildung und Bestockungsdichte bei der Buche im Lichtwuchs- bzw. Lichtungsbetrieb.  
(Nach Freist, 1962)

Freist (1962) schätzt die Wertverluste infolge der Klebastentwicklung in der Größenordnung von 20 %. Im Lichtwuchsbetrieb gehen sie sogar bis 35 %, wenn die Freistellung plötzlich erfolgt. Das Ganze hängt auch vom Alter der Bestockung beim Beginn des Lichtwuchses ab (Altherr et al. 1984 ; Klädtker, 1997). Klebastbildungen in noch jüngerer Bestockung (Alter 50 bis 60) bildeten sich stärker zurück als in älteren Bestockungen. Bei Buchenbeständen ist das Problem der Klebastbildung der Z-Bäume nicht hinderlich, wenn die Grundfläche über 20 m<sup>2</sup> bleibt. Unter diesen Voraussetzungen bilden sich der grösste Anteil der Klebäste zurück. Wenn diese kritische Grundfläche unterschritten wird, wachsen die Klebäste in Länge und Dicke weiter und führen zu der unerwünschten Holzqualitätsbeeinträchtigung. Altherr et al. (1984) fanden, dass Klebäste präferenziell an Z-Bäumen, die vor Beginn des Lichtwuchses schon solche aufwiesen, gebildet werden. So kann in einem solchen Fall dieses Kriterium der Präsenz von voretablierten Klebästen als Auslesekriterium betrachtet werden.

Die gute Reaktionsfähigkeit der Buche ist auch aus der Erfahrung des sogenannten **Seebacher Lichtungsbetriebs** dokumentiert. Bei dieser Lichtungsform, benannt nach dem Hannover

Forstmeister Seebach, der sie 1845 vorgeschlagen hat, ging es um eine extrem starke, einmalige Lichtung mit Reduktion von ca 50 bis 60 % des Vorrates in 70- bis 80jährigen Buchenbestockungen (bis zu einer G von ca. 10 m<sup>2</sup>) im Sinne der Ausnützung des Lichtungszuwachses.

Diverse Versuchsflächen wurden im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts an verschiedenen Orten in Deutschland angelegt, wo man im Vergleich zu normalbestockten Beständen die Entwicklung solcher behandelten Buchenbestände bis zur Hiebsreife dokumentieren konnte (Dittmar, 1991). Dabei zeigte sich bezüglich Endsortimente eine recht gute Verteilung, was eine hohe Plastizität dieser Baumart bis ins hohe Alter dokumentiert. Allerdings berichtet Zimmerle (1944) aufgrund ähnlicher Versuche in Württemberg, dass nach solchen kräftigen Eingriffen die Buchen mit Ausbildung von Klebästen reagieren.

Dittmar (1991) berichtet, dass 30 bis 40 Jahre nach dem hyperkräftigen Lichtungseingriff der Kronenschluss wieder geschlossen war, so dass die inzwischen eingestellte Verjüngung nicht mehr genügend Licht bekam, um einen brauchbaren Folgebestand zu erzeugen. Somit ist auch belegt, dass weitere Lichtungen notwendig sind, wenn man die Vorteile der Überlappung der Generation bei der Buche ausnützen will.

#### **7.4.2 Langsame Verjüngung von Mischbestockungen**

Bei Mischbestockung von Tanne-Fichte und Föhre sind ähnlich langsame Verjüngungsformen in am Anfang langgezogenen, jalousieförmigen Öffnungen, die langsam seitlich erweitert wurden am Beispiel des sog. Schirmkeilschlagsystems von Eberhard in Langenbrand (Nordschwarzwald) bekannt. Kenk (1985, 1988, 2001) berichtete über die Vor- und Nachteile solcher Verjüngungen in Verjüngungszeiträumen von 35 bis 40 Jahren. Dabei zeigte sich, dass ähnlich wie in Abb. 7.7 sich dank Dunkelstellung zuerst die Weisstanne einstellt, gefolgt von der Fichte und schlussendlich der lichtbedürftigeren Föhre.

#### **Schattenerziehung von Lichtbaumarten**

Eine Schattenerziehung ist bei einer halblichtbedürftigen Baumart wie der Waldföhre denkbar. Allerdings braucht diese Form wesentlich starke Lichtungen, wie die Erfahrung von Vögeli (1961) im Zürcher Weinlandgebiet zeigt. Sie führt zu qualitativ sehr schöner Nachfolgegeneration, weil die Föhre im Halbschatten eine feine Astbildung erzeugt. Das Problem liegt dann in der Stabilität gegenüber Schneedruckschäden im Moment der Endabdeckung solcher Bestockungen.

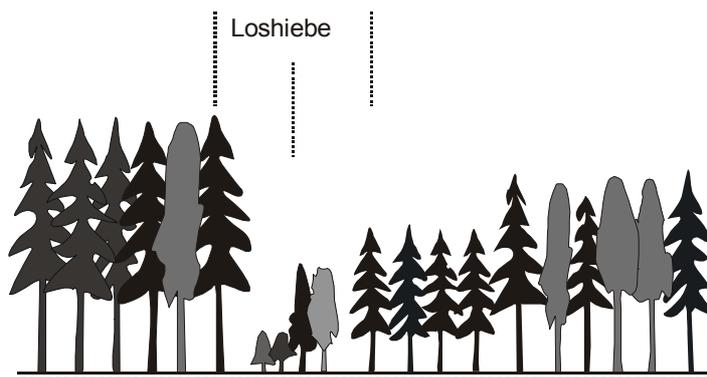
Bei Traubeneichen weisen die Experimente von Lüpke (1987) aus, dass eine lange Beschirmung der Eichen zu deutlicher Reduktion des Höhenzuwachses führt, und dass die Lückenstellung für eine einigermaßen langsame Erziehung der Eiche günstiger ist als die Schirmstellung. Erfolgreiche langsame Erziehung der Traubeneiche sind im Forstamt Embrach nachgewiesen in der Form von Kombination von Schirm und Lückenstellung (Sperber et al., 1983; Straubinger, 1988).

Diese Beispiele von langsamer Verjüngung sind eher selten zu finden. Sie zeigen, dass solche Formen der langsamen Ablösung der Generationen möglich sind. Sie erfordern sehr viel waldbauliches Geschick und auch erntetechnisches Können bei sukzessiven Lichtungen. Die Regel ist eher die zügige Führung von Verjüngungen.

### 7.4.3 Die Technik des Loshiebes

Ist einmal eine Verjüngung eingeleitet, soll sie mit einem bestimmten Tempo weitergeführt werden. Wie schon erläutert, ist es - spätestens wenn die Verjüngung eine Höhe von 5-6m erreicht hat - notwendig, sie zu erweitern, um unangenehme Steilränder (Fronten) zu vermeiden. Am Anfang einer Verjüngung stellt sich das Problem der Kontrolle allzu langer Absäume nicht. Hingegen und insbesondere bei stark dezentralisierter Verjüngung in vielen Zentren (und trotz Zusammenschluss einzelner Zentren) stellt sich das Problem der drastischen Zunahme der Ränder. Durch immer weitere Umrändelung entstehen tatsächlich am Schluss einer Verjüngung ausgedehnte Ränder.

Es ist nicht immer möglich oder erwünscht, mit dem gleichen Tempo (Fortschritt) in allen Richtungen eine Verjüngung zu erweitern. In solchen Situationen lässt sich eine Drosselung des Fortschrittes durch die Technik des sog. **Loshiebes** im Griff behalten. Der Loshieb ist eine Erweiterung (Umrändelung oder Absäumung) auf einer minimalen Breite von nur einigen Metern, um die Bildung von allzu hohen Fronten zwischen Verjüngungsteilflächen zu vermeiden (siehe Abb. 7.13). Diese Technik ist vom Kahschlagbetrieb abgeleitet, um noch nicht hiebsreife Waldpartien nicht allzu früh in einem Hiebszug (Waldkompartiment mit normaler Hiebsfolge) einzuschliessen und ihr Ertragsvermögen möglichst sinnvoll auszunützen.



**Abb. 7.13:** Technik des Loshiebes, um das Verjüngungstempo nötigenfalls zu bremsen.

### 7.4.4 Der Überhaltbetrieb

Beim sog. Überhaltbetrieb geht es ursprünglich um eine Form des Lichtungsbetriebes mit noch extrem langer Überlappung der Generation, so dass die Folgegeneration so lang unter lockerem Schirm der Altgeneration bleibt, bis die neue Generation hiebsreif wird. Das heisst, die Überhälter sind doppelt so alt wie die Junggeneration. Erntetechnisch ist der Vorteil eines solchen Konzeptes evident, insbesondere gegenüber den wesentlich komplizierten beschriebenen Formen langsamer Verjüngungen in Schirmstellung. Der Überhaltbetrieb gehört landschaftlich sicher zu den Instrumenten von ausgewogener Wirkung in der Waldlandschaft.

Waldbaulich betrachtet lohnt sich der Überhaltbetrieb nur mit Baumarten, welche eine lange Produktionsdauer ertragen, d.h. deren Holzeigenschaften sich mit zunehmenden Alter nicht vermindern und keine Klebastbildung aufweisen. Es funktioniert eigentlich zufriedenstellend mit Baumarten wie Föhre und Lärche. Damit die zweite Generation sich gut entwickeln kann, soll die Beschirmung durch die Altgeneration nicht allzustark beschatten. So ist der Überhaltbetrieb mit Bestockungsdichte von ca 40 - 60 Überhältern pro ha zu realisieren. Ökonomisch macht es nur Sinn, wenn die Überhälter Spitzenqualität erzeugen können. Weitere Bedingungen sind

Stabilität (lotrechter Stand), genügendes Kronenregenerationsvermögen und gesundes Wurzelsystem.

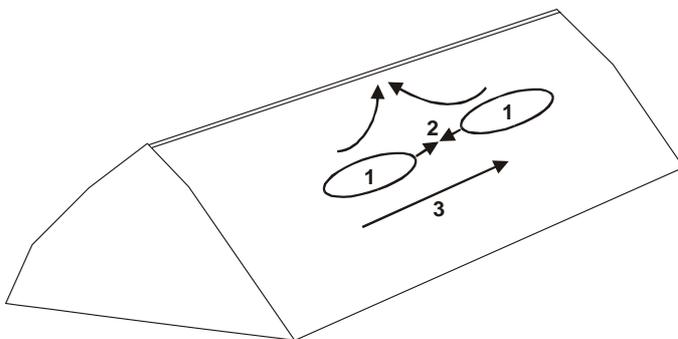
Die Erfahrung mit solchen Systemen in der Schweiz sind mässig, weil auf unseren gut gepufferten Böden beste Wachstumsverhältnisse bestehen und die Bäume zu schnell altern. Zu alte Überhälter auch von passenden Baumarten Fö und Lä werden von Wurzelfäulen oder vom Kienzopf der Föhre (sog. krause Glucke, verursacht durch *Sparassis crispa*) befallen. Auch die Windstabilität von Föhren ist nicht so gut, wie man sich das häufig vorstellt. In der Regel müssen die Überhälter aus diesen Gründen vorzeitig genutzt werden.

## 7.5 RÄUMLICH-ZEITLICHES GEFÜGE

### 7.5.1 Räumliche Ordnung

Mit dem Begriff der räumlichen Ordnung wird die kohärente räumliche Disposition der Komponenten eines Waldbetriebes verstanden. Dies ist insbesondere bei der Waldverjüngung von Bedeutung, weil in dieser Phase erhebliche Veränderungen der Waldzusammensetzung erfolgen. Da im Falle des naturnahen Waldbaus eine Verjüngung örtlich und zeitlich gestaffelt vor sich geht, sind die Begriffe der räumlichen und zeitlichen Ordnung sehr eng verbunden. Letzterer Begriff gilt für die zeitliche Staffelung von Verjüngungen und wurde von Blankmeister (1956) geprägt.

Von grosser Bedeutung für eine kohärente und effiziente waldbauliche Führung der Verjüngungen ist die Festlegung der planungstechnisch relevanten Eigenschaften der beabsichtigten Verjüngungen. Es handelt sich dabei im Wesentlichen um die kennzeichnenden Elemente jeder Verjüngung wie: allgemeine Absicht bezüglich Fortschritt (Anzahl Teilflächen und ihr Zusammengehören) sowie allgemeine und spezielle Verjüngungszeiträume. Weil eine Verjüngung unter Berücksichtigung der Reaktion der Natur auf die Waldbau eingriffe zu führen ist, soll sie laufend an den effektiven Fortgang angepasst werden. Für die Planung heisst das, dass nur der allgemeine Rahmen festzuhalten ist in einer sog. Verjüngungsabsicht und nicht alle Details von vornherein vorzuschreiben sind. Dies kann für die Bedürfnisse der waldbaulichen Planung mit einer Skizze des Vorgehens und Festhaltung des allgemeinen Verjüngungszeitraumes erfolgen (siehe Abb. 7.14).



**Abb. 7.14:** Absicht des Verjüngungsfortschritts im Rahmen der waldbaulichen Planung, in Form einer Skizze.

Es ist dabei zu beachten dass je nach gewählten Hiebsarten das örtlich-zeitliche Gefüge unterschiedlich wird. Im Falle der Schirmhiebstechnik z.B. ist eine gute Kongruenz zwischen Teilflächengrösse, spezieller Verjüngungszeitraum und den Bedürfnissen der gewählten Baumarten in Einklang zu bringen. Bei der Femelhiebstechnik ist die Anzahl Verjüngungszentren für den Fortschritt bestimmend.

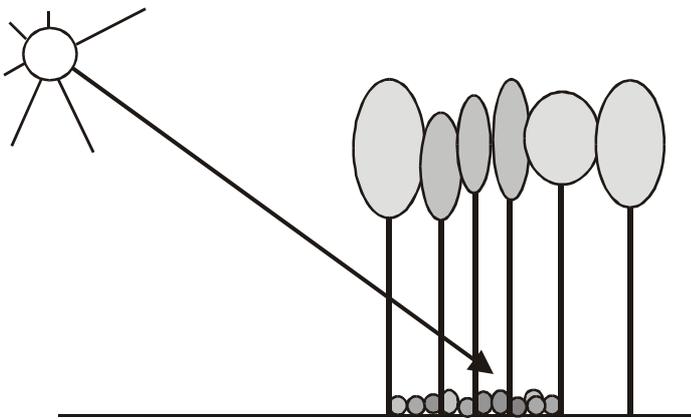
Es empfiehlt sich bei der Festlegung solcher Verjüngungsentscheidungen die folgenden Kriterien zu beachten:

- Einklang zwischen Baumarten, Ausschöpfung des speziellen Ertragsvermögens, richtige Verjüngungszeiträume
- Anzahl Verjüngungszentren (Teilflächen)
- Gute Koordination zwischen Hiebsfortschritt und allgemeinem Verjüngungszeitraum oder umgekehrt: Einklang der Teilflächengrösse und des Verjüngungstempos

Hier soll bemerkt werden, dass im Hochgebirgswald (subalpin) die Verjüngung derart spärlich vorkommt und sich derart langsam entwickelt, dass nicht primär das waldbaulich Wünschbare die Verjüngungsplanung charakterisiert, sondern einfach das, was die Natur liefert. Es werden alle Verjüngungsvorkommen, egal ob sie gut plaziert sind oder nicht, genutzt, und erst dann ist ein möglichst kohärentes Zusammenfügen anzustreben.

### 7.5.2 Staffelung der Verjüngungshiebe

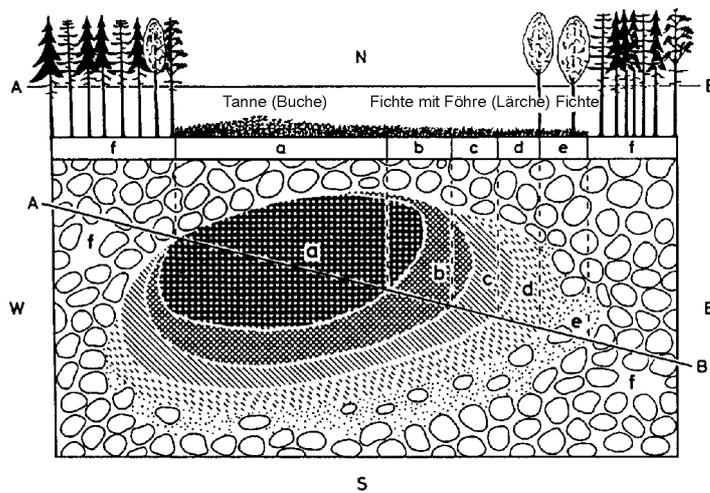
Je nach Standort und gewünschten Baumarten fallen sowohl das Tempo wie auch die Hiebsfolge einer Naturverjüngung recht unterschiedlich aus. Je nach Standortgüte und Art der Vegetation liegt das Lichtoptimum anders. In der Regel sind Schirmhiebe als Hiebsart geeignet für diese Phase. Dies schliesst aber eine Ansamung am Saum oder in Kombination mit Vorlichtung in der Tiefe nicht aus (siehe Abb. 7.15). Weil die darauf folgende Phase des Aufwuchses wesentlich mehr Licht benötigt, stellt das Modell einer Verjüngung beginnend in der Kleinlückenstellung (Femelhieb), welche später sukzessiv durch Absäumung (Umrandung) erweitert wird, insgesamt ein günstiges Verfahren dar.



**Abb. 7.15:** Die Ansamung am Saum ist ebenfalls möglich.

Die Saumstellung am inneren Saum, d.h. unter der direkten Einwirkung der Altbestockung, ist normalerweise für die Ansamung von Lichtbaumarten (Föhre, Fichte) adäquat.

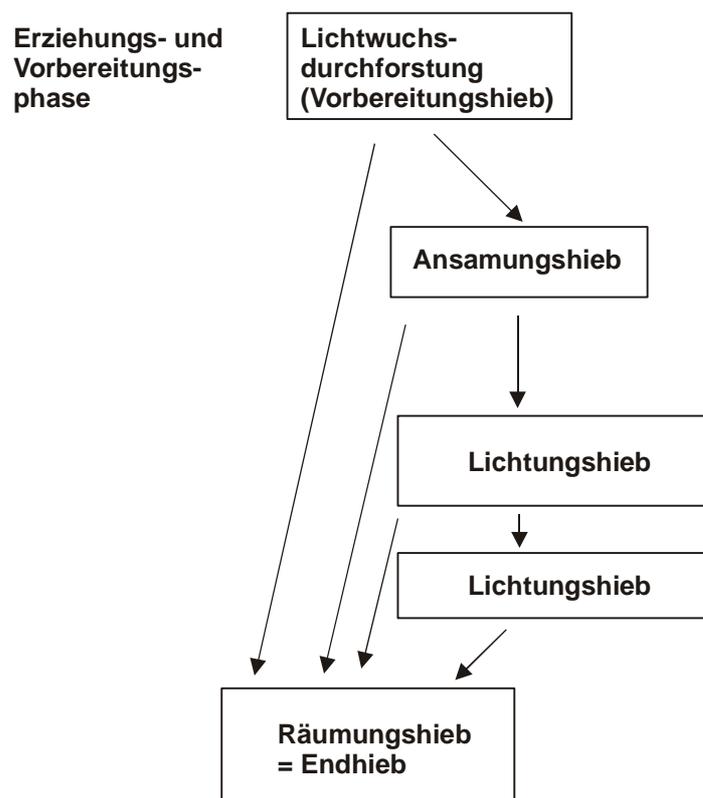
Bei der Saumstellung ist die Exposition des Saumes für die Beleuchtungsverhältnisse massgebend, so dass am nordzugewandten Saum die Schattenbaumarten (Bu, Ta) sich ohne weiteres ansamen, hingegen die Lichtbaumarten (Fi, Fö, Lä) günstige Voraussetzungen am sonnenzugewandten Saum finden, wie Abb. 7.16 zeigt.



**Abb. 7.16:** Ansamlungspräferenzen in der Femelstellung je nach Exposition.

In: Mayer (1992), nach Vanselow (1949)

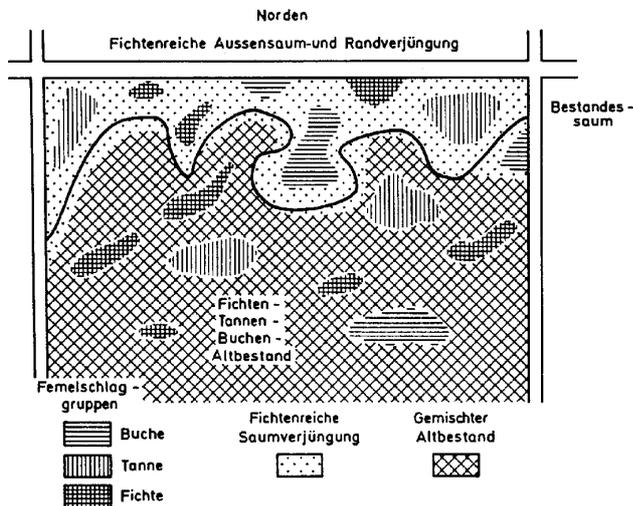
Der normale Ablauf einer Verjüngung lässt sich schematisch folgendermassen einordnen:



**Abb. 7.17:** Schematische Darstellung der vollständigen Hiebsfolge einer Naturverjüngung mit entsprechenden Varianten.

Die ganze Reihenfolge der aufeinander wirkenden Hiebe (Hiebsfolge) gilt, wenn man von einer vollbestockten, geschlossenen Albestockung ausgeht, unter welcher noch keine Ansammlung vorhanden ist. Ist die Ansammlung vorhanden, wird auf den Ansamlungshieb verzichtet, allenfalls kann bei lichtbedürftigen Baumarten (Ei) sogar auf Lichtungshiebe verzichtet werden.

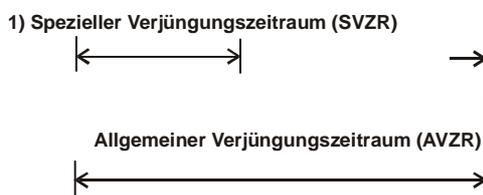
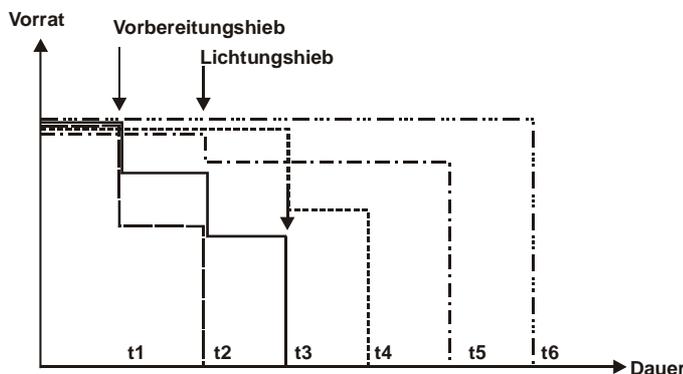
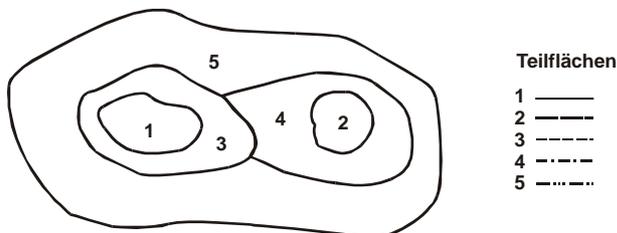
Im Falle der Verjüngung am Saum erfolgt die Ansamung unter Einfluss des Seitenlichtes, ohne dass zusätzlich besondere Eingriffe notwendig sind zur Förderung der Ansamung, es sei denn bei sehr langsamem Verjüngungsfortschritt und schattentoleranten Baumarten (Ta), wo vorgezogene Lichtung weit im inneren der Bestockung denkbar ist, wie z.B. im Falle eines Saumfemelschlagsystems (siehe Abb. 7.18)



**Abb. 7.18:** Prinzip des Saumfemelschlags: Femelschlagsgruppen der lichtbedürftigen Baumarten (Fi) sind nahe am Saum angelegt. Für schattenfeste Baumarten (Ta und Bu) werden zonenweise Auflichtung in der Tiefe vorbereitet. Durch die buchtige Ausgestaltung des Saumes können sich auch noch andere Baumarten ansamen.

nach Seeholzer (1922),  
In: Mayer (1992)

Im Falle des Femelschlags gibt es eine zeitlich und örtliche Staffelung des ganzen Verjüngungsvorganges. Diese Kombination von Verjüngungsfortschritt an einem einfachen Fallbeispiel ist auf Abb. 7.19 dargestellt. Dabei ist es wichtig, den Ablauf der Verjüngung auf die einzelnen Teilflächen vom Ablauf auf der ganzen Verjüngungsfläche zu unterscheiden.



**Abb. 7.19:** Schematische Darstellung des Verjüngungsablaufs durch zeitliche und örtliche Staffelung der Verjüngung im Falle des Femelschlagsystems. In der Ordinateachse ist der Vorrat der ganzen Verjüngungseinheit angegeben.

### 7.5.3 Verjüngungszeiträume

Sinngemäss ist es notwendig, einen allgemeinen Verjüngungszeitraum von einem speziellen zu unterscheiden. Der **spezielle Verjüngungszeitraum (SVZR)** entspricht der Dauer der Verjüngung auf einer Teilfläche, von ihrer Einleitung an bis zur Endräumung der Muttergeneration. Der **allgemeine Verjüngungszeitraum (AVZR)** gilt für die gesamte Verjüngungsfläche vom Moment der Einleitung der Verjüngung auf der ersten Teilfläche bis zur endgültigen Räumung der letzten.

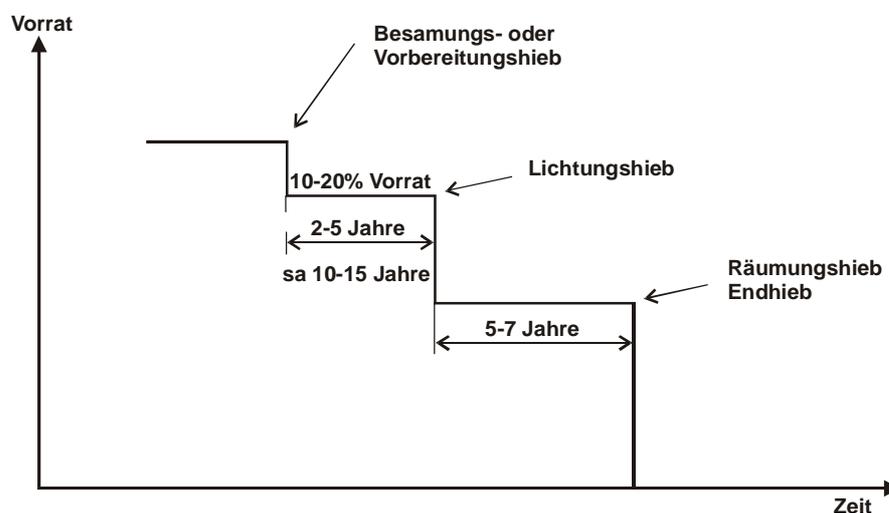
Der spezielle Verjüngungszeitraum hängt unter anderem ab von:

- Baumartenwahl
- Schattenempfindlichkeit der Baumarten
- Verjüngungsgunst des Standortes
- Vorhandensein einer Vorverjüngung

Der allgemeine Verjüngungszeitraum hängt ab von:

- Spezielle Verjüngungszeitraum
- Form und Grösse der Hiebe
- Ausdehnung der Verjüngungsfläche (-einheit)
- Verjüngungsfortschritt
- Risiken

Der zeitliche Ablauf der Verjüngung bezogen auf eine Teilfläche lässt sich schematisch wie auf Abb. 7.20 darstellen.



**Abb. 7.20:** Schematische Darstellung des Ablaufs einer Verjüngung auf einer Teilfläche.

Der Zeitraum zwischen Ansamungshieb und Erweiterung hängt vom Entwicklungstempo der Sämlinge ab, d.h., von den Lichtverhältnissen, aber auch vom naturgegebenen Entwicklungsgang, der nach Baumartengruppen recht unterschiedlich sein kann. Im allgemeinen brauchen die Nadelbaumarten mehr Zeit als die Laubbäume, um sich zu etablieren. Tabelle 7.20 gibt für den Fall von raschem Verjüngungstempo die unterschiedlichen Zeiträume für die Etablierung einer gesicherten Ansamung an.

**Tabelle 7.21:** Zeitraum zwischen der Einleitung einer Verjüngung (Ansamung) und ihre Erweiterung durch einen Lichtungs- oder Räumungshieb, im Falle von raschem Verjüngungstempo.

| Baumarten    | Zeiträume (Jahre) | Bemerkungen  |
|--------------|-------------------|--|
| Stieleiche   | 1-2               | Wenig schattenertragend (ca 10 % Licht pro Jahr)                             |
| Traubeneiche | 2-5               | Mehr schattenertragend als S'Ei  |
| Esche/Ahorn  | 3-6               | in der Jugend eher schattenertragend<br>Möglichkeit, auf den Stock zu setzen |
| Föhre        | 4-8               |  |
| Fichte       | mehr<br>5-10      | bei einer Schattenerziehung<br>sobald Höhe 20 bis 30 cm                      |
| Buche        | 4-8<br>-15-20     | bei Lichterziehung<br>Schattenerziehung; Deckungsgrad < 0,65                 |
| Tanne        | 10-20             | —  |

Für die Festlegung des Zeitraumes zwischen Lichtungs- und Räumungshieb spielen oftmals erntetechnische Faktoren eine Rolle. Normalerweise wird der Abschluss einer flächigen Verjüngung (z.B. im Schirmschlagverfahren) in Rücksicht auf die Schäden am Jungwuchs festgelegt, welche bei der Nutzung der Bäume der Altbestockung entstehen. In Fällen der Nutzung der Mutterbäume unmittelbar im verjüngten Kollektiv (z.B. bei Schirmschlag) erfolgt die Räumung, wenn der Jungwuchs noch biegsam ist (hüft- bis brusthoch). Insbesondere im Falle einer langen Schattenerziehung besteht jedoch bezüglich Zeitpunkt der Abdeckung ein grosser Spielraum.

Bei Hiebsarten, die erntetechnisch keine grossen Schäden am Jungwuchs verursachen, wie Femel- und Saumhieb, angenommen der Hiebsfortschritt ist kleiner als eine Baumlänge, wird der Zeitraum zwischen den Hieben im wesentlichen in Rücksicht auf die tolerierbaren entstehenden Fronten zwischen Teilflächen bemessen. Dabei sollen insbesondere keine zu markante Fronten zwischen zwei sich abfolgenden Verjüngungsflächen entstehen (5 bis 6 m).

---

## 8. WAHL DER HIEBSARTEN UND HIEBSFORMEN

---

Im modernen polyvalenten Waldbau kommt die ganze Palette der Hiebsmöglichkeiten gezielt zur Anwendung im Hinblick auf übergeordnete Ziele, bzw. der angestrebten Baumarten. Viel mehr als bisher wird heute die Vielfältigkeit der Hiebsformen angestrebt zur Förderung von vielfältigen Waldstrukturen zur Unterstützung der Biodiversität. Die Hiebsarten sind das technische Instrumentarium zur Optimierung des Erneuerungsprozesses. Sie werden also in unterschiedlicher Kombination angewendet und nicht mehr wie früher als systemprägend wie am Beispiel des Saumschlag-, Schirmschlag- oder Kahlschlagsystems.

Die Benützung aller Paletten der möglichen Hiebsstellungen und Hiebsformen wurde von Leibundgut (1949) als **Prinzip der freien Hiebsführung** formuliert. Schädelin (1928) und Leibundgut (1946) haben diese hiebsartenunabhängige Verjüngungstechnik noch „**schweizerischer Femelschlag**“ genannt, weil die Verjüngung in der Startphase normalerweise in dezentralen Lücken (Verjüngungszentren) erfolgt. Da die Femelstellung nicht systeminhärent ist, führt die Bezeichnung Femelschlag zu Missverständnissen. Heute ziehen wir die Bezeichnung naturnahe Waldverjüngung oder **polyvalente Waldverjüngung** vor.

Bei der Ansamlungsphase gilt es primär, das Überleben der Sämlinge der gewünschten Baumarten sicherzustellen. Bei der darauffolgenden Phase der Verjüngungssicherung, gilt es örtlich und zeitlich einen kohärenten Verjüngungsfortschritt anzustreben in besonderer Rücksicht auf folgende Faktoren:

- Hauptwinde
- Holzabfuhr
- Wirkung auf die Landschaft

Der koordinierte Ablauf der Verjüngung impliziert eine bestimmte Folge und räumliche Disposition der Teilflächen, welche wir als **räumliche Ordnung** bezeichnen. Je dezentraler eine Verjüngung und vielfältiger die Kombination der Hiebsformen ist, desto wichtiger ist eine Koordination des Verjüngungsablaufes. Ein polyvalenter Waldbau stützt sich gerade für die Verjüngungsphase auf eine effiziente **waldbauliche Planung**.

Unter dem Begriff **Hiebsform** versteht man sowohl die Flächengröße (Ausdehnung) eines waldbaulichen Eingriffes als auch seine geometrische Form. Die Hiebsform hängt im wesentlichen von den angestrebten Lichtbedingungen, also vom Lichttemperament der gewünschten Baumarten, ab. Die Art und Weise der Abfuhr der genutzten Hölzer beeinflusst weiterhin die Form der Hiebe. Diese hängt im wesentlichen von der Orographie, der Geländebeschaffenheit und schlussendlich der Rücke- und Holzabfuhrtechnik ab. Auch die Wildschadensituation beeinflusst die Hiebsform, weil im Falle einer notwendigen Einzäunung sich minimale Schlagflächen und geometrisch lineare Formen ergeben.

### 8.1 WIND

Spätestens bei der Abräumung der ersten Verjüngungszentren entstehen im Wald Angriffsflächen, welche bei Windstürmen und instabilen Bestockungen zu unerwünschten Schäden führen können. Sobald eine Lücke eine Baumlängengröße erreicht, entstehen Windturbulenzen, die zu Wurf- und Bruchschäden führen können. Das Windschadenrisiko ist demnach ein wichtiger Faktor für die Festlegung der Form und Anordnung der Verjüngungshiebe und des Hiebsfortschrittes.

Charakteristisch für die Beanspruchung durch starke Winde sind, im Gegensatz zur Schneebelastung, eine sehr dynamische Belastung mit stochastischem Charakter und die Tatsache, dass die Kräfte horizontal auf dem Baum wirken (Marsch, 1989). Je nach Windgeschwindigkeit ist die Wirkungskette differenziert zu interpretieren. Nach Oehler (1967) gibt es bereits ab Windgeschwindigkeiten um  $17 \text{ ms}^{-1}$  zerstreute Schäden im Wald. Von einem Sturm spricht man bei Überschreitung des Werts 8 auf der Beaufortskala (d.h. Geschwindigkeit  $17 \text{ ms}^{-1}$  oder  $62 \text{ kmh}^{-1}$ ), von einem Orkan bei Überschreitung des Werts 12 ( $31 \text{ ms}^{-1}$  bzw  $118 \text{ kmh}^{-1}$ ).

### Empfindlichkeiten der Baumarten

Mittlere Stürme bewirken insbesondere an empfindlichen Baumarten (Fichte, Tanne) zerstreute Schäden. Je nach Eigenschaften der Stämme, Standort und Gesundheitszustand der Wurzeln sind Stamm- bzw. Stockbrüche und Wurfschäden zu beobachten.

Unter den Baumarten sind im allgemeinen Nadelbäume wesentlich mehr gefährdet als Laubbäume, weil sie erstens wintergrüne, dichte, undurchlässige Kronen aufweisen und zweitens gegen Wurzelfäule empfindlicher sind. Tab. 8.1 gibt die anlässlich der Stürme 1967/68 und 1990 beobachteten Empfindlichkeiten der Baumarten nach Bazzigher et al (1969), Schmid-Haas und Bachofen (1991) wider. Dabei ist es interessant, festzustellen, dass zwischen diesen zwei Ereignissen für bestimmte Baumarten Unterschiede bestehen. Das gilt insbesondere für die Buche, welche bei den Stürmen 1967/68 als relativ unempfindlich galt und bei den Stürmen 1990 als empfindlich. Offensichtlich ist dabei nicht nur die mittlere Windgeschwindigkeit eines Sturmereignis, sondern seine Böigkeit und andere Faktoren (Bodenfeuchte) für die Schäden mitentscheidend.

**Tabelle 8.1:** Empfindlichkeiten gegenüber Windsturmschäden. Schadenquotient für die hauptbetroffenen Baumarten. (Schadenquotient = Quotient aus Baumartenanteilen unter den geschädigten Bäumen und den entsprechenden Baumanteilen im bleibenden Bestand).

| Baumarten          | Windstürme 1967 | Windstürme 1990 |
|--------------------|-----------------|-----------------|
| Fichte             | 1,1             | 1,1             |
| Tanne              | 1,0             | 1,0             |
| Übrige Nadelhölzer | 0,5             | 1,0             |
| Buche              | 0,5             | 1,0             |
| Übrige Laubhölzer  | 0,5             | 0,2             |

Nach: Bazzigher und Schmid (1969); Schmid-Haas und Bachofen (1991)  
Analyse der Streuschäden im Schweizerischen Mittelland.

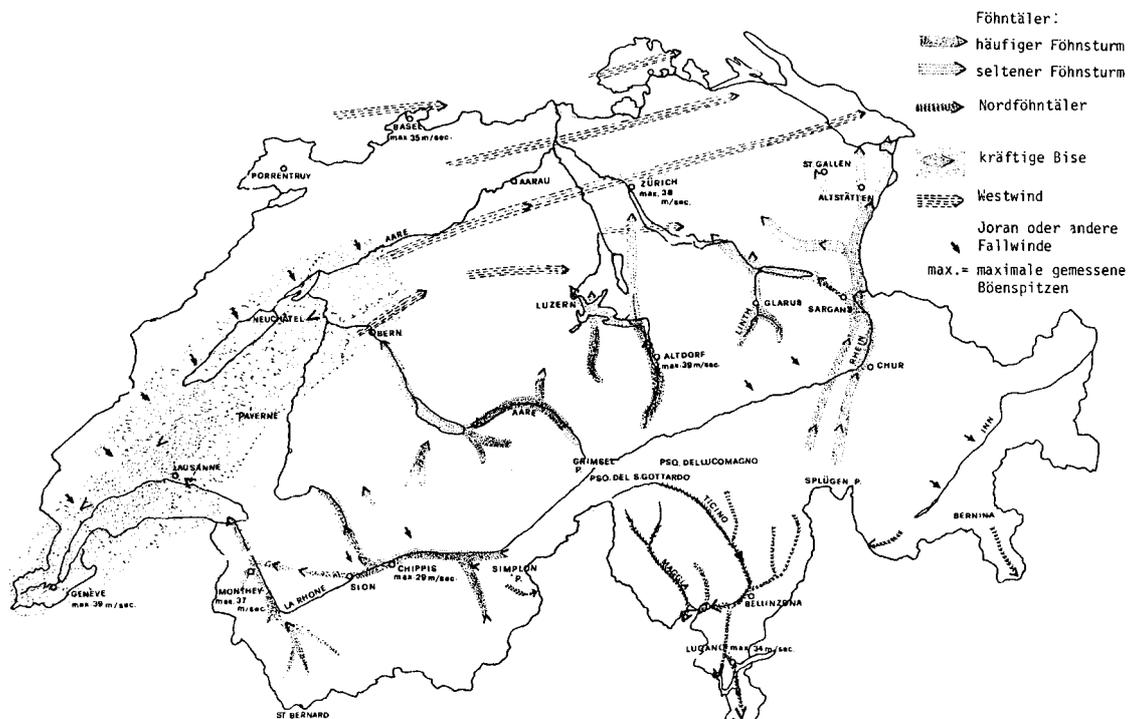
Wintergrüne Nadelbäume sind wesentlich empfindlicher als winterkahle Baumarten. Dies steht offensichtlich in Zusammenhang mit der Segelwirkung der Krone. So zeigen die Ergebnisse der Lotharschäden in der Schweiz, dass Fichte und Tanne um 3 mal mehr von Schäden betroffen waren als Laubhölzer (Buwal und WSL, 2001). Dvořak und Bachmann (2001) zeigen für die stark von Lothar betroffenen Plenterwälder des Emmentals, dass die Fichte um 30 % stärker

betroffen war als die Tanne, sowie doppelt so empfindlich war wie die Buche. Ihrerseits scheint die Buche empfindlicher zu sein als andere Laubholzarten.

Die Sturmempfindlichkeit der Baumarten ist je nach Sturmereignis und Standort etwas unterschiedlich. Es lassen sich aber auf Grund der allgemeinen Tendenzen folgende Empfindlichkeitsabstufung festhalten:

**Fi > Ta > Fö >> Dou > Bu > Ei > Ah, Es.**

Abb. 8.2 zeigt die für unser Land relevanten Hauptwinde. Das Schweizerische Mittelland ist meistens von Süd-West-Winden heimgesucht. Ihre Richtung ist normalerweise von W-S-W. Sie können aber je nach Grosswetterlage auch von Nord-Westen her kommen, wie bei den Stürmen Vivian und Wiebcke (im Frühling 1990). Die Broyeebene-Jorat-Lemanische Region kann auch unter dem Einfluss von kräftigen Ostwinden (Bise) stehen. Föhnstürme (vom Süden oder Norden) dominieren in den Alpentälern.

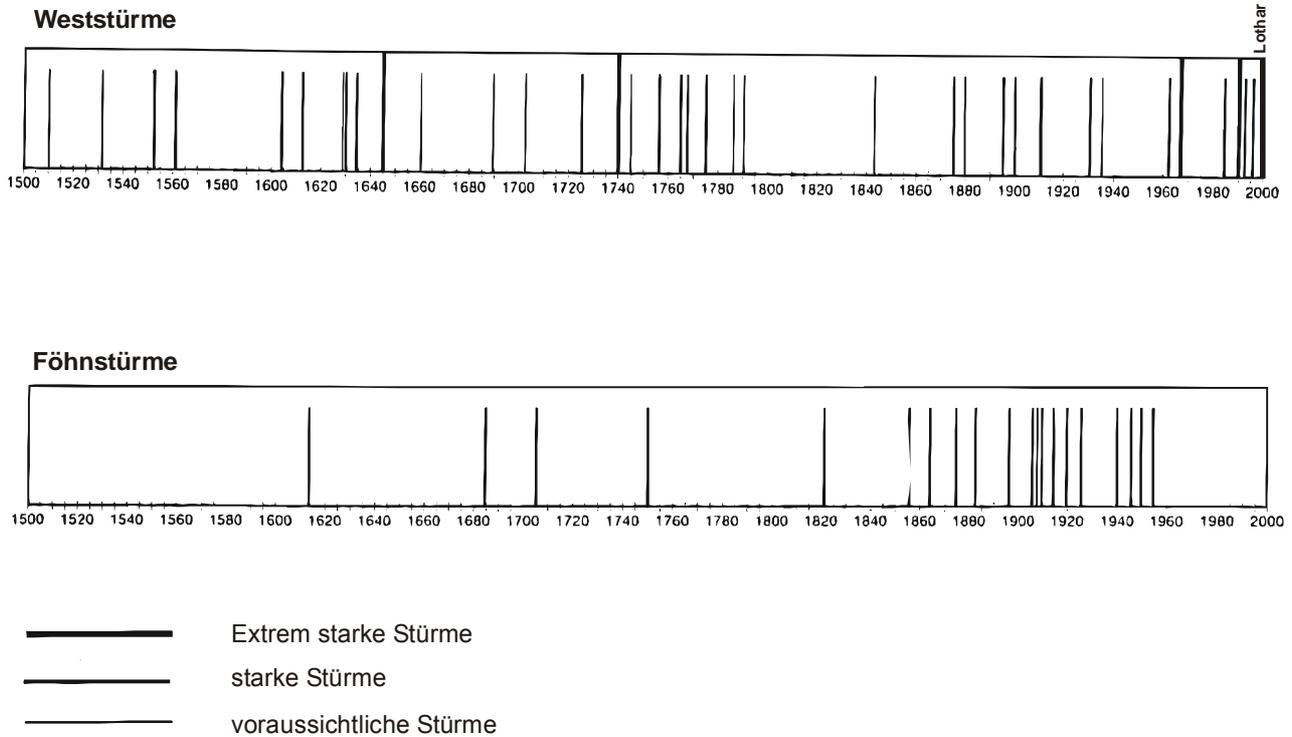


**Abb. 8.2:** Verbreitung der Winde in der Schweiz.  
Nach: Schüepp et al. 1977

### Wiederkehrzeit der Stürme (Rekurrenz)

Die Wiederkehrzeit von starken Stürmen ist je nach Grossregionen sehr unterschiedlich. Bezüglich Risiken ist zwischen Ereignis (eigentliche Sturmsituation) und lokaler Einwirkung zu unterscheiden. Das lokale Vorkommen von Sturmschäden ist sehr chaotisch und damit praktisch nicht voraussehbar (Holbo et al. 1978). In Nordeuropa (Schottland, Skandinavien) kann die Wiederkehrperiode von Stürmen am gleichen Ort auf 20 bis 25 Jahre eingeschätzt werden. Valinger und Fridman (1997) bestätigen in ihrer Auswertung der Landesforst-inventardaten für Schweden, dass Sturmschäden in ihrer lokalen Auswirkung kaum voraussehbar sind.

Abb. 8.3 nach Bader und Kunz (1998) zeigt, dass Sturmereignisse immer wieder vorkommen. Unklar dabei ist, ob mit der erwarteten Erwärmung durch CO<sub>2</sub>-Zunahme, auch die Sturmfrequenz in Zukunft zunehmen wird.

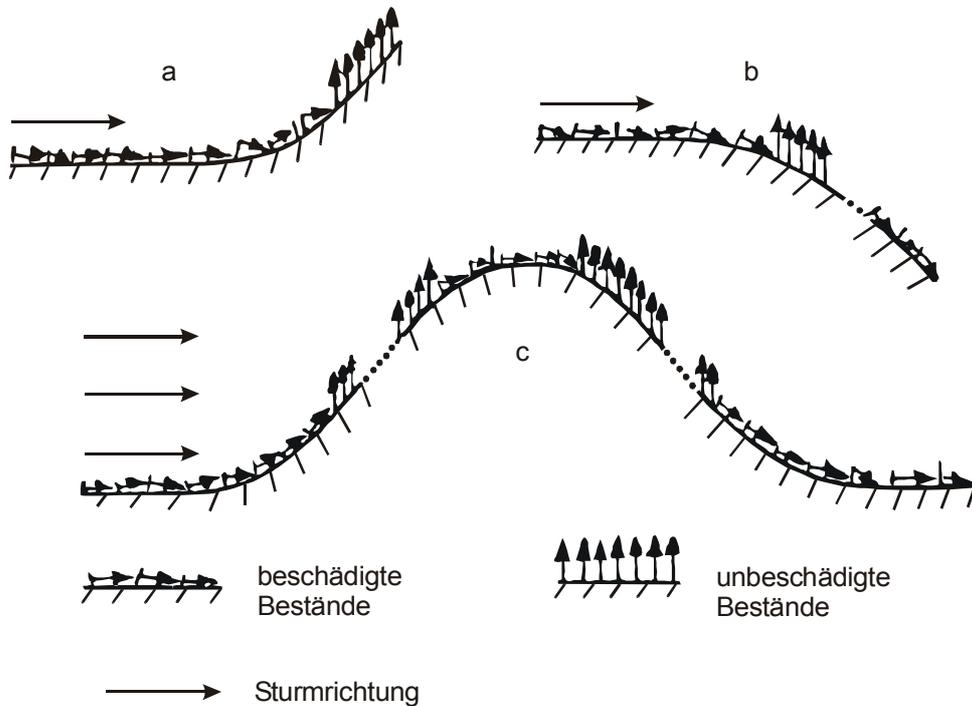


**Abb. 8.3:** Wiederkehr der Windstürme in der Schweiz in den letzten 500 Jahren. nach: Bader und Kunz (1998)

Anhand statistischer Methoden der Extremereignisanalyse lässt sich die Wiederkehrzeit oder Rekurrenzperiode für einen orkanartigen Sturm wie Lothar (26.12.1999) oder auch Viviane als etwa 15 Jahre errechnen. Zwischen der Wiederkehrzeit auf Landesebene und den Risiken auf Waldmassiv- oder Bestandesebene bestehen grosse Unterschiede. Dies weil die Orkane eine recht heterogene Struktur des Windfeldes vorweisen. Die Strömungsgeschwindigkeiten ändern sich so, dass der laufend und unregelmässig rasch bewegte Luftkörper sich mit weniger schnellen abwechselt (Mayer, 1985). Bänder der stärksten Windstärke werden also von solchen schwächeren getrennt. So entstehen in betroffenen Wäldern Windgassen von unterschiedlicher Breite. Starke Stürme verursachen in einer Region, die wie Schottland besonders oft von Stürmen heimgesucht wird, grossräumig gesehen Flächenschäden von zwischen 2 und 8 % (Gardiner und Quine, 2000). Der Sturm Lothar selbst betraf 3 % des Holzvorrates bzw. 2 % der Waldfläche (des schweizerischen Mittellandes), wenn man nur die Wälder mit flächigen Schäden betrachtet (Buwal 2001). Das bedeutet, dass zwischen der Rekurrenzzeit des Ereignisses und derjenigen auf den Bestand bezogenen ein Verhältnis von ungefähr 1:50 besteht. Das entspricht auf Bestandesebene einer Rekurrenzzeit von 750 Jahren. So ist verständlich, dass für den Waldbau (die Waldbehandlung) die Frage, ob man solchen Stürmen durch Reduzierung der Umtriebszeit ausweichen kann, überhaupt nicht zur Diskussion steht.

### Einfluss der Topographie

Die Geländeform kann einen Einfluss ausüben. Schon Hütte (1967) wies auf eine besondere Schadenskonzentration in luvorientierten Hängen, Hügelscheiteln, Hügelrückseiten bzw. –seiten hin (siehe Abb 8.4). Dies steht offensichtlich in Zusammenhang mit Düsenwirkung und Bildung von Turbulenzen. Quine und Gardiner (1998) haben für Schottland ein Gelände-Prognosemodell für die Bestimmung der speziellen Risikenprädisposition entwickelt.



**Abb. 8.4:** Windsturmgefährdung und Geländeform.  
nach Hütte (1967)

### Wirkungsweise der Stürme

Bei mittleren Stürmen fegen die Luftmassen eher regelmässig über den Kronenrand. Bei Starkstürmen hingegen bewegen sich die Luftmassen nicht mit einheitlicher Geschwindigkeit und Richtung über einen Bestand sondern es entwickeln sich aus den Luftströmungen der Hauptrichtung und –geschwindigkeit vereinzelt Wirbel und Böen, die eine 1,5-fache durchschnittliche Windgeschwindigkeit erreichen können. Die Böendauer beträgt zw. 3 und 30 Sekunden, anschliessend verschieben sich die Windkonzentrationen an andere Orte. Weitere Böen können in der gleichen Schwingphase die Wirkung amplifizieren (Irvine et al. 1997) und zu Resonanzeffekten führen. Bei Windgeschwindigkeiten ab  $30 \text{ ms}^{-1}$  entstehen lokale kleine Löcher, bei sehr starken Stürmen oder sogar Orkanen können grossflächige Schäden entstehen, sehr oft sind die Schäden in langen Streifen (Windgassen) konzentriert.

### Verhalten im Bestand

Eine statistische kausalanalytische Auswertung der Einflussgrössen von Windstürmen in Norddeutschland nach dem Sturm Viviane (1990) wird von König (1995) präsentiert. Als wirksamste Faktoren im statistischen Modell (nichtlineare stufenweise Regression und Faktorenanalyse) ergeben sich in dieser Reihenfolge:

- Bestandeshöhe
- Bodenbeschaffenheit (und Wassergehalt)
- Zeitspanne nach der letzten Durchforstung
- Windgeschwindigkeit

Andere Faktoren wie Geländeform, Alter oder Waldrandstufigkeit wirken zwar statistisch gesichert, allerdings mit viel weniger Ausprägung. Überschreitet die Windgeschwindigkeit  $30 \text{ ms}^{-1}$  (ca.  $100 \text{ kmh}^{-1}$ ), geht man davon aus, dass biomechanische Eigenschaften, Standortfaktoren oder waldbauliche Faktoren keinen Einfluss mehr zeigen (Oliver und Mayhead, 1974). Weil die Windgeschwindigkeit allgemein sowie die Böenwahrscheinlichkeit mit der Höhe über dem Boden stark zunimmt, sind die höchsten Bäume wesentlich mehr beansprucht und werden entsprechend auch präferenziell befallen.

Unter den sehr dynamischen Windböen mit pulsierendem Fortschrittscharakter schwingen die Bäume in sehr unterschiedliche Richtungen. Die Schwingung der Bäume im Bestand ist höchst stochastisch. Die Bäume biegen sich sehr kräftig. Wiederholte Böen können die Amplitude verstärken und sogar zu Resonanzeffekten führen (Holbo et al. 1978). Die Schwingungsenergie wird durch folgende Faktoren aufgenommen: die Astbewegung (dämpfender Effekt der Äste), Bremsen durch Nachbarn und mechanische Eigenschaften des Stammes. Experimentelle Schwingversuche von Milne (1991) mit 23-jährigen Sitkafichten in situ zeigen, dass die Bremswirkung von Nachbarn für 50% der Energievernichtung verantwortlich ist, gegenüber der 40% des Geästs und 10% des Stamms. Daraus lässt sich klar ableiten (wie im Modell von König), dass die Waldbehandlung, insbesondere nach Durchforstungen, einer der wichtigsten Faktoren der Sturmempfindlichkeit ist.

Der Einfluss des Waldrands auf den Windabfluss bzw. die Schäden ist bestens bekannt (siehe Mitscherlich, 1974; bzw. Irvine et al. 1997). Gegen den Waldrand bildet sich, wenn der Rand sehr dicht ist, ein Luftstau, welcher die Windströme über dem Wald kanalisiert, sodass einige Meter hinter dem Waldrand Turbulenzen entstehen und sich entsprechend Schäden bilden können. Zahlreiche Beobachtungen zeigen, dass die Waldränder nach Windstürmen noch stehen und die Schäden erst 20-30 m dahinter beginnen. Dieser Umstand ist nicht nur aerodynamischen Phänomenen zuzuschreiben, sondern auch der Tatsache, dass die immer wieder vom Wind belasteten Bäume sich durch adaptiven Wuchs, insbesondere der verankernden Hauptwurzel, angepasst haben. Durchlässige (aus Laubhölzern bestehende), stufige Ränder wirken ausgewogener, weil die Windflüsse weniger turbulent ausgeprägt sind. Windkanalversuche mit Videoaufnahmen zeigen dies sehr eindrücklich.

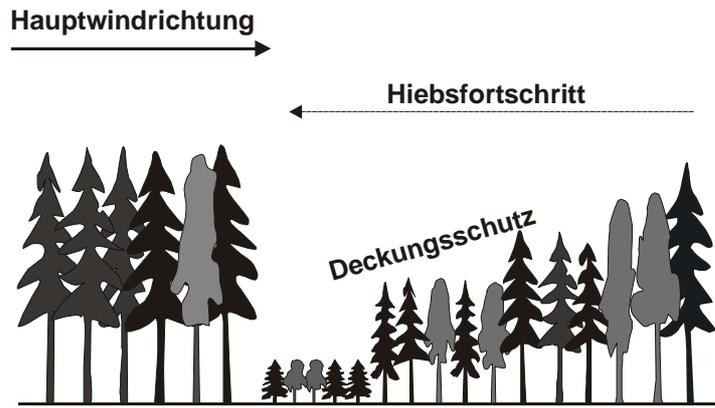
### **Verankerung**

Weil die Bäume mehrheitlich enturzelt werden (voll oder teilweise), stellt die Verankerung eine der wichtigsten Kenngrößen für die Beurteilung der Stabilität dar. Coutts (1983) hat in Experimenten mit durch künstliche Schwingung beanspruchten Bäumen die Komponenten des Windwiderstands des Wurzelsystems auf folgende Anteile eruiert:

- |  |      |
|--|------|
| • Zugfestigkeit der seitlichen Hauptwurzeln im Luv             | 54 % |
| • Gewicht der Wurzelballe                                      | 31 % |
| • Seitenwurzel im Lee (Biegefestigkeit)                        | 8 %  |
| • Scherfestigkeit des Bodens an der Oberfläche der Wurzelballe | 7 %  |

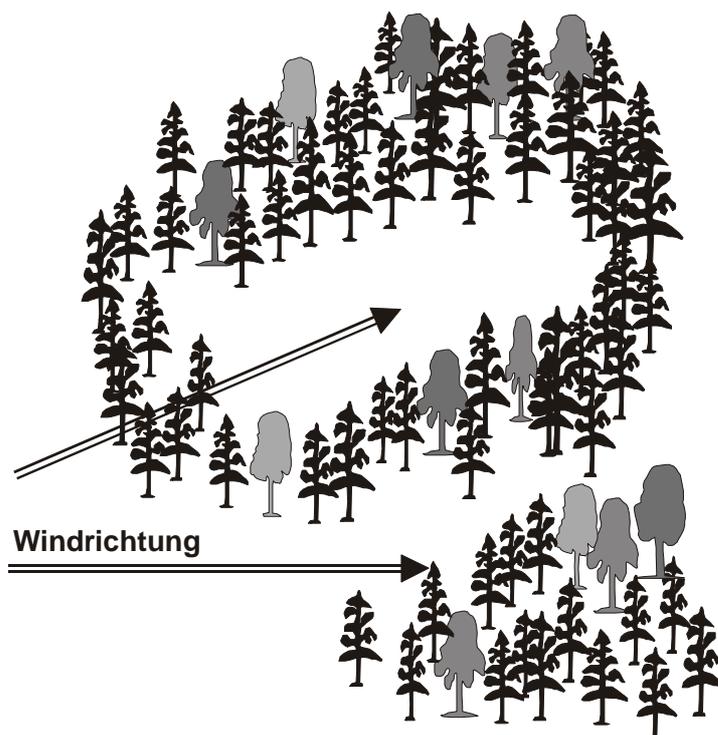
### Abwehr durch waldbauliche Mittel

Die klassische Abwehr gegen Windgefahr bei vorgegebenen und insbesondere empfindlichen Baumarten (Fö, Ta), besteht darin, durch die Schlagordnung pralle Fronten in der Hauptwindrichtung zu vermeiden. Das führt zu Verjüngungsfortschritt von der Leeseite her und wie auf Abb. 8.5 dargestellt, welche durch sukzessive Erweiterung meistens am Saum zur Bildung eines sog. **Deckungsschutzes** führt; d.h., ein gegen die Windrichtung entstehender regelmässig abgestufter Waldsaum.



**Abb. 8.5:** Klassischer Hiebsfortschritt zur Verjüngung windgefährdeter Bestockungen.

Ein solches System führt zur drastischen Verminderung der Hiebsfreiheit und zu unerwünschtem Schematismus in der Hiebsführung. Die Beurteilung der Widerstandsfähigkeit einer Bestockung, bzw. von den für die Stabilität entscheidenden stabileren Gerüstbäumen, gehört zu den wichtigsten Analysefaktoren bei der Verjüngungsentscheidung. Bei dieser Entscheidung ist die Beurteilung des Gesundheitszustandes vom Hauptwurzelsystem massgebend. Generell soll die Bewegungsfreiheit der Bäume im höheren Alter nicht gefördert werden. Dies spricht gegen eine unnötige Auflösung labiler Bestockungen.



**Abb. 8.6:** Abgeleitete weitere Formen der Verjüngungsfortschritte von windgefährdeten Bestockungen, wie abgesäumte Fronten oder Keile.

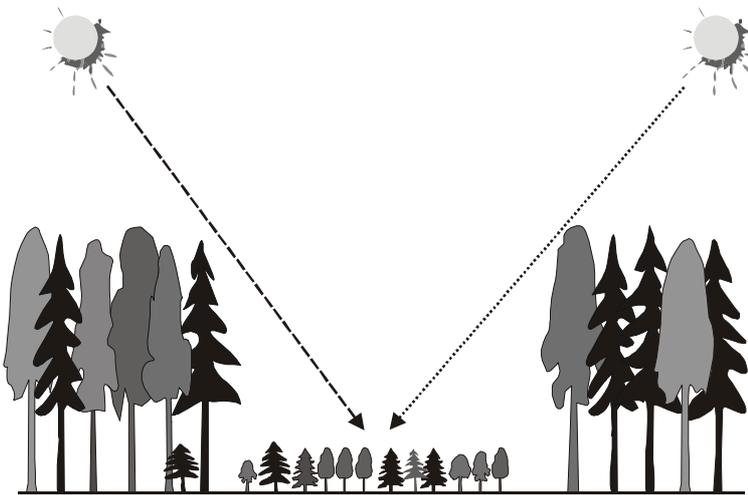
In Regionen, wo Windstürme von entgegengesetzten Richtungen vorkommen können (z.B. Westwinde und Bise), bleibt nur übrig, die Hiebsfronten parallel zu den Windrichtungen zu orientieren. Weil die Topographie in Rücksicht auf den gesamten Verjüngungsablauf mitzuberücksichtigen ist, kommen auch Zwischenformen zur Anwendung, wie abgeschrägte Fronten. Falls die Lochstellung aus waldbaulichen Gründen dennoch angestrebt oder unausweichbar ist (Zwangseignisse), müssen günstigen Abflussformen wie Keile mit Spitze in der Windrichtung oder Wassertropfenform geschaffen werden. Darüber hinaus muss dabei beachtet werden, dass um die Spitze dieses Keiles stabile Elemente stehen (siehe Abb. 8.6).

## 8.2 GELÄNDEFORM

Die Geländeform hat einen Einfluss einerseits auf die Lichtverhältnisse, weil sowohl die Exposition wie die Neigung in engem Zusammenhang mit den angestrebten Belichtungsverhältnissen stehen. Andererseits beeinflusst die Orographie die Holzabfuhr und hat somit einen entscheidenden Einfluss auf das Konzept der Hiebsführung, will man bei der Nutzung der Altbestände minimale Schäden an Jungwüchsen erreichen.

### 8.2.1 Geländeform und Licht

Weil die Sonne schräg am Horizont steht, gibt es auf einer vom Altbestand abgeräumte Fläche nicht überall Freilandverhältnisse. Man kann in erster Annäherung damit rechnen, dass bezüglich Strahlungsverhältnisse der seitliche Einfluss des Waldrandes auf mindestens einer Baumlänge spürbar ist (siehe Abb. 8.7). Wir haben übrigens in Abb. 6.18 schon gesehen, dass im Zentrum mittlerer Lücken mit einem Durchmesser von zwei Baumlängen nicht einmal 50 % des freieinfallenden Lichtes vorkommen.



**Abb. 8.7:** Einfluss des Waldrandes auf einer abgeräumten Fläche.

Das ist der Grund, warum es für eine **ökologische Definition des Kahlhiebs**, die sich nach dem Kriterium freilandähnlicher Verhältnisse richtet, sich eine minimale Flächengröße ergibt, nebst dem Fehlen von genügender und gesicherter Verjüngung (siehe Kahlhiebdefinition nach Leibundgut, 1973, bzw. nach Bundeswaldverordnung, 1991). Freilandähnliche Verhältnisse beginnen bei Lückengrößen von mehr als zwei Baumlängen Breite, was gemäss unserer Bonitätsverhältnisse etwa 40 bis 50 Aren entspricht. Aussenac (1996) betrachtet, dass Freilandverhältnisse sogar erst bei Lücken der sechsfachen Höhe des angrenzenden Waldrandes herrschen, d.h. bei Flächengrößen von 3,5 ha bis 4,5 ha.

Definition des Kahlhiebes nach ökophysiologischen Kriterien  
nach Leibundgut (1973), und die gesetzlich geltende Definition

Definition nach Waldverordnung 1991:

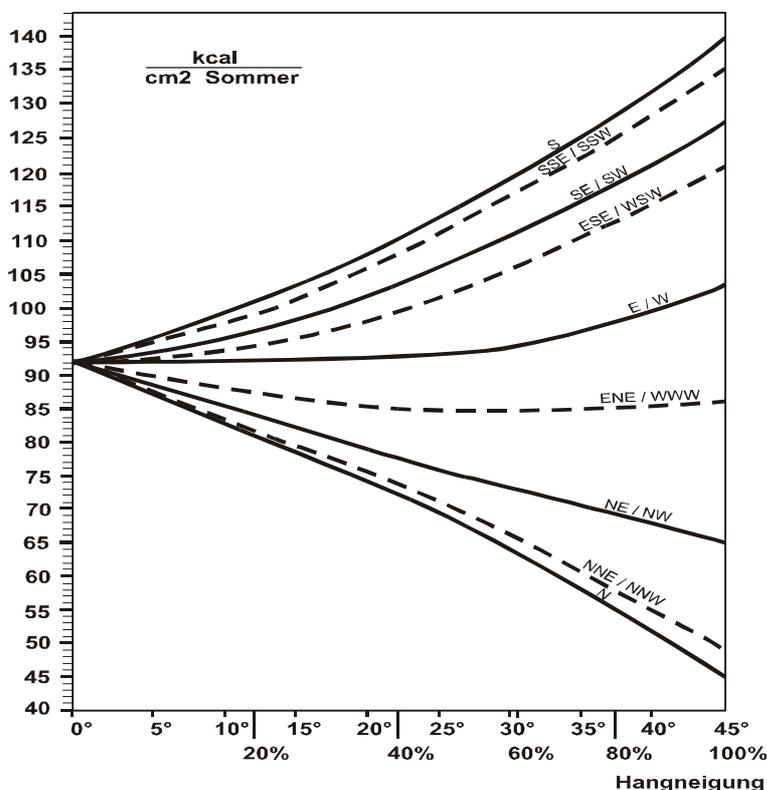
Unter Kahlschlag ist die vollständige Räumung eines Bestandes zu verstehen, die vor dem Vorhandensein einer ausreichenden und gesicherten Verjüngung erfolgt und durch die auf der Schlagfläche freilandähnliche ökologische Bedingungen oder erhebliche nachteilige Wirkungen entstehen.

Nach Leibundgut (1973):

Unter Kahlschlag wird eine von der ausreichenden Verjüngung eines Bestandes oder Bestandesteiles vollgezogene, beziehungsweise einer solchen in der Wirkung gleichkommende Räumung verstanden, durch welche auf der Schlagfläche ökologisch freilandähnliche Bedingungen entstehen.

### 8.2.2 Wirkung der Hangneigung auf den Lichtfaktor

Der Steilhang führt je nach Exposition zur Veränderung der Licht- bzw. Schattenverhältnisse und dies in exponentieller Art mit zunehmender Hangneigung. Abb. 8.8 zeigt aufgrund einer Modellrechnung die während des Sommerhalbjahrs verfügbare potentielle Strahlung (in Kcal/cm<sup>2</sup>) in Funktion der Hangneigung (in Grad) und der Exposition.



**Abb. 8.8** Theoretische potentielle Strahlung in Funktion der Hangneigung und der Exposition.

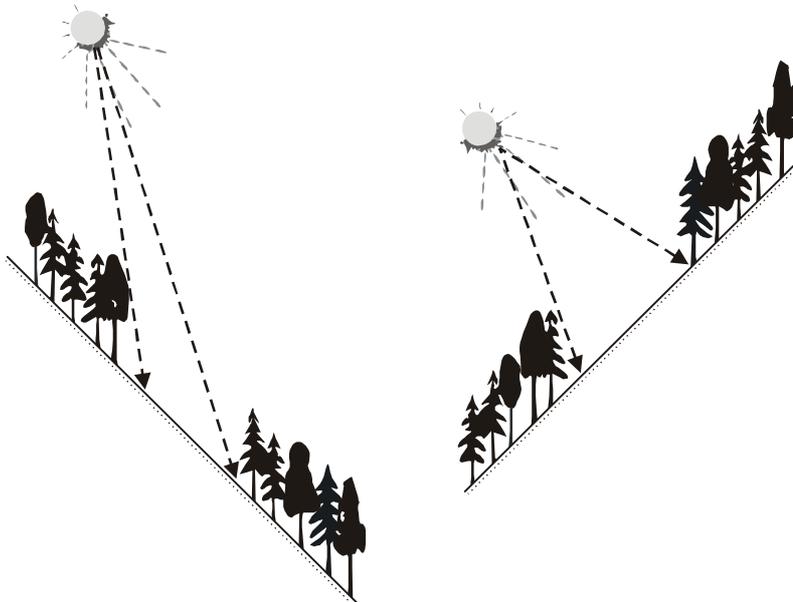
Nach Anders (1974)

Daraus ist ersichtlich, dass die Strahlung nur an exakt ost- oder westexponierten Hängen praktisch unabhängig von der Hangneigung ist. Am Steilhang von 45° (100 %) ist die Strahlung

aus südzugewandter Lage 50 % höher als auf ebenem Gelände oder am Ostwest-Hang, und an Nordlage 50 % niedriger.

Der Wärmeunterschied zwischen steilem Nord- bzw. Südhang (bei ca 60 % Neigung) entspricht dem eines Meereshöhenunterschieds von 430 m (Becker, 1979). Südwest- oder südost-exponierte Hänge reagieren eher wie Südhänge, und umgekehrt verhalten sich Nordost- oder Nordwesthänge eher wie Nordhänge. Das heisst, eine kleine Expositionveränderung gegenüber der Ost- oder Westrichtung führt zu erheblichen Veränderungen der Licht- bzw. Strahlungsverhältnisse. Deshalb können im steilen Gebirgswald kleine Veränderungen der Geländeform entsprechend Mulden-Kreter Anordnung zu deutlichen Verschiebungen des Wärmegenusses führen und zu entsprechender Veränderung der Verjüngungsgunst. Weitere potentielle Strahlungsindizien im Zusammenhang mit Neigung und Exposition gibt Becker (1982).

Die Wirkung einer Lücke (oder eines Kahlhiebes) ist je nach Exposition am Steilhang wesentlich anders. Am süd-zugewandten Hang ist bei gleicher Lochöffnung die Strahlung extrem höher und umgekehrt am Nordhang. (Siehe Abb. 8.9)



**Abb. 8.9:** Unterschiedliche Wirkung einer Bestandesöffnung am süd- oder nordzugewandten Steilhang.

### 8.2.3 Geländeform und Holzabfuhr

Grundsätzlich ist eine Verjüngung so anzulegen, dass im Zuge ihrer sukzessiven Erweiterung die Nutzung der hiebsreifen Bäume der Mutterbestockung nie über schon verjüngten Partien abgeführt werden muss. Die Verjüngung soll demnach normalerweise auf der sog. **Transportgrenze** angelegt werden. Die Transportgrenze, ähnlich wie eine Wasserscheide, befindet sich an der Grenze zwischen möglichen Abfuhrrichtungen.

Die Bedeutung der Transportgrenze ist je nach Geländebeschaffenheit, Nutzungstechnik und Erschliessungsgrad unterschiedlich. In einem gut erschlossenen Wald kann man sie vernachlässigen. Hingegen erhält sie eine grosse Bedeutung in der Situation, wo das ganze Holz durch einen Flächenhals abtransportiert wird. Das ist der Fall im Hanggelände, insbesondere bei eingekesselten Partien mit komplizierter Orographie. Wichtiger als das Anlegen einer Verjüngung ist der Abschluss derselben massgebend. Prinzipiell ist ein

Verjüngungskonzept so vorzusehen, dass es nicht zu Einschluss-Situationen führt bezüglich Abtransport der letzten Altbestandespartien.

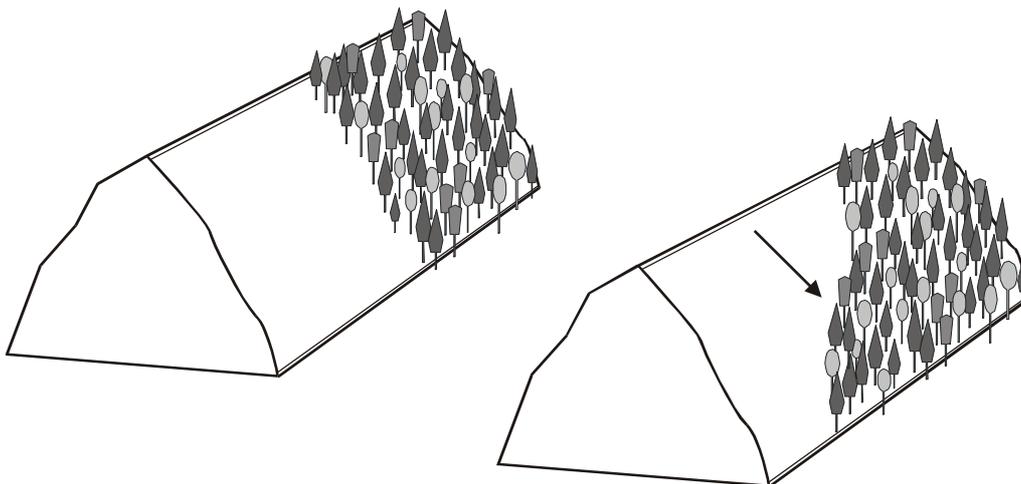
Der Begriff der Transportgrenze gilt im wesentlichen nur im Falle des Holztransportes im Bestand, insbesondere am Boden und weniger, wenn das Holz luftverfrachtet wird (Seilkran, Seilbahn). Für den Schweizer Wald schätzen Kaufmann (1999) aufgrund von LFI-Daten und Umfragen die Zugänglichkeit für konventionelle Traktoren auf 65%, für klassische Radharvester nur auf 32%. In Gebirgsregionen ist der theoretische Anteil der für Bodenseilzug geeigneter Wälder wesentlich geringer (siehe Tab. 8.10).

**Tabelle 8.10:** Beschaffenheit der Waldgelände für unterschiedliche Transportmittel.

| Holzabfuhrtechniken                           | Flächenanteil (%) |
|---|-------------------|
| Seilzug                                       | 15                |
| Mobiler Seilkran (Transportdistanzen < 500 m) | 30                |
| Langstrecke Seilkran (Distanzen > 500 m)      | 30                |
| Nicht nutzbar                                 | 20                |

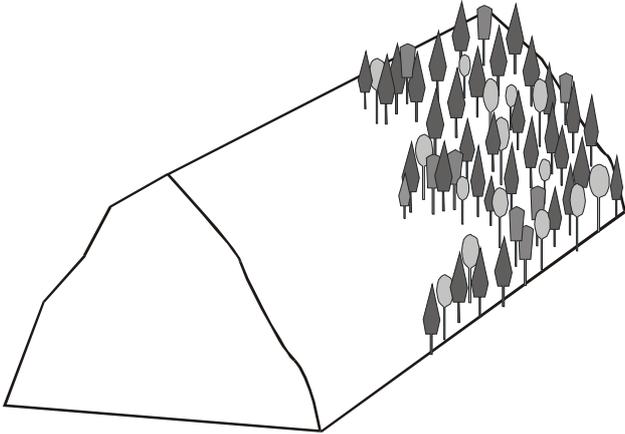
Nach Heinimann (1986)

Jedoch wird das Holz im Hanggelände nicht immer per Seilkran abgeführt. Die klassische Art des Abtransportes war früher das Reisten der Hölzer (am Boden in der Fallrichtung fallen lassen). Weil am Hang die Schwerkraft die Abfuhrrichtung des liegenden Holzes einschränkt, ergibt sich auch eine Einschränkung im Hiebsfortschritt und in der Hiebsrichtung. Dies ist der Grund, warum im Hanggelände die Verjüngung an in der Fallrichtung laufenden Säume, oder besser bezüglich Holztransport schrägen Säume, zur Anwendung kommen (siehe Abb. 8.11).



**Abb. 8.11:** Im Hanggelände hängen die Hiebsform und der Hiebsfortschritt von der Holztransportart und -richtung ab. Saumhiebe in der Fallrichtung bzw. schräg dazu sind geeignet.

Selbstverständlich müssen nicht immer geradlinige Säume angestrebt, sondern es kann im Sinne der Saumfemelhiebstechnik mit mehr oder weniger ausgeprägten Einbuchtungen gearbeitet werden (Abb. 8.12). Dies fördert die Lichtkontraste. Hingegen ist in Hanglage das klassische Femelsystem mit völlig dezentral gelegten Verjüngungszentren nicht sehr adäquat.



**Abb. 8.12:** Die Saumhiebstechnik im Hanggelände, mit Einbuchtungen verbunden, im Sinne des Saumfemelhiebs.

### 8.3 PRÄGUNG DER LANDSCHAFT

Verjüngungshiebe können zu erheblichen Veränderungen des Waldgefüges führen, insbesondere durch die Schaffung neuer, kontrastreicher, markanter Grenzlinien (innere Ränder) der verjüngten Flächen. Gerade in einer Berglandschaft können solche Massnahmen, insbesondere wenn sie geometrisch unnatürliche Formen aufweisen, zu unerwünschter (schlecht empfundener) Beeinträchtigung des Landschaftsbildes führen, umso mehr, als sie im Gegenhang lokalisiert sind und dieser in sichtbarer Nähe ist.

Unter dem Begriff der Forstästhetik ist seit längerer Zeit eine Forstdisziplin bekannt, welche sich mit der Wirkung des Waldkleides auf die Landschaft beschäftigt (Salisch, 1885). Bezüglich der Beurteilung einer Waldlandschaft wird besonders auf die Studie von Silvia Crowe (1966) hingewiesen oder für schweizerische Verhältnisse auf das Essai von de Coulon (1987).

Bei solcher Betrachtung, soll zuerst von allgemein geltenden Prinzipien der Prägung (oder des Charakters) einer Landschaft ausgegangen werden, bevor man sich speziell für die Wirkung von Verjüngungshieben interessiert.

Eine Landschaft ist zuerst einmal durch charakteristische Merkmale geprägt, nämlich seine Tiefe gegeben durch die Distanz der einzelnen Landschaftskammern, und die dominierenden Formen des Reliefs, meistens gegeben durch die Geologie. Es gibt monotone Landschaften, solche, welche sehr tief und flach ausgebildet sind und viel härtere Landschaftsformen bei sehr eng begrenzten Talschaften (Abb 8.13).



**Abb. 8.13:** Der Landschaftscharakter geprägt durch Tiefe.

Relativ monotone Landschaft mit sehr grosser Tiefe und flachen Formen. Im Vordergrund eine viel kontrastreichere Landschaft.

Nach: S. Crowe (1966)

Die Landschaftslinien unterstreichen die Kontraste einer Landschaft. Als prägende Konturen wirken Flüsse, Verkehrslinien, Waldrand oder Kretenform, geologische Schichtung. Der Wald, insbesondere der dunkle Nadelwald, wirkt kontrastierend in der Landschaft, speziell im Winter. In einer an sich monotonen Landschaft wirkt eine solche Kontrastierung eher positiv, umso mehr, wenn die Linien gut in den allgemeinen Charakter der Landschaft passen. Störend wirken Linien, welche in Disharmonie stehen mit der allgemeinen charakterprägenden Form. Meistens sind es geometrisch eckige Formen in einer sonst durch runde Formen geprägten Landschaft. So können z.B. geradlinige Feuerschneisen (Abb. 8.14) oder andere permanente

Installationen (Schneisen für Lifte oder Stromleitungen) als völlig disharmonisch in der Landschaft empfunden werden.



**Abb. 8.14:** Disharmonisch wirkende Linien einer Landschaft.

Grosse Räumungshiebe können sehr deutlich in einer Waldlandschaft hervorstechen. Das gilt insbesondere dann, wenn die Form allzu rechteckig und an Hanglagen situiert ist. Eine solch negative Wirkung lässt sich relativ einfach beheben durch eine harmonischere Gestaltung der Schlagränder, durch Stehenlassen gewisser Baumgruppen oder -streifen, durch Bildung von Kulissen (Einzüge, Einbuchtungen usw.) (siehe Abb. 8.15) oder auch mittels Technik des Überhaltes bei passenden Baumarten (Fö, Lä).



**Abb. 8.15:** Linderung der unharmonischen Wirkung von grossen Räumungshieben in der Landschaft.

## **8.4 BEDEUTUNG VON GROSSFLÄCHIGEN ENDHIEBEN AUF NICHT VERMARKTBARE SOZIALE LEISTUNGEN**

Grosse Räumungshiebe können unter anderem eine nicht zu unterschätzende Bedeutung auf verschiedene Funktionen des Waldes haben.

### **8.4.1 Schutzfunktionen**

#### **Gegen Rutschungs- und Erosionsgefahr**

Es wird sehr oft ein Zusammenhang zwischen Grosskahlschlag und Erosion bzw. Rutschungen in steilen Bergregionen postuliert. Die Gefahr der Oberflächenerosion ist insbesondere auf kohäsionslosen Böden zu befürchten, auf schwach ausgebildeter Bodenvegetationsdecke und extrem dichten Niederschlägen. Für unser Land dürfte die Oberflächenerosion kein dramatisches Problem darstellen, weil sich nach Abräumung des Waldes sofort eine üppige Bodenvegetation einstellt, welche die Böden gegen Erosion infolge Oberflächenabfluss der Starkniederschläge genügend deckt und bindet (Burschel et al., 1993).

Wenn schon eine Gefahr im Zusammenhang mit grossflächiger Abräumung besteht, ist an Südlagen das Abreißen der Grasschicht durch Abwechslung von Tau und Frost der Schneeschicht sowie Schneekriechen, welche als Auslöser für grössere Erosionsschäden führen kann, möglich.

Auf geologisch unstabilen Substraten (z.B. Flysch, Mergel) dürfte die Erhöhung des Bodenwasserpegels infolge nicht mehr wirkender Pumpfunktion des Altbestandes sehr gefährlich einzustufen sein für die Auslösung von Rutschungen. In solchen Situationen sind grossflächige Abräumungen zu meiden.

#### **Gegen Lawinen**

Ausschlaggebend für Waldlawinen an gefährdeten Lagen (Höhenlage: montan und subalpin; Steilheit 35 – 50 % und mehr) und Exposition: SW bis SO sind Bestandesöffnungen von mehr als 15 m Breite (Kaltenbrunner, 1993).

Nach Stadler et al. (1998) übt im Gebirgswald die Baumartenzusammensetzung bzw. der Auflösungsgrad der Waldbestockung eine wichtige Rolle über die Beschaffenheit der Schneeschicht. Unter Fichtenbestockung kann man eine starke Störung im Aufbau der Schneedecke beobachten. Dies ist die Folge der Schneeeentladung aus der Baumkrone bzw. abtropfendes Schmelzwasser. Das verhindert die Ausbildung einer durchgehenden Schichtung im Schnee. Darüber hinaus werden Abwurf von Nadeln und Flechten in der Schneeschicht eingelagert. Dies wirkt gegen die Auflösung von Waldlawinen günstig (In der Gand, 1978).

Unter Lärchenbestockung werden diese Störungen weniger gut ausgeprägt. So können eher ungünstige durchgehende Schwachschichtung der Schneedecke beobachtet werden. Trotzdem sind die mechanischen Eigenschaften der Schneedecke unter Lärchenbestockungen wesentlich günstiger als in Lücken oder im Freiland (Schweizer et al. 1995) und somit wirken auch Lärchenwälder stabilisierend auf die Schneedecke.

### Für Trinkwasser

Auch hier wirkt der Kahlhieb im wesentlichen negativ, weil in den darauffolgenden Jahren eine starke Mineralisierung der Humusbestandteile im Boden und Streu stattfindet und dementsprechend eine starke Freisetzung von Ionen wie Nitrate und Sulfate zur Folge hat, die in zu grosser Konzentration die Qualität des Trinkwassers beeinträchtigen (Swank et al., 1994).

### 8.4.2 Erholung

In Grossagglomerationen reagiert die Mehrheit der Leute oft negativ gegenüber flächiger Waldräumung. Die Einstellung geht bis zur totalen Ablehnung der Baumnutzung. In sensiblen Regionen dürfte die Verjüngungstechnik unter Schirm vermehrt zur Anwendung kommen und unnötige Angriffspunkte schaffen mit provokativer Wirkung. Das hindert aber nicht daran, durch gezielte Information das schlechte Image der Waldnutzung zu korrigieren in Richtung: Waldnutzung ist auch Waldpflege.

Andererseits wirken Lichtschächte bzw. der Kontrast von lichten und schattigen Stellen eher günstig im Erholungswald (ONF, 1997). Im allgemeinen erzielen gut durchforstete Bestände einen günstigeren Effekt auf Erholungssuchende als zu schattige Bestockungen, umso mehr, wenn sie bezüglich Baumartenzusammensetzung und Schlussform monoton sind.

### 8.4.3 Naturwerte

Die deutlich zunehmende Wahrnehmung der Bedeutung von Naturwerten im Wald hat auch Konsequenzen bei der Wahl der Verjüngungstechnik, da solche Werte massgebend in dieser Phase der Waldbehandlung geprägt werden.

### Naturwerte und Waldbewirtschaftungsverzicht

Zuoberst steht die noch nicht immer anerkannte Feststellung, dass das Sich-selbst-überlassen des Waldes weder die Baumartenvielfalt noch die Strukturansprüche erfüllt (Scherzinger, 1996). Eine ordentliche kleinflächige und dezentrale naturnahe Walderneuerung wirkt hingegen wesentlich günstiger auf die Strukturvielfalt und die Biodiversität. Zur Schaffung von strukturierten vielfältig bestockten Wäldern ist die naturnahe (aktive) Bewirtschaftung adäquat (siehe Skript Waldbau IV).

Verschiedene Beobachtungen der Artenvielfalt in unberührten Naturwäldern zeigen, dass dort oftmals eine hohe Organismenzahl vorkommt. Dies gilt aber nur für bestimmte Phasen und Stadien, nämlich in der Regel in der Phase der Ablösung der Baumgenerationen (Zerfallstadium). Daraus zu schliessen, dass Bewirtschaftungsverzicht zur Förderung der Biodiversität führt, ist voreilig und in zweifacher Hinsicht unzutreffend. Im Urwald sind zuerst einmal die Waldstrukturen in den Jungwaldstadien und Optimalstadien eher gleichförmig, und sie wirken dann nicht sehr günstig auf die Artenvielfalt. Um eine solche Frage zu beantworten, ist der flächenmässige Anteil der günstigen und ungünstigen Stadien entscheidend. Andererseits führt Bewirtschaftungsverzicht in einer ersten Phase eher zur Bildung einer homogenen Waldstruktur. Es kann Jahrzehnte, sogar Jahrhunderte dauern, bis eine interessante Phase des Zerfalls eintritt.

Es bestehen zahlreiche Theorien über die Erneuerung des Naturwaldes in sog. **Mosaik-Zyklen**. Ihre Urheberschaft schreibt man gerne Aubréville (1938, Westafrika) oder Watt (1947,

Grossbritannien) zu. Im letzten Jahrzehnt sind zu diesem Thema viele Publikationen erschienen (u.a. Shugart 1984, Harris 1984, Remmert 1985 „*Mosaik-Zyklus Theorie*“, Blandin und Lamotte 1988, Oldeman 1983 und 1990 „*Sylvatic mosaics*“, Oldeman 1994 „*folded forest model*“). Diese Theorien zerlegen eine Waldfläche entweder in ein Mosaik von Baumkronen (Aubréville 1938, Remmert 1985) oder in ein Mosaik von mehr oder weniger grossen Gemeinschaften, wobei jede Gemeinschaft durch einen, mehrere oder viele Bäume gebildet wird.

In Wirklichkeit entsprechen alle diese Theorien den Prinzipien der Waldverjüngung im waldbaulichen Sinne: eine Ablösung, entweder baumweise, gruppenweise, bestandesweise oder von ganzen Wäldern. Folglich gibt es im Erneuerungsprozess zwischen einem natürlichen Wald sowie einem im Rahmen eines verfeinerten und naturnahen Waldbaus bewirtschafteten Wald keine grundlegenden Unterschiede. Unterschiede treten aber dann zutage, wenn es um den Anteil des in Verjüngung begriffenen Waldes oder um durch Pflegeeingriffe entstandene Bestockungsstrukturen geht.

Als Beispiel für eine positive Veränderung der Artenvielfalt durch waldbaulichen Einfluss sei an dieser Stelle die Pflanzung von Baumarten erwähnt, die auf natürlichem Weg nur schwer eingebracht werden können. Nur in einem Wald, der durch eine Mischung von Baumarten strukturiert ist, ist der innere Aufbau und damit die Vielschichtigkeit der Lebensräume für andere Organismen dauerhaft und so weit verbessert, dass die **Voraussetzungen für eine höhere Biodiversität** gegeben sind.

Wir können davon ausgehen, dass im Urwald der Entwicklungszyklus, der von der durchschnittlichen Lebensdauer der einzelnen Glieder abhängt, beträchtlich höher ist als die Umtriebszeit im bewirtschafteten Wald; er beträgt 230-250 Jahre für Buchenwälder, ungefähr 300 Jahre für Eichenwälder und 350 Jahre für Bergfichtenwälder (Korpel 1995). Somit ist der **Anteil von Verjüngungsstadien**, die für das Vorkommen lichtbedürftiger Arten von hoher Bedeutung sind, in den nach waldbaulichen Grundsätzen **bewirtschafteten Wäldern höher als in Naturwäldern**. Für bewirtschaftete Buchen- bzw. Fichtenwälder beträgt er je nach Baumart das 2- bis 3-fache desjenigen von Naturwäldern (siehe Tabelle 2.8).

Für Lebewesen, die auf viel Licht angewiesen sind, wiegt dieser Nachteil sehr viel schwerer als der Vorteil des Vorhandenseins abbaubarer Masse (oder Totholz), was unbestrittenerweise für einige xylophage Insektenarten günstig ist. Um der zuletzt genannten Anforderung zu entsprechen, ist übrigens kein unbewirtschafteter Wald notwendig. Hier und dort Totholz zu belassen ist mit der Nutzung des Rohstoffes Holz keineswegs unverträglich; eher trifft das Gegenteil zu. Im übrigen lässt die gegenwärtige Zuspitzung der wirtschaftlichen Probleme, die mit der Holznutzung verbunden sind, die Zahl unbewirtschafteter Wälder sowie ungenutzten liegengelassenen Holzteile steigen. In der Zukunft kann es unter Umständen notwendiger sein, den Überfluss statt den Mangel an Totholz zu bewirtschaften.

Alle neueren Forschungsergebnisse zeigen, dass die Biodiversität von Urwäldern auf episodische klimatische Katastrophen oder, namentlich für die Wälder der warmen Gebiete, auf ein gleichmässiges Klima zurückgeführt werden kann, welches die Ausbildung einer reichen und mannigfaltigen Baumflora erlaubt (Cao 1995). In unseren gemässigten Gebieten dagegen ist es die Waldbewirtschaftung, die eine heterogene Struktur und Textur ermöglicht.

### **Naturwerte und Waldbewirtschaftung**

Bei der Verjüngung werden im wesentlichen die folgenden, für den Naturschutz wirksamen Problemkreise (nach Scherzinger, 1996) geprägt:

- Natürlichkeit der Bestockungszusammensetzung
- Mannigfaltigkeit (Diversität der Baumarten)

- Strukturen
- Altholz und Totholz
- Seltene Baumarten

Es bestehen keine prinzipiellen Zielkonflikte zwischen der bisher präsentierten naturnahen Walderneuerung und den meisten Naturwerten. Gewisse Abstimmungen bzw. Klarstellungen sind aber im einzelnen noch fällig.

Die Erreichung von standortsgerechten, vielfältigen Bestockungen ist ein übergeordnetes Ziel des naturnahen Waldbaus. Somit bestehen also keine Zieldiskrepanzen. Walderneuerung auf natürlichem Weg führt aber nicht immer zu vielfältig zusammengesetzten Jungbestockungen, weil die Verjüngungstechnik sich sehr eng an der Lichtbedürftigkeit der Baumarten orientiert und je nach gewählter Technik entweder schattentolerante oder lichtbedürftige Arten fördert. Darüber hinaus werden die seltenen Baumarten von den herrschenden meistens verdrängt. Günstige Baumartenvielfalt wird durch gezielte Anwendung unterschiedlicher Verjüngungstechnik nebeneinander erreicht, sowie durch Miteinbezug ergänzender künstlicher Waldverjüngung für das Einbringen der auf natürlichem Weg schwierig verjüngbaren seltenen Baumarten sowie schlussendlich durch die Waldpflege (Mischungsregelung).

Betrachtet man die ökologische Bedeutung der Baumarten für z.B. wichtige faunistische Organismengruppen wie pflanzenfressende Insekten (Tabelle 8.16), muss eingesehen werden, dass Baumarten wie Eichen oder Weiden und andere Pioniere durch die ordentliche Walderneuerung weniger oft gefördert werden. Zur Unterstützung ökologischer Prozesse sollen gezielt Eichen vermehrt künstlich auf relativ grossen Flächen eingebracht werden.

**Tabelle 8.16:** Liste der ökologischen Bedeutung der Baumarten gemessen an der Anzahl spezialisierter pflanzenfressender Insekten.

| Baumarten               | Anzahl auf die Baumart angewiesenen<br>phytophagen Insektenarten<br>(Anzahl Arten) |
|-------------------------|--|
| Eiche(n)                | 298  |
| (Weiden)(alle zusammen) | (218)  |
| Birke                   | 164  |
| Föhre                   | 162  |
| Fichte                  | 150  |
| Buche                   | 96   |
| Pappel                  | 85   |
| Ulme                    | 79   |
| Hasel                   | 76   |
| Aspe                    | 67   |
| Erle                    | 61   |
| Hagebuche               | 59   |
| Tanne                   | 58   |
| Schwarzerle             | 54   |
| Lärche                  | 50   |

Nach: Heydemann (1982)

Pioniere (Weiden, Pappel) bedürfen genügend lichtiger Verjüngungsformen und insbesondere Achtung bei der Pflege (sie wurden bisher systematisch bei der Jungwaldpflege eliminiert). Es besteht kein Grund, alle sog. Weichholzarten im Zuge der Jungwaldpflege zu eliminieren. Im Gegenteil: Viele Weichholzarten weisen wichtige kooperative Effekte auf (siehe Abschnitt 7.2.2). Die konkurrenzschwachen Baumarten (Feldahorn, Sorbus-Arten) sollen an für sie noch günstigen Lokalitäten (Waldrand) gezielt gefördert werden.

Bezüglich Strukturen unterscheidet Scherzinger (1996) zwischen vertikaler Strukturierung (wichtig für Vogelarten) und horizontaler, massgebend für Tiergruppen wie kleine und grössere Säugetiere. Bei letzteren geht es um die Förderung innerer Grenzlinien (Patchiness). Dieses Ziel ist nahezu optimal bei der Anwendung einer aktiven, naturnahen polyvalenten Walderneuerung. Die vertikale Strukturierung ist wesentlich schwieriger dauernd zu erhalten, und sie steht mit wiederholten kräftigen Durchforstungen verbunden, d.h. auch mit einer relativ hohen waldbaulichen Intensität.

Altholz und Totholzansprüche werden nicht sinnvollerweise durch flächendeckende Ausscheidungen erreicht, z.B. durch Erhöhung der Umtriebszeit oder Ausscheidung von Altholzpartien, welche unvereinbar sind mit Vitalitäts- und Stabilitätsförderung im Walde, sondern durch gezieltes Stehenlassen von einzelnen bis truppweisen Altbäumen in minimal (und nicht maximal) notwendiger Anzahl. Über die genauen Anteile solcher für holzzehrende und -bewohnende Organismen wichtigen Requisiten weiss man noch viel zu wenig. Es ist Aufgabe der Forschung, die erhaltungsbioologische Voraussetzung hier zu belegen. Sicher gilt es nicht, Totholzanteile, wie sie im Urwald vorkommen, anzustreben, allein schon wegen des CO<sub>2</sub> Haushalts.

## 9. KONZEPTION DER VERJÜNGUNG IM SCHWEIZERISCHEN FEMELSCHLAG

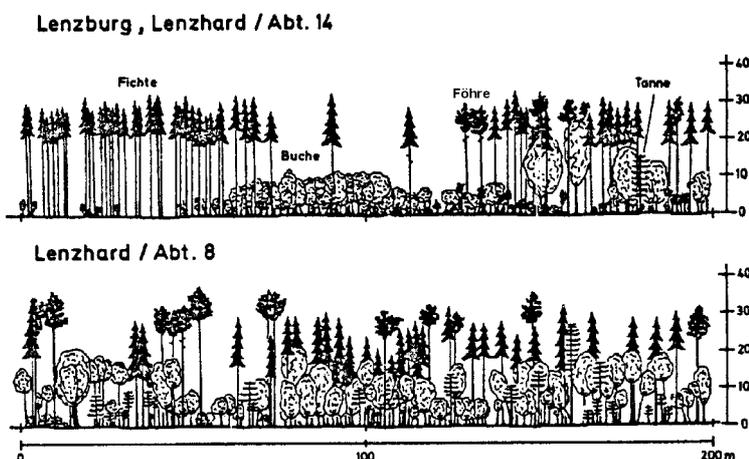
Von der guten Konzeption einer Verjüngung hängt auch deren Gesamterfolg ab.

### 9.1 ZIELHIERARCHIE

Eine naturnahe, polyvalente Verjüngung, wie sie im sogenannten schweizerischen Femelschlagverfahren zum Ausdruck kommt, verfolgt grundsätzlich folgende Ziele:

- Schaffung von möglichst gemischter und gestaffelt verjüngter Bestockung, welche als Voraussetzung zur späteren Förderung einer einigermaßen günstigen vertikalen und horizontalen Struktur, die mit Hilfe der später angewandten Erziehung- und Pflorgetechnik verfeinert wird.
- Weitgehende Ausschöpfung der natürlichen Erneuerungsmöglichkeiten, mit unterschiedlicher Staffelung des Erneuerungsvorganges. Die künstliche Bestandesbegründung wird komplementär angewendet zur Ergänzung der Baumartengarnitur für nicht vorhandene Baumarten oder solche, welche sich ungenügend auf natürlichem Weg verjüngen.
- Gute Ausschöpfung der Ertragsvermögenspotenzialitäten durch adäquaten Hiebsfortschritt und entsprechendes Hiebtempo.
- Vielfältige Hiebsartenwahl in Rücksicht auf die bestehenden verjüngungsökologischen Verhältnisse, nach dem Motto der „freien Hiebsartenwahl“.
- Köhärente und koordinierte Hiebsführung entsprechend einer klaren Verjüngungsabsicht, gestützt durch eine effiziente waldbauliche Planung.

Aus der Praxis dieser Form der naturnahen Waldbewirtschaftung resultieren je nach Schwerpunkt der Hiebsartenwahl und Verjüngungstempo recht unterschiedliche Waldbilder. Es führt also zu keiner typischen Betriebsform (Waldaspekt). Sie geht von einem Extrem von fast plenterartigen, sehr heterogenen Strukturen und Texturen bis zu flächigen Gruppen-, Horst- und grossflächig zusammengesetzten Bestockungen aus. Es dominiert die kollektivweise Bestockungsbildung und die Naturverjüngung. Abb. 9.1 zeigt zwei Bestandesbilder, wie sie aus einer solchen Praxis hervorkommen, am Beispiel zweier Abteilungen der Stadtwaldungen von Lenzburg. (Nach Köstler, 1961)



**Abb. 9.1:** Profile von zwei rund 75- und 100-jährigen Nadelbeständen, wie sie aus der Praxis des Schweizerischen Femelschlags ausgeformt sind.

Stadtforstverwaltung Lenzburg.

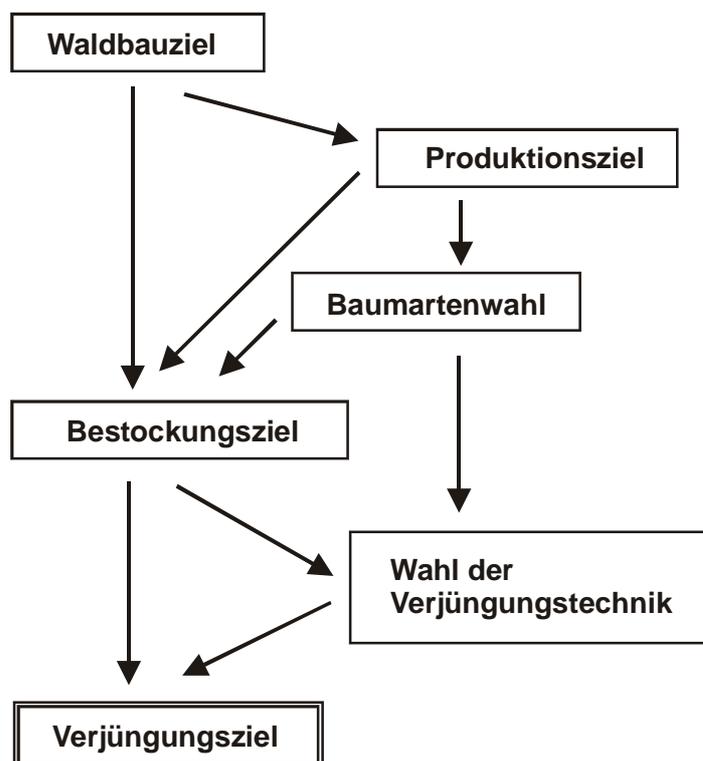
Nach Köstler (1961)

Im Schweizerischen Femelschlag ist die Verjüngungstechnik übergeordneter Ziele hierarchisch unterstellt. Die Verjüngungstechnik ist also Mittel zum Zweck: Schaffung differenzierter Bestockungen. Der Verjüngungstechnik übergeordnet sind sowohl generelle Rahmenbedingungen wie auch verjüngungsspezifisch operationelle Ziele.

Betreffend allgemeiner Rahmenbedingungen gelten folgende Eigenschaften:

- Stellenwert der Mehrzweckfunktion. Grundsätzlich ist immer die gleichzeitige Erfüllung mehrerer Funktionen anzustreben (sog. Multifunktionalität).
- Weitgehende Einschränkung der Bedeutung des Faktors Zeit.
- Bedeutung der Adaptabilität, weil die Funktionen nie konstant bleiben, sondern sich während eines Produktionszeitraums z.T. wesentlich verändern können.
- Möglichst geringe Lenkung gegenüber den Naturabläufen (opportuner Waldbau).

Operationell ist die Hierarchie bestimmter Ziele zu berücksichtigen, entsprechend dem Schema in Abb. 9.2. Weil diese Ziele sowohl bezüglich Referenzfläche wie zeitlicher Horizont unterschiedlich sind, bedarf es der Unterscheidung zwischen Waldbauziel, Produktionsziel, Bestockungsziel und Verjüngungsziel.



**Abb. 9.2:** Schematische Darstellung des Zielsystems für die Waldverjüngung.

Formell kommen im **Waldbauziel** die Funktionshierarchie und weitere Rahmenbedingungen zum Ausdruck. Das **Produktionsziel** formuliert die Form der Wertschöpfung der Holzproduktion, allenfalls getrennt für gewisse Baumartengruppen. Ihre Bezugsebene betrifft den ganzen Forstbetrieb oder grosse Teile davon.

Das **Bestockungsziel** gehört zu den operationellen Zielen und bezieht sich auf die Verjüngungseinheit (-fläche). Es beschreibt die anzustrebende Waldform zum Zeitpunkt der vollen Entfaltung der zukünftigen Generation, d.h. bei der Entwicklungsstufe des mittleren Baumholzes. Es beinhaltet die Zusammensetzung und Mischungsverhältnisse (Mischungsart, -grad und -form). Vom Bestockungsziel leitet sich die anzuwendende Verjüngungstechnik ab. Je

nach Standort und gewählten Baumarten bleibt allenfalls ein Freiraum für die Verwendung verschiedener Hiebsarten und -formen.

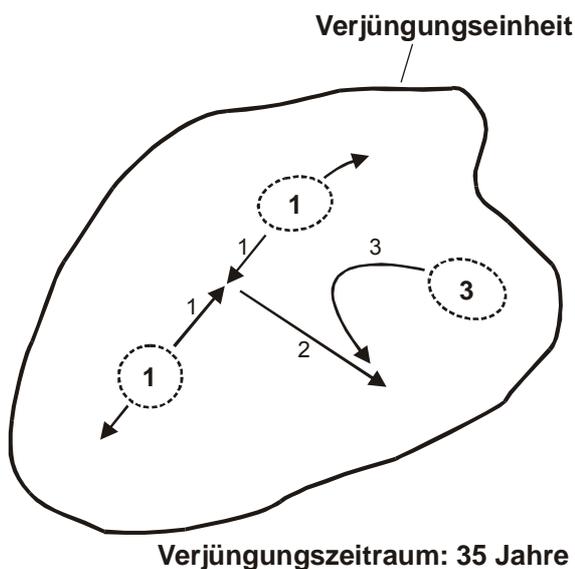
Das **Verjüngungsziel** bezieht sich meistens auf Verjüngungsteilflächen. Es beschreibt das anzustrebende Waldbild zum Zeitpunkt des Abschlusses der Verjüngung, d.h. im Prinzip zum Zeitpunkt des Jungwuchses (evt. Dickung bei längeren Verjüngungszeiträumen).

## 9.2 VERJÜNGUNGSMODALITÄTEN

Der Konzeption der Verjüngung geht eine gründliche Waldbauanalyse voraus. Dabei werden folgende Kriterien beachtet:

- Geländeform und Holzabfuhr. Bedeutung der Transportgrenze.
- Räumliche Ordnung
- Risikensystem (insbesondere Sturmgefährdung)
- Lokale Unterschiede im Ertragsvermögen. Dieser Punkt ist besonders wichtig, sowohl bei der Einleitung der Verjüngung, als auch für die Festlegung des Verjüngungsvorgehens (Entscheidung ob schnelles oder langsames Verjüngungstempo).

Die Entscheidung wird planungstechnisch in geeigneter Form festgehalten, so dass sie bis zum Abschluss der Verjüngung den Vollzugsverantwortlichen verfügbar ist. Sie schreibt nur den allgemeinen Vorgang vor in Form von Rahmenindikationen. Alles, was im Laufe des Verjüngungsvorgangs in Rücksicht auf die Entwicklung der Situation besser beurteilt werden kann, soll später entschieden werden. Dies gilt insbesondere für die Erweiterungsschritte der Verjüngung. Meistens ist die Absicht in Form einer Skizze des Verjüngungsablaufes festgehalten (siehe Abb. 9.3), mit Angabe der Verjüngungsrichtung und des -fortschritts, der Anzahl Initialisierungszentren, des Verjüngungstempos und der planungstechnisch sehr wichtigen Größe der speziellen und allgemeinen Verjüngungszeiträume.



**Abb. 9.3:** Skizze der Verjüngungsabsicht.

Bei einer solchen Waldbauanalyse ist zu beachten, dass eine Verjüngung am Anfang langsam fortschreitet. Bei der Erweiterung bzw. beim Zusammenschluss der Zentren nimmt das Verjüngungstempo entscheidend zu, bzw. die inneren Ränder sind wesentlich umfangreicher.

### 9.3 BIOLOGISCHE RATIONALISIERUNG

Kleinflächige dezentrale Verjüngung, wie sie in dieser Form der naturnahen Walderneuerung vorkommt, scheint sich nicht besonders für grosse technische Rationalisierung zu eignen, wenn Rationalisierung nur am Massen-Stück-System gemessen wird. Die Vorteile anderer Wirkung auf die Optimierung des Holzproduktionsprozesses sind aber bedeutsamer. Eine gut konzipierte Verjüngung ist aber nicht inkompatibel mit dem Einsatz moderner Erntetechnik (Vollernte). Bei guter Erschliessung und intelligent geplanter Feinerschliessung soll kein wesentliches Hindernis dazu bestehen. Der dezentrale Holzanfall kann unter Umständen Vorteile mit sich bringen, zB bezüglich Holzlagerung.

Die Vorteile einer solch feinen Verjüngung liegen auf einer anderen Ebene, nämlich bei der sog. biologischen Rationalisierung. Vom System her gesehen entstehen folgende ökonomische Vorteile:

- Weitgehende Verwendung des kostenlosen natürlichen Erneuerungspotentials,
- Weitgehende Möglichkeit, den Verjüngungsgang der bestmöglichen Ausschöpfung der Ertragsvermögensunterschiede anzupassen. D.h. eine optimale Wertschöpfung,
- Möglichkeiten, den Lichtungszuwachs auszuschöpfen bei der Wahl langsamer Verjüngungstempi,
- Die Wahl geeigneter Baumarten erlaubt eine bestmögliche Ausschöpfung der Wuchspotentiale des Standortes, in Rücksicht auch auf die Gewährung einer guten ökologischen Stabilität.

Dies sind nicht unterschätzbare ökonomische Vorteile eines solchen Systems, nebst allen anderen evidenten Vorteilen im Bereich Natürlichkeit, Ästhetik, Naturwerte usw.

Dennoch sind bisher nicht alle Möglichkeiten biologischer Rationalisierung ausgenützt, und weil heute die Diskrepanz zwischen Erlös aus dem Holzverkauf und Kosten immer grösser wird, lassen sich weitere Rationalisierungen überlegen:

- Gezieltere Nutzung der Wertträger und stehen- bzw. liegenlassen eines Teiles der nicht kostendeckenden nutzbaren Bäume, allenfalls unter Anwendung der Ringeltechnik zur Devitalisierung von ökonomisch uninteressanten Elementen.
- Gezieltes Liegenlassen von Schlagabraummaterial und anderen nicht kostendeckenden Bestandteilen (Ast- und Kronenmaterial), welche zum Teil die ordentliche Naturverjüngung nicht verhindern, sondern im Gegenteil allzu stammzahlreiche Verjüngung eingrenzen

---

## LITERATUR

---

- Abetz, P., 1980: Zum Konzept einer Z-Baum-orientierten Kontrollmethode. Allg. Forst. u. J.Ztg. 151, 4/5: 65-68.
- Abetz, P. 1993: Ein Plädoyer für den Z-Baum. Argumente gegen die Kritik an der Z-Baum-orientierten Auslesedurchforstung. Holz Zbl., 19, 12.1.1993: 305-310.
- Altherr, E., Unfried, P., 1984: Zur Wasserreiser-Entwicklung bei der BuchenLichtwuchsdurchforstung. Mitt. Forstl. Versuchs- u. Forschungsanst. Baden-Württ., Nr. 108: 59-65.
- Altherr, E., 1971: Wege zur Buchen-Starkholzproduktion. Ber. zur 15. Hauptversamml. d. Bad-Württ. Forstvereins: 123-127.
- Altherr, E., 1981: Erfahrungen bei der Anwendung quantifizierter Durchforstungshilfen in Buchen-beständen. Allg. ForstZ. 36: 552-554.
- Ammer, Chr., Dingel, C., 1997: Untersuchungen über den Einfluss starker Weichlaubholzkonzurrenz auf das Wachstum und die Qualität junger Stieleichen. Forstwiss. Cbl. 116: 346-357.
- Anders, S., 1974: Untersuchungen zur Klärung ökologischer Möglichkeiten und Grenzen der Fichtenverjüngung in den sächsisch-thüringischen Mittelgebirgen mit Hilfe von Pfadenkoeffizienten. Diss. Techn. Univ. Dresden. 161 S.
- Anderson, M.C., 1964: Studies of the woodland light climate. J. Ecol. 52: 27-41.
- Asker, S.D., Jerling, L., 1992: Apomixis in plants. CRC Press, Boca Raton & Ann Arbor & London & Tokyo. 298 S.
- Assmann, E., 1965: Der Zuwachs im Verjüngungsstadium. Cbl. ges. Forstwes. 82, 4: 193-217.
- Assmann, E., Franz, F., 1963: Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. Inst. f. Ertragsk. forstl. ForschAnst. München, München, 112 S.
- Aubréville, A., 1938: La forêt coloniale; Les forêts de l'Afrique Occidentale française. Sté. Ed. Géograph. Maritime, Paris, 244 S.
- Aussenac, G., 1970: Gelées tardives et jeunes peuplements forestiers. Rev. For. Fr. 22, 4: 463-469.
- Aussenac, G., 1973: Effet de conditions microclimatiques différentes sur la morphologie et la structure anatomique des aiguilles de quelques résineux. Ann. Sci. For. 30, 4:375-392
- Aussenac, G., 1975: Couverts forestiers et facteurs de climat: Leurs interactions, conséquences écophysiological chez quelques résineux. Thèse Univ. Nancy. 234 p.
- Aussenac, G., 1977: Influences du couvert forestier sur la croissance de quelques résineux dans le jeune âge. Can. J. For. Res. 7, 1: 8-18.
- Aussenac, G., 1996: Des interrelations entre climat et forêts au niveau local, régional ou planétaire. In: La gestion durable des forêts: contribution de la recherche. Les dossiers INRA; No 12, automne 1996: 8-12.
- Bachmann, P., 1990: Produktionssteigerung im Walde durch vermehrte Berücksichtigung des Wertzuwachses. Ber. Eidg. Forsch. Anst. WSL., Nr. 327, 73 S.
- Backman, G., 1942: Das Wachstum der Bäume. W'Roux Archiv f. Entwicklungsmechanik der Organismen 41: 455-499.
- Backman, G., 1943: Wachstum und Organische Zeit. Barth, Leipzig.
- Badan, R., Jeantet, G., 1975 : A propos de la croissance juvénile de l'épicéa et de son amélioration par voie de sélection. La forêt 28, 9 : 254-266.
- Bader, S., Kunz, P., 1998: Climat et risques naturels. La Suisse en mouvement. Rapp. Sci. Final Progr. Nat. Rech. 31, Geor & Vdf, Genève & Zürich, 312 S.
- Baridon, A., 1960: Prime notizioni per l'allevamento - Collocamento a dimora. Monti e Boschi 11, 7/8: 382-393.

- Baskin, J.M., Baskin, C.C., 1989: Physiology of dormancy and germination in relation to seed bank ecology. In: Ecology of soil seed banks. Leck M.A. & Parker V.T. & Simpson R.L. (eds). Acad. Press, San Diego & New York & Berkeley: 53-66.
- Bazzigher, G., Schmid, P., 1969: Sturmschäden und Fäule. Schweiz. Z. Forstwes. 120, 10: 521-534.
- Beck, O., Götttsche, D., 1976: Untersuchungen über das Kronenverhalten von Edellaubhölzern in Jungbeständen. Forstarchiv 47, 5: 89-91.
- Becker, M., 1979: Indice de climat lumineux combinant pente et exposition. Bull. Ecol. 10, 2: 125-137.
- Becker, M., 1982: Indice de climat lumineux combinant pente et exposition. Ann. Sci. For. 39, 1: 1-32.
- Beda, G., 1963: Arbeitstechnische Beiträge zur Aufforstung und Kulturpflege in der Kastanienzone des Tessins. Schw. Z. Forstwes. 114: 172-206.
- Beda, G., 1965: Zur Entwicklung der forstlichen Pflanztechnik in der Schweiz. Schweiz. Z. Forstwes. 116, 3: 212-234.
- Beda, G., 1968: Zur Frage des Pflanzabstandes und seiner Herleitung unter besonderer Berücksichtigung der Fichte. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes. 44, 1: 1-80.
- Behm, A., Konnert, M., 1999: Erhaltung forstlicher Genressourcen durch naturnahe Forstwirtschaft; eine reelle Chance? Mitt. Bundesforschungsanst. Forst.- Holzwirtschaft. 194: 215-239.
- Bibelriether, B., 1966: Die Bewurzelung einiger Baumarten in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften. Allg. ForstZ. 21: 808-815.
- Biber, P., 1996: Konstruktion eines einzelbaumorientierten Wachstumssimulators für Fichten-Buchen-Mischbestände im Solling. Ber. Forschungszentrum Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 142, Göttingen, 252 S.
- Binder, F., 1992: Aufforstung in Waldschadengebieten; Untersuchungen zur künstlichen Verjüngung von Beständen im Frankenwald, Fichtelgebirge und in den Bayerischen Kalkalpen. Forstl. Forschungsber. München 199/1992, 224 S.
- Blanckmeister, J., 1956: Die räumliche und zeitliche Ordnung im Walde des mitteleuropäischen Raum. Neumann, Radebeul. 145 S.
- Blandin, P., Lamotte, M., 1988: Recherche d'une entité écologique correspondant à l'étude des paysages; la notion d'éco-complexe. Bull. Ecol. 19: 547-555.
- Bont, A., 1993: Mechanische Brombeerbekämpfung bei der Jungwaldpflege. Schw. Z. Forstwes. 144, 2: 147-148.
- Bossel, F., 1980: Etude de l'évolution qualitative et quantitative de provenances d'épicéa jusqu'au stade du fourré. Recherche de critères précoces d'appréciation du comportement et de la réussite sylvicole. Possibilités d'une sélection massale à la plantation. Travail de diplôme, Chaire de sylviculture ETH-Z, Zürich.
- Bossema, I., 1979: Jays and oaks; an eco-ethological study of a symbiosis. Behaviour 70, Parts 1-2: 1-117.
- Bothe, G., 1972: Vorgabezeiten für Winkelpflanzung von Fichte (Lärche) sowie Buche und anderen Laubhölzern. Der Forst u. Holzwirt 27, 12: 270-272.
- Bouchon, J., Dhôte, J.-F., Lanier, L., 1989: Note sur la réaction individuelle du hêtre à différentes intensités d'éclaircie et à différents âges. Rev. For. Fr. 41, 1: 39-50.
- Braathe, P., 1989: Development of regeneration with different mixtures of conifers and broad leaves. In: Treatment of young forest stands. Proceedings IUFRO Meeting, S. 1.05-03, June, 19-23th, 1989, Dresden: 268-276.
- Brang, P., 1988: Decline of mountain pine (*Pinus mugo* ssp. *uncinata*) stands in the Swiss national park. A dendrochronological approach. Dendrochronologia. 6: 151-162.
- Brang, P., 1989: Untersuchungen zur Zerfallsdynamik in unberührten Bergföhrenwäldern im Schweizerischen Nationalpark. Schweiz. Z. Forstwes. 140: 155-162.
- Brang, P., 1996: Experimentelle Untersuchungen zur Ansamlungsökologie der Fichte im zwischenalpinen Gebirgswald. Diss. ETH-Z Nr. 11243. Beih. Schweiz. Z. Forstwes. Nr. 77, Zürich, 375 S.
- Brassel, P., Brändli, U.-B., 1999: Schweizerisches Landesforstinventar; Ergebnisse der

- Zweitaufnahme 1993-1995. Eidg. Forschungsanst. Wald Schnee u. Landsch., Birmensdorf, Haupt, Bern & Stuttgart & Wien, 442 S.
- Brown, J.S., Venable, D.L., 1986: Evolutionary ecology of seed-bank annuals in temporally varying environments. *Amer. Naturalist* 127: 31-47.
- Brüchert, F., Becker, G., 2000: Biegemechanische Eigenschaften von Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) bei unterschiedlichen Wuchsbedingungen; Grundlage zur Abschätzung der Stabilität von Bäumen gegenüber mechanischen Belastungen durch Sturm und Schnee. *Forstarchiv* 71:102-111
- Büren, S. v., 1998: Der Farbkern der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in der Schweiz nördlich der Alpen: Untersuchungen über die Verbreitung die Erkennung am stehenden Baum und die ökonomischen Auswirkungen. Diss. ETH-Zürich.
- Büren, S. v., 1998: Buchenrotkern; Erkennung, Verbreitung und wirtschaftliche Bedeutung. *Schweiz. Z. Forstwes.* 149: 955-970.
- Büren, S. v., 2002: Der Farbkern der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in der Schweiz nördlich der Alpen. Untersuchungen über die Verbreitung, die Erkennung am stehenden Baum und die ökonomischen Auswirkungen. *Beih. Schweiz. Z. Forstwes.* Nr 86, Zürich, 132 S. + Anh.
- Büttner, V., Leuschner, Ch., 1994: Spatial and temporal patterns of fine root abundance in a mixed-oak-beech forest. *Forest Ecol. Managem.* 70: 11-21.
- Burschel, P., Schmalz, J., 1965: Untersuchungen über die Bedeutung von Unkraut- und Altholzkonkurrenz für junge Buchen. *Forstwiss. Cbl.* 84: 230-243.
- Burschel, P., Binder, F., 1993: Bodenvegetation - Verjüngung - Waldschäden. *Allg. ForstZ.* 48, 5: 216-223.
- Burschel, P., El. Kateb, H., Bachmann, P., Hagenmüller, O. 1986: Waldschäden u. Bucheckernqualität. *Allg. Forstz.* 41: 700-702.
- Burschel, P., Huss, J., 1987: Grundriss des Waldbaus. *Parey Studentexte* 49, Parey, Hamburg & Berlin, 352 p. 2. Aufl. 1997, 488 S.
- Burschel, P., Huss, J., 1997: Grundriss des Waldbaus. 2. Aufl., Parey, Berlin, 487 S.
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), 1997: Kriterien und Indikatoren für eine nachhaltige Bewirtschaftung des Schweizer Waldes. Bern, 80 S.
- BUWAL & WSL, 2001: Lothar der Orkan 1999; Ereignisanalyse. Eidg. Forschungsanst. WSL und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (eds.) Birmensdorf & Bern, 365 p.
- Canham, C.D., Finzi, A.C., Pacala, S.W., Burbank, D.H., 1994: Causes and consequences of resource heterogeneity in forests: interspecific variation in light transmission by canopy trees. *Can. J. For. Res.* 24: 337-349.
- Cescatti, A., 1996: Selective cutting, radiative regime and natural regeneration in a mixed coniferous forest: a model analysis. In: Skovsgaard, and Johannsen (Editors) *Modelling regeneration success and early growth of forest stands. Proceeding IUFRO Conference held in Copenhagen, 10 - 13 June 1996.* Danish Forest and Landscape Research Institute, Horsholm. pp. 474-483
- Chazdon, R.L., 1988: Sucflecks and their importance to forest understorey plants. *Adv. Ecol. Res.* 18:1-63.
- Chollet, F., 1997: La régénération naturelle du hêtre. *Bull. Techn. ONF* No 32: 15-25.
- Chollet, F., Demarcq., Ph., 1998: Réaction des hêtraies de montagne aux éclaircies tardives. *Rev. For. Fr.* 50, 4: 349-355.
- Ciancio, O., Nocentini, S., 1995: Idéologies ou nouveau paradigme scientifique dans la gestion forestière? *Rev. For. Fr.* 47: 189-192.
- Clergeau, Ph., 1992: The effect of bird on seed germination of fleshy-fruited plants in temperate farmland. *Acta Oecologica* 13, 6: 679-686.
- Collet, C., 1994: Effet compétitif de deux graminées forestières sur des jeunes chênes sessiles en conditions contrôlées. Interaction avec une sécheresse édaphique. Thèse doctorat univ. Nancy I, INRA, Seichamps, 97 S.
- Coulon de, M., 1987: Pourquoi un beau paysage est-il beau?. *Essai sur l'esthétique du*

- paysage. Office fédéral des forêts et de la protection du paysage, Berne.
- Coutts, M.P., 1983: Root architecture and tree stability. *Plant and soil* 71:171-188.
- Crowe, S., 1966: Forestry in the Landscape. Forestry Comm. Booklet No 18, 31 S
- Crowe, S., 1968: La forêt dans le paysage. *Forêt-Loisirs et Equipement de Plein Air*, Nr 9, 1. Trimestre 1968: 3-23.
- Davis, M.B., 1976: Pleistocene biogeography of temperate deciduous forests. *Geoscience and Man* 13: 13-26.
- Demolis, C., François, D., Delannoy, L., 1997: Que sont devenues les plantations de feuillus par points d'appui? *Bull. Techn. ONF*, No 32: 22-37.
- Diaci, J., 1995: Experimentelle Felduntersuchungen zur Naturverjüngung künstlicher Fichtenwälder auf Tannen-Buchenwaldstandorten (Homogyno sylvestris-Fagetum) in den Savinja-Alpen (Slowenien) mit besonderer Berücksichtigung der Ansamlungsphase und unter dem Einfluss der Faktoren Licht, Vegetation, Humus und Kleinsäuger. Diss. ETH-Z, Zürich, 169 S.
- Diaci, J., 2002: Regeneration dynamics in a Norway spruce plantation on a silver fir-beech forest site in the Slovenian Alps. *For. Ecol. Managem.* 161: 27-38.
- Dippel, M., 1982: Auswertung eines NELDER-Pflanzverbandversuches mit Kiefer im Forstamt Walsrode. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 153: 137-154.
- Dittmar, O., 1991: Der Seebachsche Lichtungsbetrieb. Ein interessanter Aussenseiter der Buchenwirtschaft des 19. Jahrhunderts. *Der Wald* (Berlin), 41: 165-168.
- Dohrenbusch, A., 1990: Die Verjüngungsentwicklung der Buche (*Fagus silvatica* L.). Bericht einer langfristiger Beobachtung in Solling. *Schriftenr. d. forstl. Fak. Univ. Göttingen und d. niedersächs. Forstl. Versuchsanst.* 97, 70 S.
- Drescher, W., 1965: Aus der Bestands- und Ertragsgeschichte von Beständen des südlichen Hochschwarzwaldes. *SchrReihe Landesforstverw. Bad.-Württemberg* 19.
- Ducouso, A., Petit, R., 1994: Le geai des chênes; Premier reboiseur européen. *Forêt entreprise* 98, 5/6: 60-64.
- Dupré, S., Thiébaud, B., Teissier du Cros, E., 1986: Morphologie et architecture des jeunes hêtres (*Fagus silvatica* L.). Influence du milieu, variabilité génétique. *Ann. Sci. For.* 43, 1: 85-102.
- Dvořák, L., Bachmann, P., 2001: Sturmschäden in ungleichförmigen Beständen in Abhängigkeit vom Bestandaufbau. *Professur Forsteinrichtung und Waldwachstum ETHZ, Zürich*, 87 p.
- Edwards, N.T., Ross-Todd, B.M., 1983 : Soil carbon dynamics in a mixed deciduous forest following clear-cutting with and without residue removal. *J. Soil Sci. Soc. Amer.* 47 : 1014-1021
- Eiberle, K., Nigg, H., 1987: Grundlagen zur Beurteilung des Wildverbisses im Gebirgswald. *Schweiz. Z. Forstwes.* 138, 9: 747-785.
- Ellenberg, H., 1963: *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. Ulmer, Stuttgart, 943 S.
- Ellenberg, H., Klötzli, F., 1972: Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. *Mitt. Eidg. Anst. Forstl. Versuchswes.* 48, 4: 589-930.
- Erler, J., 1983: Einfluss von Weichhölzern in einem Douglasienjungwuchs. *Forst u. Holzwirt.* 38: 87-91.
- Fabjanowski, J., Jaworski, A., Musiel, W., 1974: [The use of certain morphological features of the fir (*Abies alba* Mill.) and spruce (*Picea abies* Link.) in the evaluation of the light requirements and quality of their up-growth] *Orig. Poln. Acta agraria et silvestris, Series silvestris* (Warschau & Krakau). 14: 3-29.
- Faust, H., 1948 : Untersuchungen von Forstschäden hinsichtlich der Windstruktur bei einer Bö. *Meteorol. Rundsch.* 1 : 290-297
- Fischer, A., 1987: Untersuchungen zur Populationsdynamik am Beginn von Sekundärsukzessionen; Die Bedeutung von Samenbank und Samenniederschlag für die Wiederbesiedlung freier Flächen in Wald- und Grünlandschaften. *Diss. Bot. Nr. 110, Cramer, Berlin & Stuttgart*, 234 S.

- Fischer, F., 1968: Grundsätze für die Wahl der Pflanzverbände. Schweiz. Z. Forstwes. 119: 402-407.
- Fischer, F., Beda, G., 1961: Zur Frage der künstlichen Bestandesbegründung unter besonderer Berücksichtigung der Ballenpflanzverfahren. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchswes. 37, 5 : 419-457.
- Fisher, R.F., Woods, R.A., Glavicus, R.M., 1978: Allelopathic effects of goldenrod and aster on young sugar maple. Can. J. For. Res. 8, 1: 1-9.
- Fisher, R.F., 1980: Allelopathy , a potential cause of regeneration failure. J. Forestry 78, 6: 346-350.
- Forbes, R.D., Meyer, A.B., 1956: Forestry Handbook. Ronald Press. New York, 1167 S.
- Fournier, D., 1996: Le traitement des graines d'arbres résineux. Arborecence 60 (janv./févr. 96): 10-12.
- Fraser, A.I., 1962 : The soil and roots as factors in tree stability. Forestry 35 : 117-127
- Fraser, A.I., Gardiner J.B.H., 1967 : Rooting and stability in sitka spruce. Forestry Commission Bull. No. 40
- Freist, H., 1962: Untersuchungen über den Lichtungszuwachs der Rotbuche und seine Ausnutzung im Forstbetrieb. Beih. Forstwiss. Cbl. 17, 78 S.
- Fürst, E., 1990: Plants et semences dans la nouvelle loi sur les forêts. Bulletins Off. Fed. Environ. Forêts et Paysages No 4/1990 : 38-44.
- Gayer, K., 1880: Der Waldbau. Wiegandt & Hempel & Parey, Berlin. 700 p.
- Gayer, K., 1886: Der gemischte Wald, seine Begründung und Pflege, insbesondere durch Horst- und Gruppenwirtschaft. Parey, Berlin. 168 p.
- George, L.O., Bazzaz, F.A., 1999: The fern understory as an ecological filter; emergence and establishment of canopy-tree seedlings. Ecology 80: 833-845.
- George, L.O., Bazzaz, F.A., 1999: The fern understory as an ecological filter; growth and survival of canopy-tree seedlings. Ecology 80: 846-856.
- Gerry, A.K., Wilson, S.D., 1995: The influence of initial size on the competitive responses of six plant species. Ecology 76, 1: 272-279.
- Gfeller, B., 1998: Weisses und verkerntes Buchenholz in der Holzwirtschaft. Schweiz. Z. Forstwes. 149, 12: 943-953.
- Graber, D., 1994: Die Fichtenkernfäule in der Nordschweiz: Schadenausmass, ökologische Zusammenhänge und waldbauliche Massnahmen. Schweiz. Z. Forstwes.145: 905-925.
- Graber, D., 1996: Die Kernfäuleschäden an Fichte (*Picea abies* Karst.) in der Schweiz nördlich der Alpen: Untersuchungen über das Schadenausmass, die ökologischen, waldbaulichen und mykologischen Einflussfaktoren sowie die ökonomischen Auswirkungen. Beih. Schweiz. Z. Forstwes. Nr. 79, Dr Thesis Nr. 11297, ETH-Zürich. 236 S. + Anh. p.
- Groot. A., Carlson, D.W., 1996: Influence of shelter on night temperatures, frost damage, and bud break of white spruce seedlings. Can. J. For. Res. 26: 1531-1538.
- Guerdat, R., 1997: Einbringung eines Vorwaldes aus wenig konkurrenzfähigen Pionierbaumarten mittels Saat oder Stecklinge : erste Erfahrungen und Ergebnisse. In : Tagungsber. Deutsch. Verb. Forstl. Forschungsanst., Sektion Waldbau, 10.12. Sep. 1997 in Arnsberg : 42-48.
- Guericke, M., 1997: Versuche zur Begründung von Eichenbeständen durch Nesterpflanzungen ; zweite erweiterte Auswertung. In : Jahrestag., Deutsch. Verb. Forstl. Forschungsanst., Sektion Waldbau, Schopfheim-Wiechs, 17.-19. Sept. 1996 :91- 101.
- Harris, L.D., 1984: The fragmented forest. The Univ. of Chicago Press, Chicago, 211 S.
- Heding, N., 1969: Stem-number reduction and diameter development in non-thinned Norway spruce stands with various spacings. Det forstl. Forsøgsvaesen i Danmark 32, 2: 191-243.
- Heinimann, H.-R., 1986: Seilkrahneinsatz in den Schweizer Alpen: Eine Untersuchung über die Geländebeziehungen, die Erschliessung und den Einsatz verschiedener Seilanlagen.

- Diss. ETH-Z, Nr 7929, Zürich, 169 S.
- Heydemann, B., 1982: Der Einfluss der Waldwirtschaft auf die Wald-Ökosysteme aus zoologischer Sicht. IN: Waldwirtschaft und Naturhaushalt. Ergebnisse eines Symposiums auf Schloss Mainau. Schriftenr. Deutsch. Rates Landespf. 40: 926-944.
- Hocevar, M., 1981 : Die optimale Pflanzzeit bei der grünen Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) in Abhängigkeit von Pflanzenzustand und Witterung. Mitt. Eidg. Anst. Forstl. Versuchswes. 57,2 : 83-186.
- Holbo, H.R., Corbett, T.C., Horton, P.J. 1978: Wind induces motions of individual Douglas-fir in stands. In: 5<sup>th</sup> National Conference on Fire and Forest Meteorology at Atlanta City. Amer. Meteorol. Society, Boston: 79-83.
- Horn, H. C., 1971: The adaptive geometry of trees. Princeton University Press, Princeton, 144 S.
- Höwecke, B., 1998: Untersuchungen zum Farbkern der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in Baden-Württemberg. Schweiz. Z. Forstwes. 149: 971-990.
- Höwecke, B., Mahler, G., 1991 : Untersuchungen zur Farbverkernung bei der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) in Baden-Württemberg. Teil I. Mitt. Forstl. Versuchs- ForschAnst Baden-Württ. (Heft 158) , pp. 1-106.
- Hütte, P., 1967: Die standörtlichen Voraussetzungen der Sturmschäden. Forstwiss. Cbl. 86: 276-295.
- Hutchinson, B.A., Matt, D.R., 1976: Beam enrichment of diffuse radiation in a deciduous forest. Agricultural Meteorology 17: 93-110.
- Hussendörfer, E., Schütz, J.-Ph., Scholz, F., 1996 : Genetische Untersuchungen zu phänotypischen Merkmalen an Buche (*Fagus sylvatica* L.). Schw. Z. Forstwes. 147, 10 : 785-802.
- Hussendörfer, E., 2001: Beitrag zum Thema: „Nachhaltigkeit genetischer Variation durch naturnahe Waldwirtschaft“; dargestellt am Beispiel der Weisstanne (*Abies alba* Mill.). Habilitationsschrift ETHZ, 135 S.
- In der Gand, H., 1978: Verteilung und Struktur der Schneedecke unter Nadelbäumen und im Hochwald. In: Proceedings IUFRO Seminar Mountain Forests and Avalanches, Davos: 97-119.
- Irrgang, S., 1990: Dynamik der Artstruktur sowie der Biomassenproduktion und -akkumulation in den ersten Jahren nach Kahlschlag. Arch. Naturschutz Landsch. Forschung 30, 4: 231-252.
- Irvine, M.R., Gardiner, B.A., Hill, M.K., 1997: The evolution of turbulence across a forest edge, boundary-layer. Meteorology 84: 467-496.
- Kaltenbrunner, A., 1993: Methodenbeitrag zur Ermittlung der Lawinenschutzfunktion subalpiner Wälder. Diplomarbeit ETH-Z, Abt. VI, Professur für Waldbau, Zürich (nicht veröffentl.).
- Kaufmann, E., 1999: In: Starkholz: Problem oder Chance? Eine Standortbestimmung. BUWAL Eidg. Forstdirektion, Bern, 109 S.
- Kazarjan, V. O. 1969. Le vieillissement des plantes supérieures. (traduction). Centre Nat. Rech. For., Champenoux. 228 p.
- Keller, F., 1990: Untersuchung zu den Grenzen und Möglichkeiten einer kleinflächigen Erziehung der Eiche im Hinblick auf die Qualitätsholzerzeugung. Diplomarbeit ETH-Z, Abt. Forstwissenschaften, Professur für Waldbau, Zürich, 36 S. (nicht veröffentl.)
- Kenk, G., 1985: Der Volumen- und Wertzuwachs im Stadium der natürlichen Verjüngung eines Kiefern-Tannenbestandes im Nordschwarzwald. Tagungsber. Jahrestag. Deutsch. Verb. forstl. Forschungsanst., Sekt. Ertragsk., in Kälberbronn, Kap. 2: 1-23.
- Kenk, G., 1988 : Der Volumen- und Wertzuwachs im Stadium der natürlichen Verjüngung eines Kiefern-Tannen-Bestandes durch den Schirmkeilschlag in Langenbrand/Nordschwarzwald. Allg. Forst.-u. J.-Ztg. 159, 8 : 154-164.

- Kenk, G., 1990: Fichtenbestände aus Weitverbänden, Entwicklungen und Folgerungen. Forstwiss. Cbl. 109: 86-100.
- Kenk, G., Guehne, S., 2001 : Management of transformation in central Europe. For. Ecol. Managem. 151 : 107-119.
- Klädtke, J., 1992: Konstruktion einer Z-Baum-Ertragstafel am Beispiel der Fichte. Diss. Uni. Freiburg i. Br. , 110 S.
- Klädtke, J., 1997: Buchen-Lichtwuchsdurchforstung. Allg. ForstZ. 52, 19: 1019-1023.
- Knoke, T., 2002: Eine Bewertung von Nutzungsstrategien für Buchenbestände (*Fagus sylvatica* L.) vor dem Hintergrund des Risikos der Farbkernbildung; eine waldbaulich-forstökonomische Studie. Habilitationsschr. Forstwiss. Zentrum Weißenstephan f. Ernähr. Landnutz. und Umwelt der Techn. Univ. München, München, 204 S.
- König, A., 1995: Sturmgefährdung von Beständen im Altersklassenwald ; Ein Erklärungsmodell. Sauerländer's, Frankfurt a.M., 194 p.
- König, E., 1976: Waldschadenprobleme bei der Waldverjüngung. Schweiz. Z. Forstwes. 127: 40-58.
- Korpel, S., 1982a: Erkenntnisse über Entwicklung und Struktur dynamik der Naturwälder in der Slowakei mit Bezug auf Waldbautechnik. Tidsk. Skogsbruk. 90: 87-94.
- Korpel, S., 1982b: Degree of equilibrium and dynamical changes of the forest on example of natural forests of Slovakia. Acta Facult. Forest. Zvolen. 24:9-31.
- Korpel, S., 1995: Die Urwälder der Westkarpaten. Fischer, Stuttgart/Jena /New York. 310 S.
- Köstler, J.N., 1961: Die Lenzburger Waldpflege. Forstwiss. Cbl. 80: 65-106.
- Kramer, H., 1975: Bestandesbegründung unter dem Aspekt der künftigen Durchforstung. Der Forst u. Holzwirt 30, 17: 324-330.
- Krecmer, V., 1966: Das Mikroklima der Kieferlockhahlschläge. Wetter und Leben 18: 133-141.
- Krecmer, V., 1967: Das Mikroklima der Kieferlockhahlschläge. Wetter und Leben 19: 107-115; 203-214.
- Krecmer, V., 1968: Das Mikroklima der Kieferlockhahlschläge. Wetter und Leben 20: 61-72.
- Kurth, A., 1946: Untersuchungen über Aufbau und Qualität von Buchendickungen. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchswes. 24, 2: 581- 658.
- Kwasnitschka, K., 1955: Die Entwicklungsdynamik der Mischbestände auf dem Buntsandstein des Ostschwarzwaldes. Forstwiss. Cbl. 74: 65-87.
- Landolt, E., 1977: Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Veröffentl. Geob. Inst. Eind. Techn. Hochschule, Stift. Rübel, 64, 208 S.
- Lauber, U., Rotach, P., Hussendörfer, E., 1997: Auswirkungen waldbaulicher Eingriffe auf die genetische Struktur eines Buchen-Jungbestandes (*Fagus sylvatica* L.). Schweiz. Z. Forstwes. 148, 11: 847-862.
- Leclerc, D., 1997: Le paillage en forêt. Bull. Techn. ONF, No 32: 39-46.
- Leck, M.A., Parker, V.T., Simpson, R.L., 1989: Ecology of soil seed banks. Academic Press, San Diego & New York, 462 S.
- Leder, B., 1992: Weichlaubhölzer; Verjüngungsökologie, Jugendwachstum und Bedeutung in Jungbeständen der Hauptbaumarten Buche und Eiche. Schriftenr. Landesanst. Forstw. Nordr.-Westf., Sonderband, Zimmermann, Balve, 413 S.
- Leder, B., 1995: Jugendwachstum und waldbauliche Behandlung von natürlich angesamten Weichlaubhölzern in Laubholzjungwüchsen. Schriftenr. Landesanst. f. Ökol. Bodenordnung u. Forsten Nordrhein-Westf.: 29-44.
- Leibundgut, H., 1945: Ueber die waldbauliche Behandlung der Eiche. Schweiz. Z. Forstwes. 96, 3: 49-58.
- Leibundgut, H., 1946: Femelschlag und Plenterung. Beitrag zur Festlegung waldbaulicher Begriffe. Schweiz. Z. Forstwes. 97: 306-317.
- Leibundgut, H., 1949: Grundzüge der Schweizerischen Waldbaulehre. Forstwiss. Cbl. 61, (5): 257-291.
- Leibundgut, H., 1965: Ergebnisse eines Eichenanbauversuches auf dem Hönningerberg. Schweiz. Z. Forstwes. 116, 11/12: 825-833.
- Leibundgut, H., 1973: Zum Begriff „Kahlschlag“. Schweiz. Z. Forstwes. 124, 3: 200-204.

- Leibundgut, H., 1978: Über die Dynamik europäischer Urwälder. Allg. ForstZ. 33: 686-690.
- Leibundgut, H., 1981: Die natürliche Waldverjüngung. Haupt, Bern, 107 S.
- Leibundgut, H., 1990: Waldbau als Naturschutz. Haupt, Stuttgart, Deutschland, 123 p.
- Liechti, T.J., 2000: Die Erneuerungsdynamik der Gehölzpflanzen im Waldrandbereich von Fichtenbeständen nach unterschiedlichen Eingriffen. Diplomarbeit Departement Forstwissenschaften ETH-Z, Professur für Waldbau. 74 S.
- Ljubic, F.P., 1954:[Interrelation of root system of individual plants of *Quercus robur* L. and other woody species in the "nest" method of establishing plantation] Orig. Russisch. Dokl. Akad. Nauk SSSR 97, 3: 535-538.
- Loycke, H.J., 1963: Die Technik der Forstkultur. Herausg.: Kuratorium f. Waldarbeit und Forsttechnik. BLV, München, 484 S.
- Loycke, H.J., 1964: Wege zur Rationalisierung der Jungwuchs- und Jungbestandespflege. Allg. ForstZ. 19, 31: 459-463.
- Lüpke, B., v., 1987: Einflüsse von Altholzüberschirmung und Bodenvegetation auf das Wachstum junger Buchen und Traubeneichen. Forstarchiv 58, 1: 18-24.
- Lüpke, B., v., 1991: Einfluss der Konkurrenz von Weichlaubhölzern auf das Wachstum junger Traubeneichen. Forst u. Holz 46: 166-171.
- Lüpke, B., v., Spellmann, H., 1997: Aspekte der Stabilität und des Wachstums von Mischbeständen aus Fichte und Buche als Grundlage für waldbauliche Entscheidungen. Forstarchiv 68: 167-179.
- Lüscher, F., 1990: Untersuchungen zur Höhenentwicklung der Fichtennaturverjüngung im inneralpinen Gebirgswald. Diss. ETH-Z Nr. 8879. Professur f. Waldbau ETH-Z, Zürich, 82 S.
- Mahrer, F., 1988: Schweizerisches Landesforstinventar; Ergebnisse der Erstaufnahme 1982-1986. Ber. Nr. 305, Eidg. Forschungsanst. Wald Schnee u. Landsch., Birmensdorf, 375 S.
- Marsch, M., 1989: Stabilisierung von Fichtenbeständen gegenüber Schnee und Sturm durch Dichteregulierung in der Jugend. In: Proceedings IUFRO Symposium: Treatment of young forest stands, Techn. Univ. Dresden: 96-119
- Mayer, H., 1985: Baumschwingungen und Sturmgefährdung des Waldes. Wiss. Mitt. Meteorolog. Inst. München, Nr 51, 247 S (Dissertation)
- Mayer, H., 1984: Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage. Fischer, Stuttgart und New-York, 514 S.
- Mayer, H., 1977: Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage. 1. Aufl., Fischer, Stuttgart, 4:35.
- Mayer, H., 1985: Baumschwingungen und Sturmgefährdung des Waldes. Wiss. Mitt. Meteorolog. Inst. München, Nr. 51 (Diss.), 247 S.
- Mayer, H., 1992: Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage. 4. Auflage. Fischer, Stuttgart und New-York, 522 S.
- Mayer, H., Neumann, M., Sommer, H.-G., 1980: Bestandaufbau und Verjüngungsdynamik unter dem Einfluss natürlicher Wilddichten im Kroatianischen Urwaldreservat Corkova Uvala/Plitvicer Seen. Schweiz. Z. Forstwes. 131: 45-70.
- Merkel, O., 1967: Der Einfluss des Baumabstandes auf die Aststärke der Fichte. Allg. Forst. u. J.-Ztg. 138, 6: 113-125.
- Miegroet, M., v., 1956: Untersuchungen über den Einfluss der waldbaulichen Behandlung und der Umweltfaktoren auf den Aufbau und die morphologischen Eigenschaften von Eschendickungen im schweizerischen Mittelland. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchswes. 32, 6: 229-370.
- Miegroet, M., v., Verhegghe, J.F., Lust, N., 1981: Trends of development in early stages of mixed natural regenerations of ash and sycamore. *Silva Gandavensis* 48: 1-29.
- Milne, R., 1991: Dynamica of swaying of *Picea sitchensis*. *Tree physiology* 9: 383-399.
- Mitscherlich, G., 1971: Wald, Wachstum und Umwelt. II. Waldklima und Wasserhaushalt. Sauerländer's, Frankfurt. 365 S.
- Mitscherlich, G., 1974: Sturmgefahr und Sturmsicherung. Schweiz. Z. Forstwes. 125, 4: 199-216.

- Mitscherlich G., 1981: Wald, Wachstum und Umwelt. Bd. 2: Waldklima und Wasserhaushalt. 2. Aufl.: Sauerländer's, Frankfurt a.M., 402 S.
- Möhring, B., 1981: Ueber den Zusammenhang zwischen Kronenform und Schneebruchanfälligkeit bei der Fichte. Forstarchiv 52, 4: 130-134.
- Mosandl, R., 1991: Die Steuerung von Waldökosystemen mit waldbaulichen Mitteln; dargestellt am Beispiel des Bergmischwaldes. Habil. Schrift. Forst. Fak. Univ. München. Mitt. Staatsforstverw. Bayerns, Nr. 46, 246 S.
- Mosandl, R., El Kateb, H., 1988: Die Verjüngung gemischter Bergwälder – Praktische Konsequenzen aus 10jähriger Untersuchungsarbeit. Forstwiss. Cbl. 107: 2-13.
- Mosandl, R., Kleinert, A., 1998: Development of oaks (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) emerged from bird-dispersed seeds under old-growth pine (*Pinus silvestris* L.) stands. Forest Ecol. Manag. 106: 35-44.
- Müldner, W., 1950: Die Windbruchschäden des 22.7.1948 in Reichswald bei Nürnberg ; ein Beispiel für ein Wirbelfeld als Teilerscheinung einer Böenfront. Ber. Deutsch. Wetter Dienst US-Zone 3, Nr. 19.
- Müller, Cl., 1992: Conservation des graines et les problèmes de levée de dormance chez les feuillus précieux. Rev. For. Fr. 44, No sp.: 34-46.
- Müller-Starck, G., 1993: Auswirkungen von Umweltbelastungen auf genetische Strukturen von Waldbeständen am Beispiel der Buche (*Fagus sylvatica* L.). Schrift. Forstl. Fak. Univ. Göttingen u. Niedersächs. Versuchsanst. Nr. 112, Sauerländer's, Frankfurt a. M. 163. S.
- Nadelhoffer, K.J., Raich, J.W., 1992: Fine root production estimates and belowground carbon allocation in forest ecosystems. J. Ecol. 73: 1139-1147.
- Nelder, J.A., 1962: New kinds of systematic designs for spacing experimenbts. Biometrics 18: 283- 307.
- Nikitin, I.N., 1952: [New Ideas in silviculture in the light of "Mitschurinist agrobiology"] Orig. Russisch. Lesn. Hoz. 5: 13-18.
- Nilsson, S.G., 1985: Ecological and evolutionary interactions between reproduction of beech (*Fagus sylvatica*) and seed eating animals. Oikos 44: 157-164.
- Noisette, M., 1928: Etude de peuplements feuillus pendant la période de végétation. Ann. Ecole Nat. Eaux et For. 2,2: 301-391.
- Nüsslein, S., 1999: Birken wirken wuchsfördernd. Allg. ForstZ. 54, 12: 615.
- Nys, C., Ranger, D., Ranger, J., 1983: Etude comparative de deux écosystèmes forestiers feuillus et résineux des Ardennes primaires françaises. III Minéralomasse et cycle biologique. Ann. Sci. For. 40, 1: 41-66.
- Oehler, H., 1967: Die Sturmgefährdung der Fichte. Allg. ForstZ. 22 : 312-313.
- Olberg, R., 1974: Wie reagieren Fichten-Kulturen auf Unkrautbekämpfung? Allg. Forst u. J.-Ztg. 145: 212-219.
- Olberg-Kallfass, R., 1979: Zur Reaktion von Fichten auf Unkrautbekämpfung in der Kultur. Allg. Forst u. J.-Ztg. 150: 191-195.
- Oldeman, R.A.A., 1983: Tropical rain forest, architecture, silvigenesis and diversity. In: Tropical rain forest; Ecology and managment. S.L. Sutton, T.C. Whitmore, A.C. Chadwick (eds.), Blackwell, Oxford: 139-150.
- Oldeman, R.A.A., 1990: Forests elements of silvology. Springer, Heidelberg, 626 S.
- Oldeman, R.A.A., 1991: Forest ressource utilisation. In: Forest a growing concern. J. Hummel & M. Parren (eds.), UCN, Gland: 27-32.
- Oliver, H.R., Mayhead, G.J., 1974: Windmeasurements in pine forests during a destructive gale. Forestry 47: 185-195.
- Omran, T.A., El-Sayed, A.B., Nasr, T.A., 1982: Antitranspirants on *Eucalyptus camaldulensis* transpiration, chlorophyll content and survival ,ercentat transplanting. Forstarchiv 53, 2: 57-60.
- ONF, 1997: La lumière et la forêt. Bull. Techn. ONF 34: 167 S.
- Oswald, H., 1981: Importance et périodicité des fainées. Influence des facteurs climatiques et sylvicoles. In: Le hêtre. E. Tessier du Cros (Ed.), Inst. Nat. Rech. Agronom., Paris, 613 S.

- Otto, H.J., 1996: Die Ausbreitung spontaner Verjüngung in den Wäldern des nordwestdeutschen Flachlandes während des letzten Vierteljahrhunderts; waldbauliche Chancen und Probleme. Forstarchiv 67: 236-246.
- Paar, U., Kirchoff, A., Westphal, J., Eichhorn, J., 2000: Fruktifikation der Buche in Hessen. Allg. ForstZ. 55, 25: 1362-1363.
- Pardé, J., 1981: De 1882 à 1976/80 les places d'expérience de sylviculture du hêtre en forêt domaniale de Haye. Rev. For. Fr. 33, N° spec.: 41-64.
- Perrin, R., 1981: De quoi souffre l'écorce du hêtre?. Schweiz. Z. Forstwes. 132: 1-16.
- Persson, P., 1975: Windthrow in forest: its causes and the effects of forestry measures. orig. Schwed.; Rapp. Upps. Inst. Skogsprod. 36, 294 S.
- Pfleidener, E.-H., 1998: Regionale Forstwirtschaft in globalen Märkten. In: Zukunftsfähige Forstwirtschaft im globalen Umfeld. Kongressber. 58. Jahrestag. Deutsch Forstverein e.V., Interforst, München: 29-53.
- Pintaric, K., 1978: Urwald Perucisa als natürliches Forschungslaboratorium. Allg. ForstZ. 33: 702-727.
- Piussi, P., 1994: Selvicoltura generale. Unione Tipografico Torinese, Torina, 421 S.
- Quine, C.P., Gardiner, B.A., 1998: Forest GALEs; a replacement for the windthrow hazard classification. Rep. For. Res. Forestry Comm., Edinburgh:26-31.
- Raunkiaer, C., 1934: The life forms of plants and statistical plant geography. Clarendon Press, Oxford, 1934, 632 S.
- Remmert, H., 1985: Was geschieht im Klimax Stadium? Ökologisches Gleichgewicht durch Mosaik aus desynchronen Zyklen. Naturwissenschaften 72: 505-512.
- Reh, J., 1993: Structure development and yield conditions of beech virgin forests in the Popricny mounts. In: Symposium über die Urwälder. Forstl. Fak. Techn. Univ. Zvolen, Zvolen: 23-25.
- Reissinger, G., 1962: Bohrhackenpflanzung contra Winkelpflanzung? Allg. ForstZ. 17, 41: 649-650.
- Roes, M., 1988: Trade-offs among dispersal strategies in British plants. Nature 366: 150-152.
- Rottmann, M., 1985: Schneebruchschäden in Nadelholzbeständen. Sauerländer's, Frankfurt, 159 S.
- Roussel, L., 1972: Photologie forestière. Masson, Paris, 144 S.
- Sagheb-Talebi, K., 1996: Quantitative und qualitative Merkmale von Buchenjungwüchsen (*Fagus sylvatica* L.) unter dem Einfluss des Lichtes und anderer Standortfaktoren. Beih. Schweiz. Z. Forstwes. Nr. 78, Zürich, 219 S.
- Sagheb-Talebi, K., 1996: Quantitative und qualitative Merkmale von Buchenjungwüchsen (*Fagus sylvatica* L.) unter dem Einfluss des Lichtes und anderer Standortfaktoren. Beih. Schweiz. Z. Forstwes. Nr. 78, Zürich, 219 S.
- Salisch, H., 1885: Forstästhetik. Springer, Berlin.
- Schädelin, W., 1928: Stand und Ziele des Waldbaues in der Schweiz. Z. Forstwes. 79: 119-139.
- Scherzinger, W., 1996: Naturschutz im Wald. Qualitätsziele einer dynamischen Waldentwicklung Ulmer, Stuttgart, Deutschland, 447 p.
- Schmerber, C., 1997: La lumière et la forêt. Bull. Techn. Office Nat. For. 34, 167 S.
- Schmid-Haas, P., 1994: Kronenverlichtung der Fichte als Indiz für mangelhafte Gesundheit und Stabilität Fäule in den Stützwurzeln als eine der Ursachen. Schweiz. Z. Forstwes. 145, 5 : 371-387.
- Schmid-Haas, P., Bachofen, H., 1991: Die Sturmgefährdung von Einzelbäumen und Beständen. Schweiz. Z. Forstwes. 142, 6: 477-504.
- Schmidt-Vogt, H., 1972: Qualitätsnormen für forstliches Vermehrungsgut zur EWG-Richtlinie vom 30.3.1971. Der Forst u. Holzwirt 27, 6: 117-120.
- Schönenberger, W., 1978: Oekologie der natürlichen Verjüngung von Fichte und Bergföhre in Lawenzügen der nördlichen Voralpen. Mitt. Eidg. Anst. Forstl. Versuchswes. 54, 3: 215-318.
- Schreiner, M., 2001: Vorkommen und Ausbreitung von Brombeeren sowie ihre Bedeutung für die Naturverjüngung von Tannen-Fichten-Wäldern; dargestellt am Beispiel der

- Region „Oberer Neckar“. Agrarforsch. In Baden-Württemberg, Bd. 31, Freiburg, 1999 S.
- Schrempf, W., 1986: Waldbauliche Untersuchungen im Fichten-Tannen-Buchen-Urwald Rothwald und in Urwald-Folgebeständen. Verl. Verbandwiss. Ges. Österr., Wien, 147 S.
- Schüepp, M., Bouët, M., Bider, M., Urfer, Ch. 1977: Regionale Klimabeschreibungen. 1. Teil. Beihefte zu den Ann. Schweiz. Meteorolog. Zentralanst. 245 S.
- Schütz, J.-Ph., 1969: Etude des phénomènes de la croissance en hauteur et en diamètre du sapin (*Abies alba* Mill.) et de l'épicéa (*Picea abies* Karst.) dans deux peuplements jardinés et une forêt vierge. Beih. z. Schweiz. Forstverein. Nr. 44, 115 p.
- Schütz, J.-Ph. 1990: Heutige Bedeutung und Charakterisierung des naturnahen Waldbaus Schweiz. Z. Forstwes. 141: 609-614.
- Schütz, J.-Ph., 1991: Lässt sich die Eiche in der Kleinlochstellung erziehen? Ein Beitrag zur Mischung von Lichtbaumarten. In: Ber. Jahrestag. Deutsch. Verb. Forstl. Forschungsanst., Sekt. Ertragsk., 13.-15. Mai 1991 in Treis-Karden (Mosel): 73-86.
- Schütz, J.-Ph. 1992: Die waldbaulichen Formen und die Grenzen der Plenterung mit Laubbaumarten. Schweiz. Z. Forstwes. 143: 442-460.
- Schütz, J.-Ph. 1994: Der naturnahe Waldbau Leibundgut's: Befreiung von Schemen und Berücksichtigung der Naturgesetze. Schweiz. Z. Forstwes. 145: 449-462.
- Schütz, J.-Ph. 1996: Bedeutung und Möglichkeiten der biologischen Rationalisierung im Forstbetrieb. Schweiz. Z. Forstwes. 147: 315-349
- Schütz, J.-Ph. 1997: Sylviculture 2 - La gestion des forêts irrégulières et mélangées. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 168 p.
- Schütz, J.-Ph., 1997b: La sylviculture proche de la nature face au conflit économie-écologie: panacée au illusion? Biotechnol. Agron. Soc. Environ (Gembloux), 1,4: 239-247.
- Schütz, J.-Ph., 1998a: Licht bis auf den Waldboden: Waldbauliche Möglichkeiten zur Optimierung des Lichteinfalls im Walde. Schw. Z. Forstwes. 149: 11.
- Schütz, J.-Ph., 1998b: Behandlungskonzepte der Buche aus heutiger Sicht. Schweiz. Z. Forstwes. 149, 12: 1005-1030.
- Schütz, J.-Ph., 1999a: Naturnaher Waldbau gestern, heute, morgen. Schweiz. Z. Forstwes. 150: 478-483.
- Schütz, J.-Ph., 1999b: Neue Waldbehandlungskonzepte in Zeiten der Mittelknappheit; Prinzipien einer biologisch rationellen und kostenbewussten Waldpflege. Schweiz. Z. Forstwes. 150: 451-459.
- Schütz, J.-Ph., 2001 : Opportunities and strategies of transforming regular forests to irregular forests. For. Ecol. Managem. 151 : 87-94.
- Schütz, J.-Ph., Badoux, E., 1979: Production de jeunes peuplements de chênes en relation avec la station. Mitt. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes. 55, 1: 5-141.
- Schütz, J.-Ph., Brang, P., 1995: L'horizontoscope: un étonnant outil pratique de sylviculture, notamment en haute montagne. Bull. techn. ONF, 28: 1-7.
- Schütz, J.-Ph., Barnola, P., 1996 : Importance de la qualité et de la détermination précoce dans un concept d'éducation du hêtre. Rev. For. Fr. 48, 5 : 417-430.
- Schütz, J.-Ph., Barnola, P., 1996: Importance de la qualité et de sa détermination précoce dans un concept d'éducation du hêtre. Rev. For. Fr. 48, 5: 417-430.
- Schütz, J.-Ph., Oldeman, R. A. A., 1996: Gestion durable par automation biologique des forêts, Rev. For. Fr. 48, No spécial: 65-74.
- Schütz, J.-Ph., Bucher, H.-U. : 1997 : Le SIS (système d'informations sylvicoles). Un outil pour le gestionnaire forestier. In : Outils de la planification forestière : Les logiciels de simulation et de planification forestières. Actes Journée technique de l'antenne romande du FNP, 30 nov. 1995, Lausanne : 23-40.
- Schuster, L., 1950: Über den Sammeltrieb des Eichelhähers (*Garrulus glandarius*). Vogelwelt 71: 9-17.

- Schweizer, J., Schneebeli, M., Fierz, C., Föhn, P.M.B., 1995: Snow mechanics and avalanche formation; Field experiments on the dynamic response of the snow cover. *Survey in Geophysics* 16: 621-633.
- Seeling, U., 1992: Abnorme Kernbildung bei Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) und ihr Einfluss auf holzbiologische und holztechnologische Kenngrößen. *Ber. Forschungszentrum Waldökosysteme, Reihe A, Nr. 77*, 167 S.
- Shaw, M.W., 1968: Factors affecting the natural regeneration of sessile oak (*Quercus petraea*) in north Wales. *J. Ecol.* 56: 647-660.
- Shigo, A.L., 1995: *Baum-Anatomie*. Thalacker, Braunschweig, 104 S.
- Shugart, H.H., 1984: A theory of forest dynamics; The ecological implications of forests succession models. Springer, Heidelberg, 278 S.
- Smith, H., Morgan, D.C., 1981 : The spectral characteristics of the visible radiation incident upon the surface of the earth. In : *Plants and the daylight spectrum*. Smith (Ed.). Academic Press, London: 3-20
- Spellmann, H., 1997: Ertragsentwicklung Im „LÖWE“-Wald der Niedersächsischen Landesforstverwaltung. *Forst u. Holz.* 52: 711-718.
- Spellmann, H., Nagel, J., 1992: 2. Auswertung des NELDER-Pflanzverbandversuches mit Kiefer im Forstamt Walsrode. *Allg. Forst.- u. J.-Ztg.* 163: 221-229.
- Sperber, G., Regehr, A., 1983: Vorratspflege in Unterfranken am Beispiel des Steigerwaldes. *Allg. Forst. Z.:* 1020-1024.
- Spiecker, H., 1986 : 110 jähriger Eichenbestand aus 5 x 2 Pflanzung. *Allg. ForstZ.* 41, 37 : 910.
- Stein, W.I., 1964: Seedspotting - Revival of an old technique. *Proceed. West. Reforestation Coord. Comm. (West. For. and Conserv. Assoc.)* Spokane.
- Stalder, D., Bründl, M., Schneebeli, M., Meyer-Grass, M., Flühler, H., 1998: Hydrologische Prozesse im subalpinen Wald im Winter. *Schlussber. Nat. Forsch. Progr.* 31, Vdf Hochschulverlag, Zürich, 145 S.
- Stokes, A., Fitter, A.H., Coutts, M.P., 1995: Responses of young trees to wind; effect on root growth. In: *Wind and Trees*. Coutts M.P., Grace J. (Eds.), Cambridge Univ. Press, Cambridge: 264-275.
- Straubinger, F., 1988: Untersuchungen zur ertragskundlichen Charakterisierung langfristiger Verjüngungsgänge in Buchen-Eichen-Kiefern-Mischbeständen des Forstamtes Ebrach und zu ihrer Erfassung durch Stichproben. *Schriftenr. Forstwiss. Fak. Univ. München und Bayer. Forstl. Versuchs. u. Forsch. Anst. Nr 91/1988*. 205 S.
- Strehlke, E.G., 1960: Kostensenkung durch billigere Kulturen. *Der Forst u. Holzwirt* 15: 61-64.
- Surber, E., 1954: Arbeitsverfahren im praktischen Forstgartenbetrieb. *Der prak. Forstwirt f. d. Schweiz.* 90, 2: 25-36.
- Surber, E., Ballenpflanzen - Ein Mittel zur Dehnung und Verlagerung der Pflanzzeit. *Der Prakt. Forstwirt f. d. Schweiz* 100, 4 : 117-125.
- Suszka, B., 1979: Seedling emergence of beech (*Fagus sylvatica*) seeds pretreated by chilling without medium at a controlled hydration level. *Arbor. Kornik* 24: 111-135.
- Suszka, B., Muller, Cl., Bonnet-Masimbert, M., 1994: Graines des feuillus forestiers de la récolte au semis. *Inst. Nat. Recherch. Agronom., Paris*, 292 S.
- Swank, W.T., Vose, J.M., 1994: Long-term hydrologic and stream chemistry responses of southern Appalachian catchments following conversion from mixed hardwoods to white pine. *Beiträge z. Hydrologie der Schweiz* 35: 164-172.
- Szeicz, G., 1974: Solar radiation for plant growth. *J. appl. Ecol.* 11: 617-635.
- Szymanski, S., 1986: Die Begründung von Eichenbeständen in "Nest-Kulturen". *Der Forst u. Holzwirt* 41: 3-7.
- Szymanski, S., 1994 : Ergebnisse zur Begründung von Eichenbeständen durch die Nestermethode. *Beitr. Forstwirtsch. U. Landschaftsökol.*, 28, 4 :160-164.
- Thiébaud, B., 1981: Formation des rameaux. In: *Le hêtre*. Teissier du Cros (Et), Dep. Rech. Forest. INRA, Paris, 613 S.
- Thormann, J.-J., 1997: Zur Methodik der Lichtmessung im Wald. *Intern. Ber. Prof. f. Waldbau, ETH Zürich*, 36 S.

- Tomialojc, L., Wesolowski, T. 1990: Bird communities of the primeval temperate forest of Bialowieza. in: Biogeography and ecology of forest bird communities. A. Keast (Editor), SPB Academic Publishing, The Hague NL.: 141-165.
- Tonne, F., 1951: Besonnung und Tageslicht. Ein neues Untersuchungsverfahren. Gesundheitsing. 72: 1 ff.
- Touzet, G., 1999: Foresterie politique et politiques forestières. Comptes Rendus Acad. Agric. Fr. 85: 89-96.
- Turcek, F.J., Kelso, L., 1968: Ecological aspects of food transportation and storage in the Corvidae. Communic. Behav. Biol., Part A, 1: 277-297.
- Valinger, E., Fridman, J., 1997: Modelling probability of snow and wind damage in Scots pine stands using tree characteristics. Forest Ecol. and Managem. 97: 215-222.
- Venable, D.L., Brown, J.S., 1988: The selective interactions of dispersal, dormancy and seed size as adaptations for reducing risk in variable environments. Amer. Naturalist. 131,3: 130 -
- Vögeli, H., 1961: Die Schattenerziehung der Föhre. Schweiz. Z. Forstwes. 112, 5/6: 350-363.
- Voss, A., Brandl, H., 1991: Untersuchungen zur Farbverkernung bei der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) in Baden-Württemberg. Teil II: Betriebswirtschaftliche Aspekte und Folgerungen zur Farbverkernung bei der Rotbuche in Baden-Württemberg. Mitt. Forstl. Versuchs- ForschAnst Baden-Württ. (Heft 158) , 92 p.
- Wagner, S., Röker, B., 1999: Birkenanflug in Eichenkulturen; Untersuchungen zur Dynamik der Konkurrenz über 7 Vegetationsperioden. In: Tagungsber. 13. Arbeitstagung Sekt. Waldbau im Deutsch. Verb. Forstl. Forschungsanst., 9.-11. Sept. 1998 in Eberswalde: 105-122.
- Watt, A.S., 1947: Pattern and process in the plant community. J. Ecology 13: 1-12.
- 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.
- Weilenmann, R., 1992: Gute Erfahrungen mit Schutzhüllen. Wald u. Holz 73, 4: 20-21.
- Wiens, J. A., 1995: Habitat fragmentation: island v landscape perspectives on bird conservation. Ibis. 137, suppl. 1: 97-104.
- Zimmerle, H., 1944: Erfahrungen mit dem v. Seebach'schen Lichtwuchsbetrieb in Württemberg. Allg. Forst u. J.-Ztg. 120: 29-48.