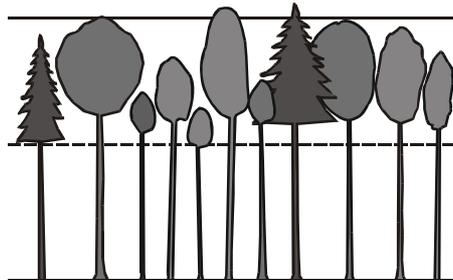


# Waldbau I

## Die Prinzipien der Waldnutzung und der Waldbehandlung

### Skript zur Vorlesung Waldbau I

J.-Ph. Schütz



Professur Waldbau, ETHZ  
ETH Zentrum  
8092 Zürich  
2003



---

# INHALTSVERZEICHNIS

---

<b>1. EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
1.1 Definitionen .....	1
1.2 Interessen bzw. Bedürfnisse.....	1
1.3 Ressourcen.....	2
1.4 Die Bezugsebenen (Skalen) .....	3
1.4.1 Der Bestand als Grundeinheit der waldbaulichen Behandlung .....	4
1.4.2 Integrationsebenen.....	4
1.5 Formen der Nutzungen .....	5
<b>2. ENTWICKLUNGS- UND BILDUNGSPROZESSE</b> .....	<b>7</b>
2.1 Die Formen der Waldentwicklung oder der Sylvigenese .....	7
2.2 Soziale Differenzierung.....	9
2.2.1 Kronenschluss und Beginn des Wettbewerbes .....	9
2.2.2 Klassifikation der sozialen Stellung nach Kraft.....	9
2.2.3 Umsetzungstendenzen der sozialen Stellung.....	12
2.2.4 Konsequenzen der sozialen Umsetzungen für den Waldbau.....	15
2.3 Morphogenese und Akquisition der Schaffform .....	16
2.3.1 Bedeutung der Schaftarchitektur für den Waldbau.....	16
2.3.2 Prozesse zur Bildung der Schaffform .....	18
2.3.3 Das Phänomen der Zwieselbildung .....	20
2.3.4 Dauerzwiesel oder vorübergehende Zwiesel.....	21
2.3.5 Einfluss des Faktors Licht auf die Form bei sympodisch neigenden Laubbaumarten.....	22
2.4 Die Astbildung, Astreinigung und Reiteration des Geästes .....	23
2.4.1 Die Astbildung und Reinigung .....	23
2.4.2 Die Reiteration oder Bildung einer sekundären Krone .....	25
2.4.3 Möglichkeiten der waldbaulichen Kontrolle der Klebastbildung.....	28
<b>3. DIE TYPOLOGIE: GRUNDLAGE DER WALDBAUANALYSE</b> .....	<b>32</b>
3.1 Grundeinheit und operative Einordnung .....	32
3.1.1 Typologische Kriterien .....	33
3.1.2 Grundformen.....	34
3.1.3 Entwicklungskriterien.....	35
3.1.4 Strukturkriterien .....	39
3.1.5 Die soziale Hierarchie oder soziale Stellung in gleichförmigen Beständen .....	40
3.1.6 Die Bestockungsdichte .....	40
3.1.7 Aggregationskriterien (sog. Textur der Bestockungen) .....	44
3.1.8 Weitere Eigenschaften.....	48
3.2 Die Bestandesbeschreibung .....	51
3.2.1 Für flächig verjüngte Bestockungen .....	51
3.2.2 Für ungleichförmige Bestockungen .....	54
3.3 Prinzipien der Waldbauanalyse .....	55
3.3.1 Ziele und Kombinationsformen .....	56
3.3.2 Prospektive retrospektive Betrachtung .....	58
3.2.4 Der Pflegezustand und seine Entwicklung .....	59
3.2.5 Beobachtung von Schäden und Krankheiten .....	59

<b>4. DIE NUTZUNGSPRINZIPIEN.....</b>	<b>61</b>
4.1 Übergeordnete Prinzipien für die Bewirtschaftung.....	61
4.1.1 Standortgerechte Baumartenwahl in passenden Mischungen.....	62
4.1.2 Diversität.....	63
4.1.3 Adaptabilität.....	66
4.1.4 Kostenbewusster und polyvalenter Waldbau.....	66
4.1.5 Wertschöpfung vs. Massenproduktion.....	67
4.1.6 Schlussfolgerungen: Eigenschaften eines polyvalenten Waldbaus.....	68
4.2 DIE PRODUKTIONSFAKTOREN.....	70
4.2.1 Zeit.....	70
4.2.2 Betriebssicherheit.....	75
4.3 Die Pflegeeffekte.....	87
4.3.1 Die Erziehung.....	88
4.3.2 Die Auslese.....	91
4.3.3 Die Stabilisierung.....	98
4.3.4 Die Wuchsförderung.....	98
4.4 Massnahmen der Pflegeeingriffe.....	98
<b>5. STEUERUNG DES WUCHSPROZESSES.....</b>	<b>101</b>
5.1 Photosyntheseapparat.....	101
5.1.1 Die allgemeine Form der Baumkronen und ihre Charakteristiken.....	101
5.1.2 Produktivität der verschiedenen Bestandteile der Krone.....	102
5.2 Die Durchforstung.....	106
5.2.1 Geschichtliche Entwicklung der Durchforstung.....	108
5.2.2 Wirkung der Baumentnahmen.....	114
5.2.3 Wirkung auf Bestandeszuwachs.....	119
5.2.4 Wirkung der Durchforstungen auf Stabilität.....	124
5.3 Optimierung der Standraumausnutzung.....	130
5.3.1 Die Risiken des Ausfalles bzw. des Ausscheidens (Nichtmehrtaugen) von Ausleseebäumen.....	130
5.3.2 Raumausnutzungsgeometrie.....	132
5.4 Perverse Wirkungen der Eingriffe.....	135
<b>6. PRODUKTIONSKONZEPTE.....</b>	<b>137</b>
6.1 Randbedingungen und Spielraum für die Pflegekonzepte.....	137
6.1.1 Erziehung in Waldkollektiven mit klarer Ablösung der Generationen.....	137
6.1.2 Andere pflegerische Grundformen.....	138
6.2 Phasen der Waldentwicklung und Steuerung der Produktion.....	141
6.3 Erziehungsphase oder Kompressionsphase.....	144
6.3.1 Charakteristiken der Dickungsstufe.....	144
6.3.2 Ziel der Dickungspflege.....	145
6.3.3 Kostenwirksamkeit: Biologisch optimal vs. kosteneffiziente und -bewusste Pflege.....	145
6.3.4 Spezielle Fragen bei der Dickungspflege.....	147
6.4 Phase der Auslese.....	151
6.4.1 Charakteristiken der Stangenholzstufe.....	151
6.4.2 Ziel der Auslese.....	151
6.4.3 Anzahl Ausleseebäume.....	152
6.4.4 Ausleseebäume und Wuchsregelungsprogramm: Synchronizität der Auslese und Wuchsregelungsmassnahmen.....	153
6.4.5 Wirkung von verzögerter Auslese.....	155
6.4.6 Bedeutung der situativen Eingriffsweise bei der Auslese.....	155
6.4.7 Bedeutung der Abstände zwischen Ausleseebäumen (Äquidistanz).....	156
6.5 Die Wuchsförderung.....	156

6.5.1	Konzepte der Produktionsregelung .....	156
6.5.2	Baumweise Reaktion auf Eingriffe.....	158
6.5.3	Kostenwirksamkeit und Maschineneinsatz .....	164
6.5.4	Folgewirkungen der Nutzungen.....	166
<b>7.</b>	<b>DIE WERTASTUNG.....</b>	<b>175</b>
7.1	Gründe für die künstliche Astung.....	175
7.2	Biologische und technische Grenzen der Wertastung .....	176
7.2.1	Die Art der Entfernung von abgestorbenen oder lebenden Ästen (Dürrastung oder Grünastung).....	176
7.2.2	Blattmassenverluste durch Grünastung.....	178
7.3	Optimale Wertastungskonzepte.....	181
7.4	Durchführung der Wertastung.....	183
7.4.1	Allgemeine Prinzipien .....	183
7.4.2	Werkzeuge und Maschinen .....	183
7.4.3	Die Abtrennung der Äste .....	186
7.4.4	Nachweis der Wertastung.....	186
<b>8.</b>	<b>ORGANISATION UND KONTROLLE DER WALDPFLEGE.....</b>	<b>188</b>
8.1	Grundsätze der Planung von waldbaulichen Eingriffen .....	188
8.2	Organisation der Arbeit .....	189
8.3	Kontrollen.....	190
	<b>LITERATUR .....</b>	<b>191</b>



---

# 1. EINLEITUNG

---

## 1.1 DEFINITIONEN

### Definition des Waldbaus

Es gibt viele und verschiedene Definitionen für den Waldbau, eine wissenschaftliche Disziplin, welche von einem Holzzackerbau im letzten Jahrhundert zu einer mehr die naturprozessorientierte Tätigkeit zur Steuerung des Naturgutes Wald weiterentwickelt wurde, im Sinne vom bekannten Aphorismus nach Bacon (1620) "Nature to be commanded must be obeyed" (Wer der Natur befehlen möchte, muss sich von ihr leiten lassen). Heute bekennen sich die meisten Waldbauströmungen zu diesem Bezug zu den Naturabläufen. Wir sprechen auch dann von einem **naturnahen Waldbau**.

Definition:

Waldbau ist die Kunst der Waldsteuerung in der gewünschten Richtung mit rechtzeitigen und rationellen Massnahmen, auf der Basis von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen, ohne dabei die natürlichen Produktionskräfte einzuschränken.

Die Hauptcharakteristiken des Systems, welches den Waldbau betrifft, sind die folgenden:

- Langlebigkeit des Produktionssystems
- Naturorientierte Prozesse
- Wilde Organismen mit vollständiger, ursprünglicher genetischer Struktur
- Mehrzwecknutzung

## 1.2 INTERESSEN BZW. BEDÜRFNISSE

Im Mittelalter war der Wald Gemeingut (Allmend) für die Erfüllung der wichtigsten Interessen: Ernährung und Wohnkomfort. Mit der Sesshaftigkeit der Landwirtschaft und der Ausscheidung von Eigentumsparzellen wurde die Bewirtschaftung des Waldes stark auf die Holzproduktion konzentriert, also in seiner Funktion als Produktionsstätte betrachtet. Mit der Entwicklung der modernen Gesellschaft sind immer mehr und neue Interessen und Bedürfnisse aufgetaucht, die sich auch immer mehr auf eine allgemeine gesellschaftliche Ebene beziehen. Wir bewegen uns nach Ciancio und Nocentini (1995) immer weiter in Richtung einer Kultur der Komplexität. Die Entwicklung ist nicht zu Ende. Mit dem Rio-Welt-Gipfel (1992) werden die globalen (landesüberschreitenden) Interessen wie der Schutz der Lebensgrundlagen (Klima, Luft, bzw. Arten und Lebensräume) immer wichtiger.

Es ist also notwendig, die Interessen auf die ihr zu Grunde liegenden Interessengruppen zu interpretieren, um die damit entstehenden potentiellen Konflikte korrekt zu analysieren, bzw. Lösungswege zu finden. Diese Interessenebenen sind in zunehmender Hierarchie:

- Eigentümer
- Gesellschaft (auf lokaler, regionaler, nationaler Ebene)
- Globale Interessengemeinschaft (übernationale Ebene)

Verschiedene soziologische Analysen zeigen, dass die Leute in der modernen, immer mehr urbanen Gesellschaft den Wald weniger als Produktionsstätte wahrnehmen, sondern vielmehr als Lebensraum im weiten Sinne des Wortes, d.h. für Erholung und die Erfüllung von ethischen, ästhetischen Werten (Wohlbefinden, Naturwerte, Ästhetik). Nach Barthod (1997) ist dieses Verhalten eine wichtige Komponente für den Waldbau, auch wenn die naturbezogenen Erwartungen der Stadtleute mehr phantasmiiert als gelebt werden. Peyron unterscheidet diese (noch) nicht vermarktbareren Leistungen einerseits in sog. Amenitäten (Erholung, Landschaftswerte) und andererseits in ökologischen Werten (Naturschutz, Biodiversität). Morgen vielleicht, insbesondere dank internationalem Druck, werden die grenzüberschreitenden Interessen (CO<sub>2</sub> Haushalt, Klima) noch stärker ausgedrückt.

### 1.3 RESSOURCEN

Die heute als Ressourcen bezeichneten nutzbaren Produkte und Leistungen aus dem Walde sind nicht nur Naturalien (Holz), sondern immer mehr schwierig quantifizierbare Leistungen (nicht vermarktbarere Produkte oder Imponderabilien). Weil der Wald zugleich Produktionsstätte und Lebensraum ist, werden die Probleme der Nutzung all der aus dieser Interessenvernetzung entstehenden Leistungen immer grösser.

Es gilt also, verschiedene sogenannte **Ressourcen** sinnvoll nutzbar zu machen in Rücksicht auf unterschiedliche Interessen. Es gilt auch, sie ökonomisch entsprechend zu veräussern. Die heute geltenden Ressourcen aus dem Walde sind die folgenden:

- Holz als Roh- Werk- und (wieder an Bedeutung zunehmendem) Brennstoff
- Wasser
- Luft
- Schutz
- Erholung
- Naturwerte
- Lebensgrundlage (CO<sub>2</sub> Klima)

Ziel des Waldbaus ist es, eine gerechte und optimale Bewirtschaftung aller Ressourcen zu erreichen.

#### Bedeutung der Ressourcen

Es ist nicht so einfach, hier eine Rangordnung der Bedeutung der verschiedenen Ressourcen vorzunehmen. Dann stellt sich die Frage, nach welchen Kriterien die Ansprüche zu bewerten sind: Nach individuellen oder kollektiven Interessen, nach ihrem sozialen oder ökonomischen Marktwert oder weiteren übergeordneten Interessen (staatliche, überstaatliche).

Aus der Sicht einer ökonomischen Wertung bringt praktisch nur den Verkauf von Naturalien (im wesentlichen Holz) Erträge, welche es erlauben, die betriebliche Organisationen zu ihrer Gewinnung zu finanzieren. Lange Zeit galt das Prinzip der sog. **Kielwassertheorie**, nach Rupf (1960), wonach die Erträge aus dem Holzverkauf die Erfüllung der weiteren Funktionen (Ressourcen) automatisch abgelden. Die Vertreter der übergeordneten neuen Interessen

bestreiten diese Kiehlwassertheorie, weil sie auch die Rangordnung, die Bedeutung und Hierarchie der Ressourcen z.T. sehr unterschiedlich bewerten. Die gerechte Abgeltung der noch nicht vermarktbareren Ressourcen ist aber damit noch nicht gelöst und insbesondere für die Privateigentümer nicht genügend honoriert. Das heisst, heute gelten noch (in Bezug auf die Vermarktung zumindest) die Grundsätze der Kiehlwassertheorie. Eine Lösung für die neuen Bedürfnisse auf dem Weg von Verboten (Gesetzeserlasse) befriedigt nicht.

Aus der Sicht des Verbrauches ist die Bewertung der Bedeutung der Ressource Holz relativ gut quantifizierbar. Unsere Wirtschaft verbraucht eine Holzmenge von ca. 6,2 Mio. m<sup>3</sup>, Rohholzäquivalente. Dies ist einer effektiven Eigengewinnung (d.h. Holz, welches auf den Holzmarkt gelangt) von ca. 4,7 Mio. m<sup>3</sup> gegenüberzustellen. Die effektiven Nutzungen im Schweizerwald entsprechen also rund 70% des Inlandverbrauchs. Betrachtet man Importe und Exporte, beträgt der Anteil des Schweizer Holzes am gesamten Holzverbrauch lediglich 40 %. Das Produktionspotential des Schweizerwaldes wird gemäss Landesforstinventar 1993-1995 auf 8,8 m<sup>3</sup> (9,8 mit Einwuchs) geschätzt. Die Ergebnisse des Landesforstinventars für die Periode 1986-1996 weisen Nutzungen von 7,1 m<sup>3</sup>/J. Weil davon nur 4,7 m<sup>3</sup> auf den Markt gelangen, bleibt der Unterschied offensichtlich im Wald liegen oder wird für den Eigengebrauch genutzt. Wie dem auch sei, es wird nur 72% des Zuwachses genutzt und somit steigen die Holzvorräte an.

Die andere Ressourcen sind wesentlich schwieriger zu quantifizieren, obwohl in letzter Zeit verschiedene Methoden dafür entwickelt wurden. Das BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) hat aufgrund der Arbeit von Rauch-Schwegler (1994) die folgende Einstufung der Hauptleistungen berechnet:

**Tabelle 1.1:** Verkaufswert oder Ersatzwert für Waldleistungen

Leistungsgruppe	Wert (1994) Milliarden Fr	%
Holzproduktion	0,45	5
Erholung	1,6 – 2	20
Schutz	3,9 – 4,9	45
Artenvielfalt	2,8	30
Wildbret	0,01	0

#### 1.4 DIE BEZUGSEBENEN (SKALEN)

Weil die verschiedenen Ressourcen sich auf unterschiedliche Ebenen beziehen, sind moderne Nutzungskonzepte auch auf unterschiedliche Skalen auszurichten, bzw. müssen diese entsprechend berücksichtigt werden. Grundsätzlich sind die folgenden Bezugsskalen oder Ebenen zu betrachten:

- operationelle Grundeinheit (Bestand) als Baustein für die waldbauliche Betrachtung
- Ökosysteme (ökologisch einheitliche Waldmassive)
- Landschaften (Landeskammern)
- Ökokomplexe

### 1.4.1 Der Bestand als Grundeinheit der waldbaulichen Behandlung

Der Wald ist nicht als blosses Zusammenraffen von Bäumen zu betrachten, sondern als Organismus (Möller, 1923) bzw. sozial organisiertes System von Bäumen und verschiedenen anderen Lebewesen, welche eine Lebensgemeinschaft (Biozönose) bilden mit verschiedenen Wechselwirkungen. Somit ist der Wald heute als Ökosystem einzusehen. Für den Waldbau gilt auch eine minimale Betrachtungsebene. Diese ist nicht der Baum, sondern ein Kollektiv mit einer bestimmten Grösse, gemessen am Kriterium einer einigermaßen selbständigen Waldentwicklung. Aus praktischen Gründen kann die minimale zu betrachtende Referenzfläche auf eine Grösse von einem halben Hektar (5'000 m<sup>2</sup>) angesetzt werden. Die minimale Bestandesfläche von einer halben Hektare ergibt sich, dass bei Erreichen der Hiebsreife das Baumkollektiv, eine Kreisfläche mit einem Durchmesser von mindestens zwei Baumhöhen entspricht. Für die maximale Ausdehnung eines Bestandes gibt es hingegen keine Begrenzung im Sinne einer zahlenmässig definierten Maximalfläche. Jedoch sollte aus praktischen Gründen der Bestand nicht grösser sein als eine Fläche eines normalen Holzschlages (5 -10 ha). Dies entspricht der Grössenordnung einer Abteilung.

Die Grundeinheit der Waldbetrachtung und somit elementarste Einheit des waldbaulichen Handelns (oder auch operationelle Einheit), wird als **der Bestand** definiert.

**Definition:** Unter einem **Bestand** verstehen wir einen zusammenhängenden Waldteil mit einer Ausdehnung von mindestens einer halben Hektare, der sich von seinen benachbarten Waldpartien durch sein Alter, seine Baumartenzusammensetzung oder seine Struktur unterscheidet. Seine flächenmässige Ausdehnung ist genügend gross, um eine **selbständige, langfristige waldbauliche Zielsetzung bzw. Behandlung** zu ermöglichen.

### Konzept der Einmaligkeit der Bestände

Jeder Bestand soll als einzigartig in Zeit und Raum betrachtet werden. Um dies hervorzuheben, gilt eine in der Waldbauanalyse wie ein Leitmotiv immer wieder vorkommende Maxime, nämlich „jeder Bestand ist etwas Einziges und Einmaliges“ - und muss deshalb auch als solches angesehen und studiert werden. Diese Eigenartigkeit und Selbständigkeit des Bestandes verstehen wir als **Konzept der Einmaligkeit** der Waldbaeinheiten.

### 1.4.2 Integriationsebenen

Heute, wo der Wald nicht nur als Produktionsstätte, sondern auch als Lebensraum und Landschaftsteil betrachtet wird, ist es notwendig, die Möglichkeiten der Ressourcennutzung aus dem Wald unter verschiedenen räumlichen Massstäben zu betrachten. Die für die Waldentwicklung festgestellten Grundeinheiten (die Bestände) können wie Bausteine in übergeordnete Gebilde integriert werden. Diese sind je nach Zweck: Waldbetriebe (für die Produktion oder entsprechend der Eigentumsgrenzen), Waldkomplexe, Landschaften, Einzugsgebiete, sowie übergeordnete Gebilde (z.B. Ökokomplexe, Biome).

Die komplexe Integration aller Funktionen und Bedürfnisse in den unterschiedlichen Ebenen im Sinne von integrierten mehrfachen Nutzungskonzepten wird heute als **Ökosystemmanagement** verstanden.

## 1.5 FORMEN DER NUTZUNGEN

### Segregierung der Funktionen vs. Mehrzwecknutzung

Wie aus der historischen Entwicklung ersichtlich ist, hat sich die Nutzung der Ressourcen aus dem Walde im Laufe der Zeit wesentlich verändert. Im primitiven Sinne, nämlich der reinen Sammelwirtschaft von Holz, besteht die Waldpflege in einer elementarsten, einfachsten Form praktisch nur, um die Begründung einer Bestockung zu sichern, um sie ohne weitere Eingriffe bis zu ihrer Ernte wachsen zu lassen.

In der Zeit des Aufbaus einer modernen Forstwirtschaft (etwa ab der Mitte des 18. Jahrhunderts), wurde der Wald als reservierte Domäne der Holzproduktion betrachtet. Mittlerweile gilt das waldbaulich anspruchsvollere Ziel, herauszufinden, wie, auf einem vorgegebenen Standort die verschiedenen unterschiedlich ausgewogenen Waldfunktionen gleichzeitig erfüllt werden können. Dazu muss der Wald gleichzeitig verschiedene Leistungen erbringen, die unter gegenseitigen vernünftigen Kompromissen aufeinander abgestimmt werden müssen. Um zu diesem Ziel zu gelangen, wird ein optimaler Einsatz von verschiedenen biologischen und technischen Massnahmen unter Berücksichtigung ihrer Wirksamkeit verlangt. Immerhin, je nach Fall und je nach Wichtigkeit und Hierarchie der verschiedenen Waldfunktionen, sollen die waldbaulichen Pflegemassnahmen nuanciert ausfallen. Wenn eine Funktion ausnahmsweise stark dominiert, ist es also angebracht, spezifische Abstimmungen der Pflegeeingriffe zu definieren.

Seit Schädelin (1938) verfolgte der Schweizerische Waldbau das Ziel einer möglichst hohen Wertschöpfung ohne Verzicht auf andere Funktionen und insbesondere auf die Natürlichkeit (bzw. Naturnähe) des Produktionssystems. Dieses **Grundmodell eines naturnahen Qualitätswaldbaus**. Seit Jahrzehnten wird also eine kombinierte Nutzung aller wichtigen Funktionen (Ressourcen) angestrebt. Heute ist das Prinzip der **Multifunktionalität** sehr breit anerkannt.

### Veränderung der Bedürfnisse

Niemand ist heute in der Lage, sicher vorherzusagen, wie sich in Zukunft die an den Wald gestellten Bedürfnisse entwickeln werden und welche Sortimente z.B. in hundert Jahren gefragt bzw. honoriert sein werden. Die Erfolgsaussichten am Ende der Produktionszeit der heute vorherbestimmten Sortimente sind deshalb unsicher. Die Rechtfertigung der heute für die Waldpflege eingesetzten Mittel kann und darf sich deshalb nicht allein nur auf den wirtschaftlichen Wert der produzierten Sortimente am Ende der Umtriebszeit beziehen. Das finanzielle Risiko ist umso grösser, je mehr Mittel heute für die Waldpflege eingesetzt werden.

Die Forstgeschichte und die Entwicklung der Holzwirtschaft zeigen uns aber, dass sich Substitutionen von Holzprodukten stets v.a. auf die minderwertigen Massensortimente ausgewirkt haben. Demgegenüber haben die besten Sortimente aufgrund ihrer technologischen Vorteile und ihrer relativen Seltenheit immer einen interessanten Absatzmarkt gefunden. Dieser Absatzmarkt war nicht immer derjenige, den man ursprünglich angenommen hatte. In diesem Zusammenhang wird gerne das klassische folgende Beispiel aus Frankreich erwähnt: Es handelt sich um die qualitativ hochwertigen Eichenbestände, welche im 17. Jahrhundert auf Weisungen von Colbert (Minister des französischen Königs Ludwig der XIV) angelegt wurden, um die zukünftige Holznachfrage der französischen Kriegsmarine zu stillen. Heute werden diese Bestände zu ganz anderen Zwecken, nämlich v.a. zur Produktion von hochwertigen Furnieren geerntet. Dabei ist der heutige Profit aber mindestens so hoch wie der ursprünglich erhoffte. Ferner stärkt uns auch das abnehmende Interesse für Tropenhölzer in der

Überzeugung, dass die Produktion von qualitativen hochwertigen Sortimenten unserer vielfältigen einheimischen Holzarten eine Zukunft haben muss.

Die verschiedenen Arten der Pflegemassnahmen lassen sich sinnvollerweise nur so weit, wie man auch die übergeordneten Ziele kennt, definieren. Weil sich nur im Falle einer hohen Wertschöpfung kostspielige Waldbaumassnahmen rechtfertigen und für andere Funktionen unter Umständen die Minimierung der Waldbaumassnahmen denkbar ist, ist eine Diskussion der Art der Produktion, bzw. deren Kombination, gerechtfertigt.

Im Abschnitt 5.1 wird auf die teilweise grundlegende Infragestellung bzw. Änderungen der Produktionskonzepte eingegangen.

Bezüglich Produktionsziel, ob wir die Produktion von Massenware oder einer hohen Wertschöpfung anstreben wollen, hat z.T. völlig andere Konsequenzen für die Waldbaukonzepte zur Folge. Massenleistung ist grundsätzlich das, was die Natur selbst liefert. Weil der Produktionsfaktor Zeit nichts kostet, wenn wir keine Investition in die Produktion einspeisen, beruht das billigste Holzproduktionsverfahren in der Realisierung der Endnutzung eines selbstgewachsenen Waldes. Um nur Massenprodukte zu erzeugen, drängt sich heute eine Minimalisierung der produktionsfördernden Mittel auf, wie z.B. die Durchforstung. Erzielung von Massenprodukten geht also nach dem Prinzip der Produktionskostenminimierung. Hingegen fundiert das Erreichen einer hoher Wertschöpfung auf dem optimalen Verhältnis zwischen Produktionskosten und Holzwertvermehrung.

### **Vom naturnahen Qualitätswaldbau zu einer polyvalenten naturopportunen Mehrzwecknutzung**

Weil die Ökonomie sich je länger je mehr nach den Prinzipien der Kausalität verändern soll, d.h. unter Berücksichtigung der Verpflichtung für Folgewirkungen aus der Gewinnung der Ressourcen (Schelbert, 1996), und dies sowohl in ökologischer wie in sozialer Hinsicht, dürfen weder Ökologie noch Ökonomie die Nutzungskonzepte zu einseitig prägen. Es geht also bei den heutigen Nutzungen der Waldressourcen darum, eine Multifunktionalität anzustreben, die unter gleichzeitiger Bewahrung der Interessen (bzw. der Rechte) der Eigentümer, sozial und ökologisch gerecht und tragbar ist.

Somit lässt sich die Weiterentwicklung des Waldbaus in einem Feld von drei Grössen oder wichtigen Einflussfaktoren richtig verstehen, nämlich der Naturnähe, der Vielfalt (der Strukturen und Arten) und der sog. Hemerobie nach Scherzinger, (1996) oder des Grades der menschlichen Beeinflussung.

---

## 2. ENTWICKLUNGS- UND BILDUNGSPROZESSE

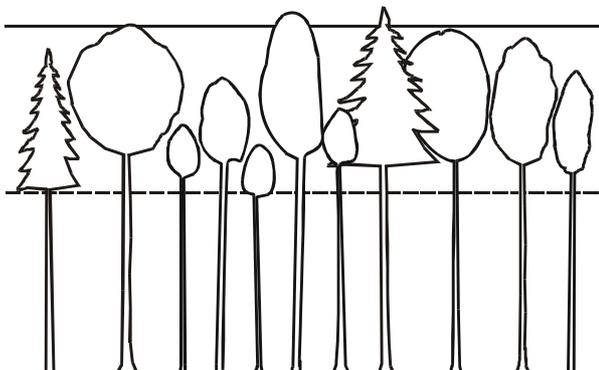
---

### 2.1 DIE FORMEN DER WALDENTWICKLUNG ODER DER SYLVIGENESE

Wie auch im Naturwald vorkommend, kennt der Waldbau hauptsächlich zwei Grundformen der Sylvigenese (natürliche Waldentwicklung), gekennzeichnet im grossen und ganzen durch die Art und Weise der Erneuerung bei der Ablösung der Generation sowie der Form der Erziehung nämlich:

Die spontane kontinuierliche Erneuerung und Verselbständigung der Produktion, wie sie im perfekten ungleichförmigen Wald oder **Plenterwald** erscheint, d.h. in einem Wald ohne nennenswerte Unterbrechung des Waldgefüges. Diese Formen mit vertikalem Mischungsprinzip, nämlich Plenterung, Mittelwaldbetrieb und lichter Hochwald werden im Skript „Die Plenterung und ihre unterschiedliche Formen“ behandelt. Im Fall des Plenterwaldes ermöglicht eine innige Mischung aller Baumalter, dass die gesamte Sylvigenese im Schutz der ältesten Bäume abläuft. Durch ein harmonisches Nebeneinander bilden diese Bäume den Überbau, unter dem sich die jüngsten entwickeln können. Die Struktur ist so zusammengesetzt, dass sie eine kontinuierliche Erneuerung in einem demographisch autarken Verhältnis erlaubt und dadurch die Nachhaltigkeit sicherstellt

Die Walderneuerung **mit klarer Ablösung der Generationen** und Erziehung im Rahmen eines **Kollektivs** (wie z.B. im Femelschlagsystem) ist Inhalt dieses Skriptes (siehe Abb. 2.1). Im gleichförmigen Hochwald spielt der Wettbewerb in der kompakten Schicht der Kronen eine entscheidende Rolle. Die Bestockung bildet einen mehr oder weniger homogenen Gebilde aus dicht gedrängten und horizontal angeordneten Kronen. Da der Kronenraum des Einzelbaumes mit der Baumhöhe exponentiell zunimmt, ist die Konkurrenz umso ausgeprägter, je schneller das Wachstum und je dichter und lichtundurchlässiger die Kronen sind. In Beständen, die von Natur aus oder anthropogen bedingt nur aus einer Baumart bestehen, ist diese Konkurrenzsituation besonders gut sichtbar. Die Kronen befinden sich alle auf derselben Höhe, so dass der Kampf um Raum für die Entwicklung in einem sehr beschränkten Höhenbereich stattfindet.



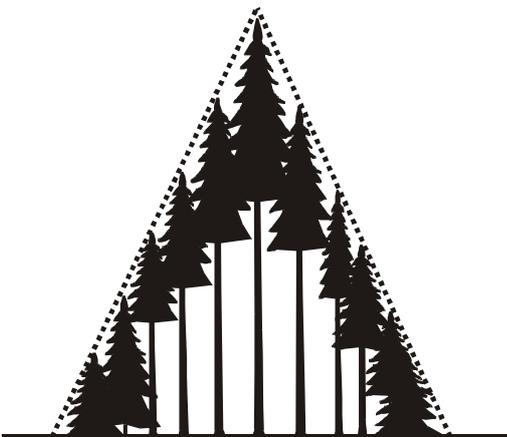
**Abb. 2.1 :** Der Waldentwicklungstyp der flächenweisen Ablösung der Generationen. Hier kommt eine Form des Wettbewerbes im Schosse der Wettbewerbsgemeinschaft zustande, im Rahmen geschichteter, gleichförmiger Kronenstrukturen, und hier gilt die kollektive Erziehung.

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

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

### **Weitere Form der Sylvigenese im Hochgebirgswald: Bildung von Kampfgemeinschaften oder Rotte**

Als besondere weitere Form der Sylvigenese gilt für die subalpinen Wälder (etwa ab 1500 m Meereshöhe) eine Strukturierung in natürlicher Kampfgemeinschaft der Kleinkollektive oder sog. Rotte (Kuoch et al., 1970; Kuoch, 1972). Sie bewirken Selbstschutz und weisen einen gemeinsamen Kronenmantel auf (siehe Abb. 2.2). Auch wenn diese Rotten mit der Zeit zusammenwachsen, ist diese ursprüngliche Strukturierung in Kleinkollektiven auch in ausgewachsenen Bestockungen oftmals erkennbar. Die Rottenstruktur kommt aber nicht überall zustande, sondern nur dort, wo die äussere Einwirkung auf den Wald ausgeprägt ist.



**Abb. 2.2:** Spezieller Waldentwicklungstyp in Kampfkollektiven (Rotten) im Hochgebirgswald (subalpin).

## 2.2 SOZIALE DIFFERENZIERUNG

### 2.2.1 Kronenschluss und Beginn des Wettbewerbes

In der Regel bilden die Bäume eine kompakte Kronenschicht während der Dickungsphase. Der sog. **Kronenschluss** wird dann erreicht. Er stellt ein entscheidendes Ereignis dar, da er den Beginn des kollektiven Lebens einerseits, aber auch den **Beginn des Wettbewerbes** im Kronenbereich andererseits anzeigt. Mit zunehmenden Höhen brauchen die Bäume immer grössere Kronen und entsprechende Standräume. Bis zum Zeitpunkt des Kronenkontaktes müssen sich die Jungbäume einer Pflanzung lediglich gegen die Konkurrenz der Schlagflora durchsetzen. Sie konzentrieren ihre Kräfte auf die Entwicklung ihres Wurzelsystems. Das Erreichen des Kronenschlusses ist als eher günstig als nachteilig zu betrachten. Mit der Entstehung eines geschlossenen Kronenschirmes wird verhindert, dass die Sonnenstrahlung direkt auf den Boden gelangt, und es wird ein Mikroklima geschaffen, das eine auf die Pflanzen und die biologische Aktivität günstig wirkende Luftfeuchtigkeit erzeugt. Zahlreiche Beobachtungen zeigen, dass die Jungbäume nach Erreichen des Kronenschlusses schneller wachsen als breitständige vergleichbare Pflanzungen.

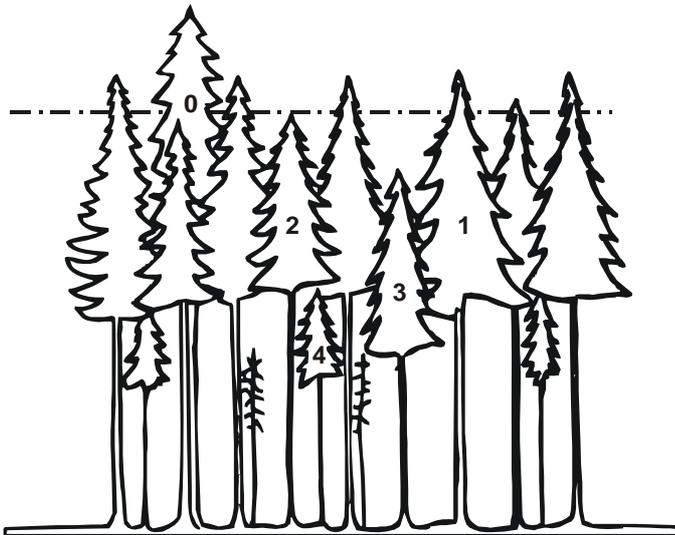
Mit dem Kronenschluss beginnt aber der Wettbewerb zwischen den Individuen. Er nimmt umso stärker zu, je schneller der Höhenzuwachs ist. Der Wettbewerb ist am stärksten, wenn der Höhenzuwachs kulminiert, was in etwa in der Entwicklungsstufe des Stangenholzes der Fall ist. Der Wettbewerb und allenfalls genetisch bedingte Wuchsunterschiede führen zu einer **sozialen Differenzierung** innerhalb des Kollektives. Sie fällt umso ausgeprägter aus, je stärker der Wettbewerb ist und je länger dieser schon andauert. Diejenigen Individuen, die schon zu Beginn der einsetzenden Konkurrenz eine deutlich herrschende soziale Stellung haben, belegen auch die besseren Plätze im ungleichen Kampf um das Licht. Sie haben auch grössere Chancen, herrschend zu bleiben. Sie verhindern damit, dass die weniger begünstigten Konkurrenten sie einholen können. Die herrschenden Bäume müssen aber hinsichtlich ihrer Stamm- und Holzqualität nicht gezwungenermassen die bestveranlagten sein. Möglicherweise gilt das auch für die potentielle Wuchsleistung (Delvaux, 1981).

### 2.2.2 Klassifikation der sozialen Stellung nach Kraft

Im Kollektiv mit horizontalem Schluss bilden die Kronen eine oder mehrere deutlich erkennbare Schichten aus, welche jedoch normalerweise nie absolut homogen sind. Kleine Wuchsunterschiede von einigen Dezimetern verleihen den Individuen verschiedene Stellungen im Kampf um das Licht. Die Unterschiede sind um so ausgeprägter, je dichter die Bestände sind und je länger die Bestände schon im Dichtstand stehen.

Die **soziale Stellung** innerhalb derselben Schicht bestimmt die Entwicklungschancen der Individuen. Sie spielt somit eine bedeutende Rolle im Waldbau. Um die individuellen Entwicklungschancen in einem gleichförmigen Bestand charakterisieren zu können, definiert man die soziale Stellung der Bäume nach einer Klassifikation, wie sie von Kraft (1884) vorgeschlagen wurde:

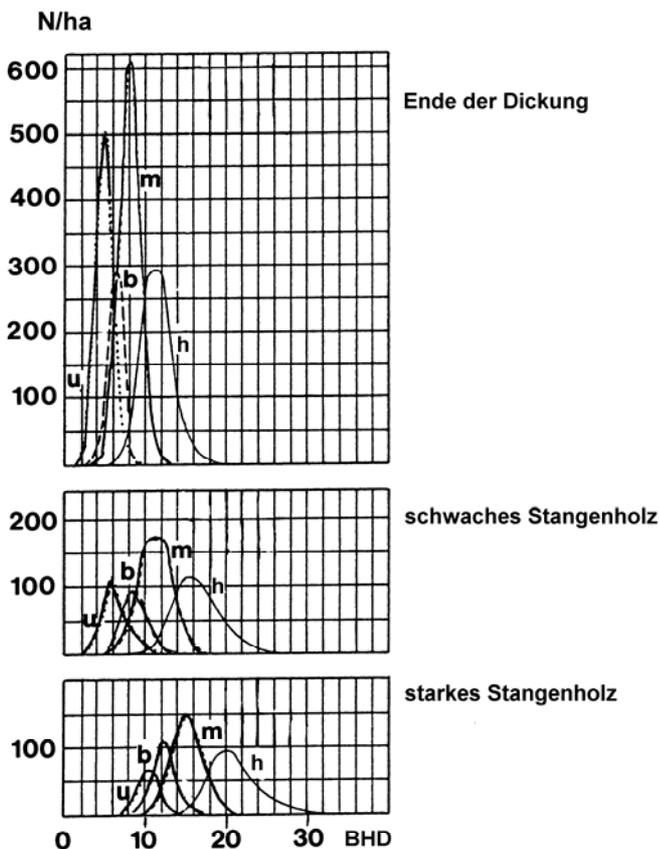
- 0 vorherrschend
- 1 herrschend
- 2 mitherrschend
- 3 beherrscht
- 4 unterdrückt



**Abb. 2.3:** Die Klassifikation von Kraft für die Einteilung der Bäume nach ihrer sozialen Stellung in Bestockungen.

**Vorherrschend (0):** Bäume, welche mit ihrer Höhe deutlich über den oberen Kronenschirm hinausragen. Diese Stellung ist im gleichaltrigen Bestand selten und sie begrenzt sich auf gewisse Lebensphasen (Dickungen).

**Herrschend (1):** Bäume, welche voll am oberen Kronenschirm beteiligt sind. Sie weisen ein gutes Höhenwachstum und eine kräftige, allseitig gut entwickelte, regelmässige Krone auf.



**Abb. 2.4 :** Soziale Differenzierung in jungen Bestockungen, dargestellt mit der Stammzahlverteilung der vier sozialen Klassen im Verhältnis zum BDH (Brusthöhendurchmesser).

Gilt für Fichtenbestockung. Hier am Beispiel einer Versuchsfläche der WSL in Chanéaz (VD).

(nach Nägeli, 1952)

h = herrschend  
 m = mitherrschend  
 b = beherrscht  
 u = unterdrückt

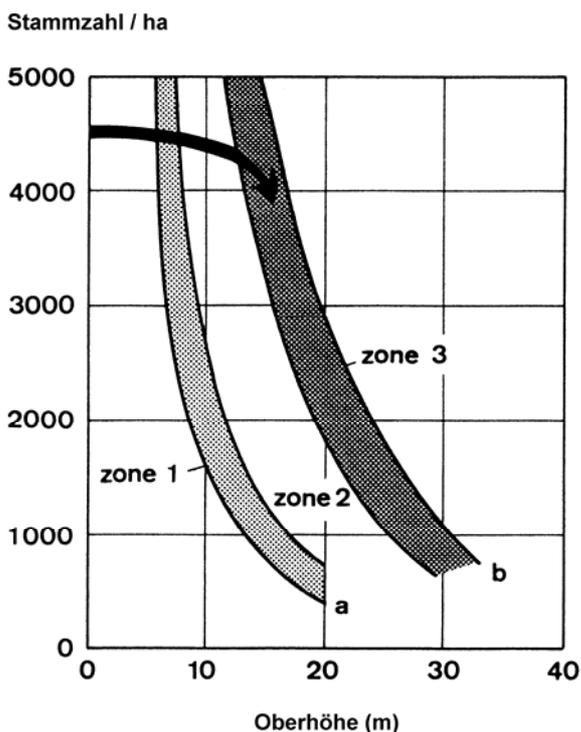
**Mitherrschend (2)** : Bäume, welche auch noch am oberen Kronenschirm beteiligt sind. Im Vergleich zu den herrschenden Individuen ist jedoch ihre Krone weniger vital und weniger gleichmässig entwickelt.

**Beherrscht (3)** : Bäume, welche nicht mehr am oberen Kronenschirm beteiligt sind. Die Krone genießt deshalb kein volles, direktes Licht mehr. Sie ist aber noch im Kontakt mit den Kronen der herrschenden und mitherrschenden Individuen.

**Unterdrückt (4)** : Bäume, deren Krone nicht mehr im Kontakt mit den Kronen der herrschenden und mitherrschenden Individuen ist. Ihre Spitze ist i.d.R. von Ästen der benachbarten Bäume überwachsen.

Sobald der Kronenschluss erreicht ist, nimmt der Wettbewerb zu. Dies führt zu einer Differenzierung der sozialen Klassen. Wie Abb. 2.4 zeigt, fallen die Unterschiede immer stärker aus. Dies gilt sowohl bezüglich Durchmesserspanne wie auch bezüglich Stammzahlen. Die sozial untersten Klassen verlieren wegen der Mortalität immer mehr an Stammzahl.

Die Abb. 2.5 veranschaulicht die Wettbewerbsverhältnisse am Fallbeispiel der Stammzahlenentwicklung in Abhängigkeit der Oberhöhe für eine Fichtenbestockung. Ausgehend von einem Kollektiv mit anfänglich 4500 Stämme/ha (Pfeil in der Abb. 2.5) wird der Kronenschluss bei einer Oberhöhe von ungefähr 6 m erreicht. Erfolgen keine regulierende Stammzahlentnahmen, erreicht dieses Kollektiv die Zone einer kritischen Dichte (Zone 3) bei einer Oberhöhe von 12 bis 13 m. Als kritisch wird hier die Bestockungsdichte veranschlagt, welche zu einer **natürlichen Mortalität** oder **natürlichen Ausscheidung** führt.



**Abb. 2.5** : Darstellung der Wettbewerbsbedingungen in jungen Fichtenbeständen, am Beispiel der Entwicklung der Stammzahlen in Funktion der Oberhöhe.

Die Kurven, welche unterschiedliche Konkurrenzonen abgrenzen, wurden aufgrund der Kronendimensionen berechnet. Die Kurve a entspricht dem eintretenden Kronenschluss (Deckungsgrad von 1,2). Die Kurve b zeigt die natürlich maximal erreichbare Bestockungsdichte. Zwischen diesen zwei Grenzlinien kann man drei Bereiche unterschiedlich starker Wettbewerbsintensitäten erkennen:

Bereich 1: mittlerer Wettbewerb mit günstigen Auswirkungen,  
 Bereich 2: Anstieg des Wettbewerbes,  
 Bereich 3: kritischer Wettbewerb, der zu einer natürlichen Mortalität führt.  
 (nach Schütz, 1984)

Der Wettbewerb hat aber nicht nur Nachteile. Die Einfassung eines Baumes durch benachbarte Mitstreiter hat in erster Linie günstige Auswirkungen, insbesondere auf den Prozess der natürlichen Astreinigung. Der Wettbewerb hält also die Stärke der Äste in Grenzen und hindert

das Astwerk daran, sich allzu kräftig zu entwickeln. Im Bereich 1 der Abbildung 2.5, wo der Wettbewerb gering ausfällt, ist seine Wirkung eher als vorteilhaft zu betrachten.

Obwohl die Klassifikation von Kraft eine breite Anerkennung gefunden hat, muss ihre Anwendung aus heutiger Erkenntnis in zweierlei Hinsichten kritisch begrenzt werden:

- Ihre Anwendung ist für gleichförmige und gleichaltrige Bestockungen gültig. Sie darf kaum für stufige Bestände mit vertikaler Mischungsform angewendet werden.
- Weil sie gutachtlich Klassen bildet, um ein Phänomen, das in der Tat kontinuierlich ist, gibt es verschiedene Übergänge. Für eine differenzierte und feine Analyse der sozialen Hierarchie arbeitet man heute vermehrt mit einer Rangordnung in Bezug auf den Durchmesser (z.B. die 100 stärksten, die 100 bis 200 usw.), (Preuhsler et al., 1989).

### 2.2.3 Umsetzungstendenzen der sozialen Stellung

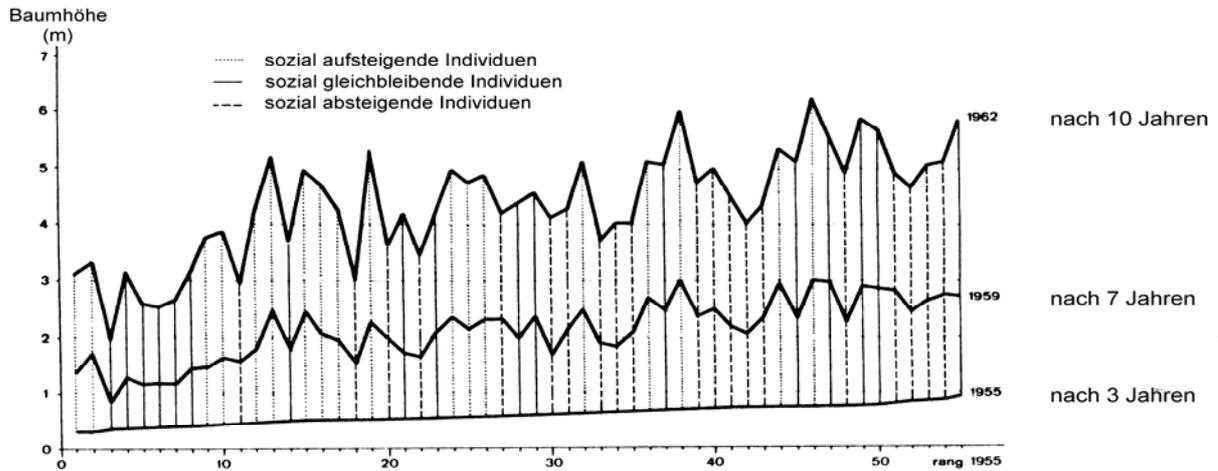
Von entscheidender Bedeutung für das Verständnis der sozialen Hierarchie sind nicht nur die Positionen, sondern zeitliche Veränderungen von Interesse. Wir nennen diese Veränderungen der sozialen Stellung: **Umsetzung**. Die Umsetzungen fallen sowohl positiv wie negativ aus. Die sozialen Umsetzungen hängen vom Grad der gegenseitigen Bedrängung und von der Dauer des dadurch erzeugten Wettbewerbes ab. Weil die Bäume mit steigenden Platzbedürfnissen, die exponentiell zu ihrer Grösse wachsen, immer mehr Platz beanspruchen, ergibt die Summe aller sozial aufsteigenden und absteigenden Bäume mit zunehmender Entwicklung notwendigerweise ein negatives Ergebnis. Die sozial aufsteigenden Bäume sind zwar in der Minderzahl, sie haben aber waldbaulich eine grössere Bedeutung,

Bei der Analyse der sozialen Hierarchie bildet man gewöhnlicherweise zwei Gruppen: einerseits den sog. Oberstand (herrschende und mitherrschende) und andererseits den von beherrschten und unterdrückten gebildeten Unterstand. Dies ist darin begründet, weil die Elemente des Oberstandes ein gewisses Selbstentwicklungspotential aufweisen. Im oberen Bereich der Kronenschicht finden im wesentlichen die entscheidenden Vorgänge der sozialen Differenzierung statt. Die soziologische Dynamik eines Kollektives kommt hier am deutlichsten zum Ausdruck. Ein oftmals vorhandener Unterwuchs oder Nebenbestand fällt dabei ausser Betrachtung.

Eine hohe soziale Stellung verleiht einem Individuum innerhalb des Kollektives einen offensichtlichen Vorteil. Sie gibt ihnen den Positionsvorrang und daraus die grösseren Chancen, oben zu bleiben. Hier ist es wichtig zu wissen, ob in den ersten Entwicklungsstadien (Jungwuchs, Dickung) der Status des Herrschenden zufällig oder Ausdruck der besseren Veranlagung ist. Delvaux, 1981, hat für Fichtenbestockungen, die aus Pflanzung entstanden sind, gezeigt, dass zufallsbedingte Faktoren die soziale Hierarchie beeinflussen (siehe Abb. 2.6). Hier kommen offensichtlich Kleinstandortsunterschiede oder bessere Anwuchserfolge als Erklärung in Frage. Immerhin dürften die genetisch bedingten Wuchsunterschiede für die soziale Position eine Rolle spielen. Untersuchungen der genetischen Strukturen zeigen, dass herrschende Bäume einer Bestockung deutlich mehr Heterozygoten aufweisen als der Durchschnitt (Geburek et al., 1993). Der Schluss der besseren Wuchsveranlagung ist naheliegend, weil die Heterozygotie mit Fitnessseigenschaften zu verbinden ist. Dies scheint aber nicht für alle Baumarten gleich zu gelten. Hussendörfer (2001) konnte bei der Tanne zeigen, dass eine umgekehrte Tendenz besteht. Er vermutet, dass dies mit der Eigenschaft der Schattenbaumart zusammenhängt.

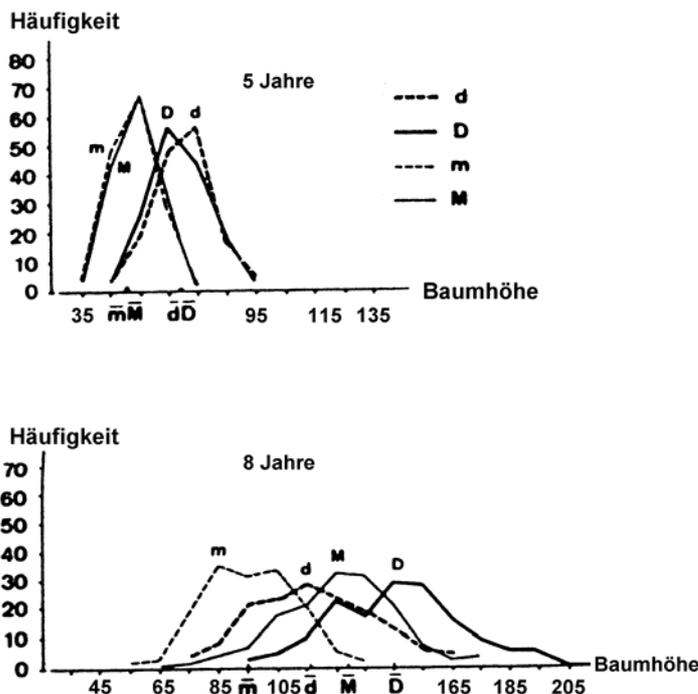
Die Bäume sind nach ihrer Anfangsgrösse angeordnet, welche einigermaßen den Ausdruck der genetischen Veranlagung wiedergeben, da während der Nachzucht im Forstgarten die

Umwelt- und Wachstumsbedingungen sehr homogen sind. Die nach der Pflanzung erfolgten Veränderungen im positiven sowie im negativen Sinne erstrecken sich praktisch auf der ganzen Bandbreite, was auf einen zufallsbedingten Einfluss deutet.



**Abb. 2.6 :** Veränderung der sozialen Positionen in einer Fichtenpflanzung zwischen 3 und 10 Jahren.  
(nach einem Versuch von Delvaux, 1981).

Das Ausmass der Konkurrenz in der Bestockung dürfte soziale Positionsänderungen und sowohl positive wie negative Umsetzungen beeinflussen. In einem weiteren Versuch mit Fichtenpflanzungen konnte Delvaux (1981) zeigen, dass die soziale Hierarchie anders läuft, wenn man den Wettbewerb kontrolliert oder wenn kein Wettbewerb herrscht. Ohne allzu starker Wettbewerb setzen sich ursprünglich Mitherrschende wesentlich positiver um. Das bedeutet, dass Mitherrschende durchaus eine Chance besitzen, gute Leistungen zu erzeugen, wenn sie nicht zufälligerweise durch Nachbarn in dieser Entwicklung verdrängt wurden (siehe Abb. 2.7). Dadurch wird die entscheidende Wirkung des Wettbewerbes auf die Regulierung der sozialen Hierarchie innerhalb einer Bestockung aufgezeigt.

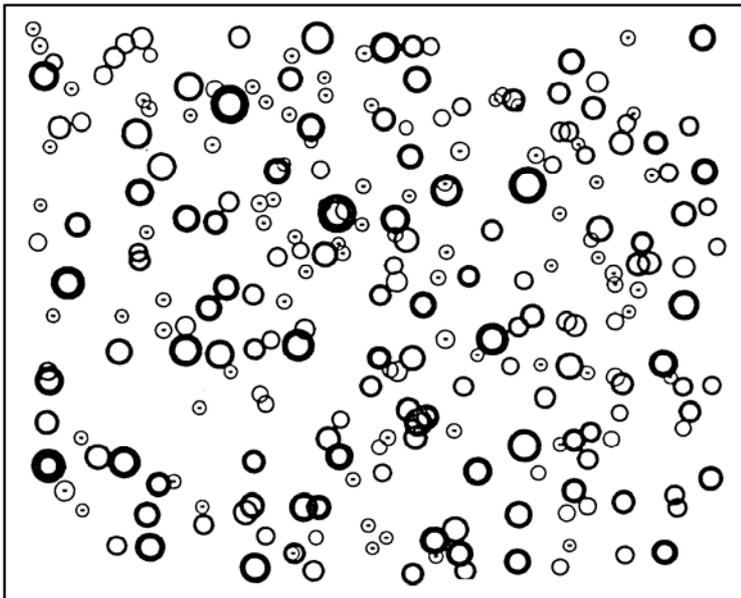


**Abb. 2.7:** Soziale Entwicklung unterschiedlicher sozialen Klassen in Fichtenpflanzungen mit und ohne Wettbewerb zwischen 5 und 8 Jahren.

Bestimmend für die soziale Stellung ist die erreichte Höhe (in Abzisse). Die zwei Kollektive D (Dominierende am Versuchsbeginn) und M (Mitherrschende) weisen vier Jahre nachher eine andere Höhenposition auf, wenn sie in hohen Wettbewerbsbedingungen wachsen (kleine Buchstaben) im Gegensatz zu Wuchs ohne Konkurrenz (grosse Buchstaben). Der bessere Teil der Mitherrschenden ohne Konkurrenz (M) erreicht grössere Höhen als einige ursprünglich Dominierende (D) wie auch Konkurrenziererte (d).

Wie lange, wie oft und in welchem Ausmass positive Umsetzungen stattfinden, ist für die Ausrichtung der Waldpflege durch Stammzahlentnahmen von Bedeutung (**Erdünnerungen** bzw. **Durchforstungen**). Dabei soll zwischen jungen Bestockungen (Dickungen bis Stangenholz) und erwachsenen, auch älteren Bestockungen unterschieden werden.

Ferlin und Bobinac (1999) zeigen am Beispiel eines Eichenbestands im Alter von zwischen 33 und 54 Jahren (Abb. 2.8), dass die sozialen Klassen (hier dargestellt mit dem Durchmesser = Grösse der Ringe oder dem Durchmesserzuwachs = Dicke der Ringe) recht homogen auf der ganzen Fläche verteilt sind.



- Durchmesser / Zuwachs (Dicke)
- abgestorbene

**Abb. 2.8:** Räumliche Verteilung und soziale Differenzierung der Bäume in einem gleichförmigen Eichen-Stangenholz zwischen 33 und 54 Jahren.

Gilt für 54-jähriges Eichen-Stangenholz, Versuchsfläche Donji-Srem (Kroatien)

Dargestellt sind nur die 25 % stärksten Bäume der Population

nach Ferlin und Bobinac (1999)

### Umsetzungen in Jungbestockungen (bis Stangenholzstufe)

Viele Arbeiten bezeugen, dass positive Umsetzungen in der Dickungsstufe (bis ca. 10 m Höhe) und sogar in Stangenholzstufe (bis etwa 20 m Höhe) noch möglich sind, und zwar sowohl bei Licht- als auch bei Schattenbaumarten. So berichten Leibundgut (1976) für Eichendickungen, dass grosse Veränderungen der sozialen Stellung vorkommen. In diesen verhältnismässig dichten Dickungen, welche aus Naturverjüngung hervorgegangen sind, sind 20 bis 40 % der Bäume, welche am Ende der Dickungsstufe die obere Kronenschicht bilden, sozial von der mitherrschenden in die herrschende Klasse aufgestiegen. Sie haben sich damit, in einem Zeitraum von 6 bis 8 Jahren, sozial positiv umgesetzt. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Spellmann und Diest (1990) für Jungeichenbestockungen in Norddeutschland. Bei Schattenbaumarten zeigen Thiébaud et al. (1992) bei Buchen aus Naturverjüngung, entstanden zwischen Alter 2 und 18, zahlreiche soziale positive Umsetzungen und zwar im Sinne von grösseren Auf- wie auch Abstiegen.

Bei Nadelbaumarten zeigen die Beobachtungen von Ganther (1983) in Waldföhren-Dickungen mit sehr unterschiedlicher Dichte, zwischen 7000 und 70'000 Stämmen pro Hektare, dass bei einem Bestandesalter von 15 Jahren der Anteil der Bäume im Oberstand, welche in einem Zeitraum von 9 Jahren ihre soziale Stellung verbessern, zwischen 30 und 54 % liegt. Der Anteil der sozial aufgestiegenen Bäume war manchmal sogar noch grösser als derjenige der

abgestiegenen Bäume. Schon Wagenknecht (1940) hatte analoge Ergebnisse erhalten und daraus folgernd geschätzt, dass in Föhrendickungen einzelne Bäume auch einen Wachstumsrückstand (gegenüber den herrschenden Bäumen) von bis zu 40 cm noch vollständig aufholen können.

In jüngeren Bestockungen, d.h. vom Jungwuchs bis schwache Stangenholzstufe sind soziale Umsetzungen möglich, insbesondere bei schattenertragenden Baumarten.

### Umsetzungen in erwachsenen Bestockungen

Weil die Wuchskraft mit zunehmendem Alter abnimmt, haben die nichtherrschenden Bäume immer weniger Chancen, ihren Rückstand wettzumachen und somit sozial aufzusteigen. Man geht generell davon aus, wenn einmal die sozialen Positionen gebildet sind und sich gefestigt haben, so etwa ab Lebenshälfte, kaum mehr positive Umsetzungen stattfinden.

#### 2.2.4 Konsequenzen der sozialen Umsetzungen für den Waldbau

Für die Waldbehandlung stellt sich die Frage: Wann und inwieweit sind qualitativ gut veranlagte, nicht herrschende, sogar beherrschte Individuen, förderungswürdig? Von der Freistellungsbedürftigkeit her betrachtet, leuchtet es ein, dass je tiefer die soziale Stellung, desto kräftiger die Befreiungsmassnahme sein muss. Wenn man zu viele soziale Minderwertige auswählt, muss man kräftiger und öfter mit Durchforstungen eingreifen. Dabei bestehen immer grössere Chancen, eine Destabilisierung der Bestockung zu verursachen. Das Ganze muss in Zusammenhang mit der Anzahl Zukunftsbäume betrachtet werden, insbesondere bei der ersten Auslese. Je nachdem, ob man Z-Bäume im Endabstand oder ein Mehrfaches davon wählt bzw. bevorzugt, hat dies ganz andere Konsequenzen auf die Kronendachöffnung und somit auf die Stabilität (siehe dazu Absch. 5.2.4 und 5.3).

Weil in der Dickungsstufe die einzelnen Bäume durchaus noch in der Lage sind, ihre soziale Stellung zu verändern und somit mitherrschende noch alle Chancen besitzen, und weil kein absoluter Zusammenhang besteht zwischen sozialem Rang und Qualität, sind die guten Anwärter früh auszuwählen und zu fördern, so dass sie sich in Konkurrenz mit ihren Nachbarn behaupten können. Dies gilt besonders für Mischbestände und für die konkurrenzschwachen Baumarten sowie in einem gewissen Sinne für Lichtbaumarten.

Ab Baumholzalter sind die Aussichten für die Förderung von sozial Minderwertigen, auch denjenigen mit weniger Rückstand, nicht sinnvoll. Erfahrungen mit Durchforstungsarten, welche systematisch die sozial niedrigeren Bäume fördern, wie dies mit der sog. **Borggreve-Durchforstung** (in N-Deutschland auch verwirrenderweise Plenterdurchforstung genannt) zeigten erhebliche Zuwachseinbussen im Bereich von 30 %. Die systematische Förderung von sozialen niederwertigen Individuen (ausser im Jungalter der Dickung- Stangenholzstufe) ist also nicht anzustreben. Viel effizienter ist es, den guten Kompromiss zwischen Wuchskraft und den gewünschten Qualitätseigenschaften zu finden. Dabei wird die Eigenschaft der Wuchskraft mit zunehmendem Alter immer wichtiger.

Wir haben schon darauf hingewiesen, dass eine effiziente Waldbehandlung im Sinne der optimalen naturopportunen Eingriffdosierung, in Relation mit den Pflegekosten, heute sogar innerhalb der Klasse der Herrschenden differenziert stattfinden muss. Es gibt bei der Gruppe der Herrschenden übervitale Bäume, die eine hohe Fähigkeit zur sozialen Herrschaft aufweisen, daneben weniger vitale. Wie schon Preuhler et al. (1989) an 50- und 60jährigen Fichtenbestockungen gezeigt haben, gibt es eine rege soziale Umsetzung im unteren Teil der Klasse der Herrschenden. Von den 200 bis 100 stärksten Bäume/ha steigen etwa 20 % zur

oberen Klasse der 0 bis 100 auf. Eine effiziente Durchforstung wird nur die auf Eingriffe reagierenden befreien und diejenigen, die sich selbst durchsetzen, die Übervitalen weniger.

## 2.3 MORPHOGENESE UND AKQUISITION DER SCHAFTFORM

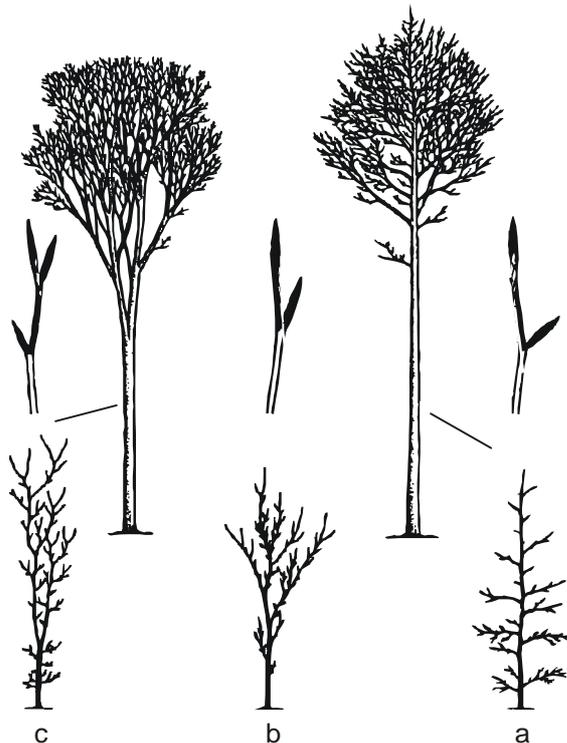
### 2.3.1 Bedeutung der Schaftarchitektur für den Waldbau

Die Art und Weise der Entstehung der Baumgestalt (Morphogenese) ist bei Baumgewächsen, geschweige bei Holzgewächsen, recht unterschiedlich. Das Studium der sog. Schaftarchitekturmodelle und der Gründe ihrer Entstehung sind für den Waldbau von entscheidender Bedeutung. In der Tat bilden Waldbäume nicht notgedrungen durchgehende dominierende (sog. wipfelschäftige Stämme), sondern bei vielen insbesondere bei den Laubbaumarten besteht eine Tendenz zur Verzweigung bzw. Verzweiselung. Abb. 2.9 zeigt die zwei Grundtypen eines aufrechten Wuchses (sog. Akrotonie oder Wipfelschäftigkeit) und andererseits die frühe Auflösung der Stammachse (sog. sympodische Verzweigung oder Zwieselschäftigkeit).

Sogar innerhalb der Nachkommen, also in einer Population der gleichen Baumart, sind solche unterschiedliche Verzweigungstypen zu beobachten, weil offensichtlich die Architekturmodelle nicht nur aufgrund angeborener Muster zustandekommen, sondern auch durch ihre Expressivität, die von der Einwirkung äusserer Einflüsse wie Licht, Wärme usw., abhängen. Dies ist insbesondere bei wirtschaftlich wichtigen Baumarten wie Buche und Eiche augenfällig (Abb. 2.9), wie schon Krahl-Urban (1953) feststellte, aber auch bei Linden und Ulmen. Aus genetischer Sicht weiss man, dass die Formvariation innerhalb einer Baumpopulation wesentlich grösser ist als zwischen Populationen oder Provenienzen (Comps et al., 1991).

Grundsätzlich erkennt man relativ einfach zwei gegensätzliche Archetypen, nämlich einerseits den unverzweigten Stamm, der eine durchgehende Achse aufweist (**wipfelschäftiger Typ**) und andererseits der **Zwieseltyp**, dessen Stammachse eine starke Neigung zur Verzweigung in zwei oder mehrere Achsen aufweist. Die erste Form fällt durch ihr ausladendes Astwerk auf, während bei der zweiten Form die Äste einen spitzen Winkel zur Stammachse aufweisen. Daneben gibt es zahlreiche Zwischenformen. Nach Krahl-Urban (1953) kann man letztlich am Beispiel der Buche (und analogerweise der Eiche) die drei folgenden Formen (siehe dazu Abb. 2.10) unterscheiden:

- a) Der wipfelschäftige Baum mit einer durchgehenden, geraden, nicht verzweigten Stammachse vom monopodialen Verzweigungstyp. Diese Form ist aus waldbaulicher Sicht ideal.
- b) Der Baum mit einer verbuschten, intermediären Form und leicht aufgelösten Verzweigungsform. Bäume dieses Typs tendieren dazu, Protzen zu bilden. Man spricht hier vom **Besentyp**.
- c) Der zwieselschäftige Baum, dessen Achse die starke Tendenz hat, sich immer wieder zu verzweigen. Arnswaldt (1950) unterteilt diesen Typ in zwei Untertypen: Der bleibenden, dauerhaften Zwiesel (Dauerzwiesel) und derjenigen, der sich mit der Zeit korrigieren kann, indem einer der Äste des Zwiesels die Oberhand gewinnt und der andere Ast sich zu einem grossen Seitenast (sog. Steilast oder Bajonett) zurückbildet.



**Abb. 2.9:** Die Schaftverzweigungsformen am Beispiel der Buche.

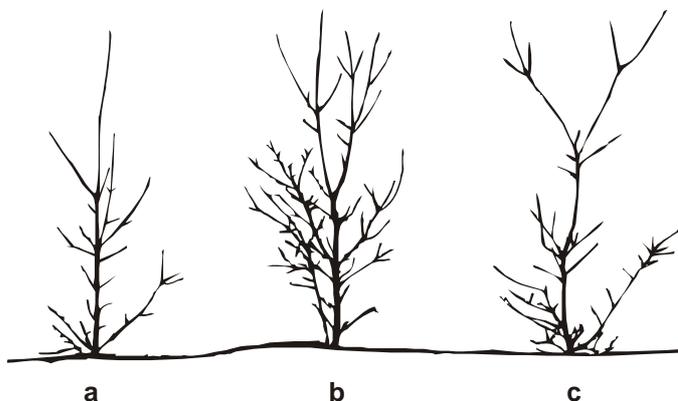
(nach Roloff, 1985)

c) zwieselschäftiger Typ

b) Besentyp

a) wipfelschäftiger Typ

Weil mehr als 80 % des Holzwertes bei Hiebsreife auf den untersten, unverzweigten Schaftteil (sog. Stammholz) fällt, ist das Verständnis der Phänomene der Schaftformakquisition (sog. Morphogenese) von grosser Bedeutung, insbesondere für die Produktion von Holz mit hoher Wertschöpfung. Es besteht nämlich die Möglichkeit, auf dem Weg der frühzeitigen Auslese die günstigen Typen auszuwählen und durch waldbauliche Massnahmen entsprechend zu fördern. Es ist auch von Bedeutung, zu wissen, ob diese Formen früh erkennbar sind. Bei der Eiche, einer weiteren Baumart, die ähnlich wie die Buche innerhalb der gleichen Population sehr grosse Formmannigfaltigkeit aufweist, hat schon Krahl-Urban (1959) gezeigt, dass die Grundformen sehr früh, schon mit 3-4 m Höhe erkennbar sind (Abb. 2.10). Dies eröffnet grosse Aussichten für die günstige Wirkung einer frühzeitigen Auslese.



**Abb. 2.10:** Die Formtypen bei jungen Eichen.

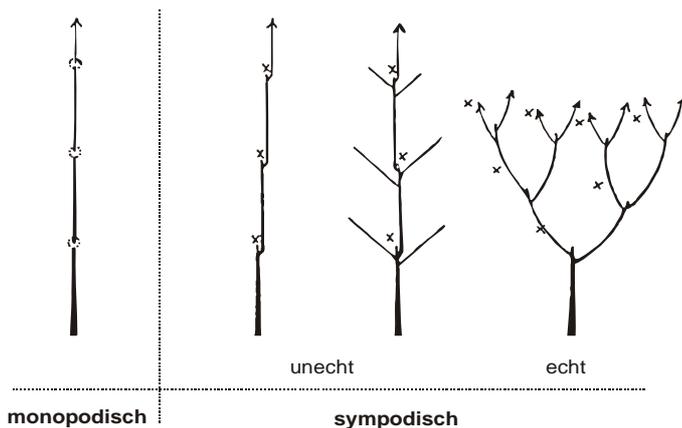
a) wipfelschäftiger Typ;  
b) intermediäre Form oder Besentyp;  
c) Zwieseltyp

nach Krahl-Urban (1959)

### 2.3.2 Prozesse zur Bildung der Schaftform

Viele Baumarten bilden praktisch immer eine durchgehende dominante Schaftachse aus. Praktisch alle Koniferen und Laubbaumarten wie z.B. Esche, Ahorn, Kirschbaum gehören zum Typ des monopodialen Schaftbaus (siehe Abb. 2.11). Die Wipfelschäftigkeit kommt von einer hohen apikalen Dominanz der Meristeme, welche eine starke Hierarchie zwischen Endknospe und Seitenknospe, bzw. End- und Seitentriebe bestimmt. Das führt zur sylleptischen Schaftarchitektur, d.h. eine klare hormonell gesteuerte Wuchshierarchie zwischen Gipfel- und Seitentrieben.

Andererseits gibt es viele Baumarten, die immer sympodisch verzweigen. In der Regel sind das tropische Baumarten. Dieser Typ entsteht, nachdem die Fruktifikationstriebe im Jahr nach der Fruktifikation absterben und führen dazu, dass unterliegende Knospen Ersatztriebe bilden. Je nach apikaler Dominanz entwickeln sich pro Achse zwei Ersatztriebe gleich stark und führen dann zu einer Kandelaberform (echter Sympod). Unechte Sympoden entstehen, wenn Gipfeltriebe nur ausnahms- und zufallsweise ausfallen, z.B. unter Frostbeschädigung oder Wildverbiss. Auch sympodisch veranlagte Gewächse können zu einer wipfelschäftigen Stammform (sog. akrotone Form) kommen, wenn einer der Seitentriebe sofort die Führung übernimmt und die anderen sich zurückbilden (siehe Abb. 2.13). Umgekehrt bleibt der Sympod (Zwiesel) viel länger, ja ständig bestehen, wenn die apikale Dominanz schwach ist.



**Abb. 2.11:** Die zwei Grundtypen der Stammmorphologie: Monopode und Sympode.

(nach Crabbé, 1987)

### Einfluss des rhythmischen Wachstums oder Polyzyklismus

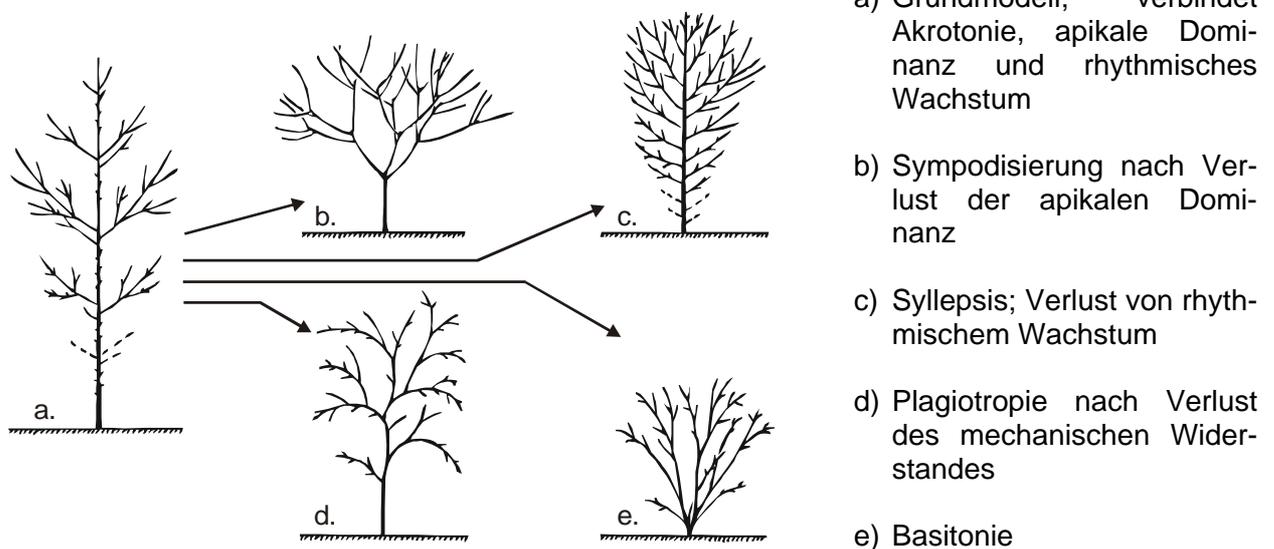
Nicht nur die Kombination von Verzweigungstyp und apikaler Dominanz erlauben die Formbildung voll zu erklären, sondern weitere Phänomene bzw. Einflussfaktoren wie z.B. die unterschiedlichen Triebarten. In Wirklichkeit können Baumarten zwei Arten von Trieben bilden, wie dies die grundlegenden Arbeiten von Thiébaud und Mitarbeitern über die Schaftmorphologie der Buche gezeigt haben (Thiébaud 1985, 1986; Thiébaud et al. 1985; Dupré et al. 1986). Es sind dies einerseits die **Kurztriebe**, welche dem Baum ermöglichen, den Raum zu erschließen, weil sie im Wesentlichen die Blätter tragen, und andererseits die **Langtriebe**, welche die Expansion erlauben, d.h. sich auszubreiten und dabei insbesondere auch in die Höhe zu wachsen.

Die Beschattung begünstigt die Entwicklung der Kurztriebe in einem Verhältnis von 3:1 gegenüber Langtrieben. Hingegen bilden Buchen in vollem Lichtgenuss hauptsächlich Langtriebe in einem Verhältnis von etwa 4:1. Damit sich ein Baum gut entwickeln kann, muss er wachsen können, wozu er also eine gewisse Lichtmenge braucht. Die Voraussetzungen zur

Bildung von Kurz- oder Langtrieben sind schon zur Zeit der Differenzierung der Blattanlagen bei der Knospenbildung festgelegt, indem unterschiedliche Blattanlagen angelegt werden (Fontaine et al., 1998). So besitzen Knospen von Kurztrieben keine Seitenknospenanlagen, und die sich daraus ergebenden Triebe können nicht verzweigen.

Zum klaren Verständnis der Entstehung der Schaftarchitekturtypen muss die **Rhythmizität** des Streckenwachstums (oder **Polyzyklismus** oder **Prolepsis**) mitbetrachtet werden. Das Phänomen der Wachstumsrhythmizität oder des Polyzyklismus ist bei der Sprossbildung die Fähigkeit, sukzessive neue Wachstumsschübe zu bilden durch Ansetzen nach einer kurzen intensiven Streckenwachstumsphase einer ausruhenden Endknospe, welche eine Wachstumspause verursacht. Nach Auflösung der Quieszenz dieser Knospe kommt es zu weiteren neuen Streckenwachstumsschüben (in sog. **proleptische Triebe** oder Johannistriebe). In Jungpflanzen auf guten Standorten kann es drei bis vier solche Schübe (oder Wachstumseinheiten) geben.

Die Prolepsis darf als angeworbene Fähigkeit der Gehölzpflanzen zur Kontrolle des Wachstums in tropischen Regionen ohne Vegetationswechsel interpretiert werden. Sie ist sehr stark ausgeprägt bei den Eichen. Wie Burger (1921) gezeigt hat, ist sie bei der Stieleiche häufiger anzutreffen als bei der Traubeneiche. Als fakultativ kommt sie vor bei anderen Baumarten wie Buche, Esche, aber auch bei den meisten Koniferen (Fichte, Föhre, Douglasie). Fakultativ bedeutet das, dass nicht alle Individuen einer Population Prolepsis aufweisen, und auch nicht jedes Jahr, sondern nur, wenn Temperatur und Ernährung günstig sind. Hussendörfer et al. (1996) konnten bei jungen Buchen nachweisen, dass die Prolepsis mit genetischen Eigenschaften korreliert ist (größerer Heterozygotanteil). Burger (1926) zeigte bei der Buche, dass etwa ein Drittel der Nachkommen in der Jugend Prolepsis aufwies. Daneben haben Baumarten wie Pappeln, welche keine Prolepsis aufweisen, ein kontinuierliches Streckenwachstum.



**Abb. 2.12:** Der Erwerb der Schaftform als komplexes Phänomen verbindet Verzweigungsgrundmuster (Schaftverzweigungsarchetyp), rhythmisches Wachstum und apikale Dominanz.

(nach Crabbé, 1987)

Das rhythmische Wachstum ist ein komplexes, im wesentlichen physiologisch geprägtes Phänomen. Dabei steht die apikale Dominanz der Endknospe im Vordergrund. Französische Physiologen verbinden diese Fähigkeit mit der Entwicklung der Schuppenanlagen in den

Knospen (Champagnat et al., 1986; Barnola et al., 1993), aber auch mit weiteren Faktoren wie Ernährung (Barnola et al. 1993) und Nährstoffaufnahme durch die Feinwurzeln (Barnola et al., 1990). So erklärt sich ihr fakultatives Vorkommen (Thiébaud, 1988). Exogene Faktoren haben aber einen unter Umständen erheblichen Einfluss. So ist es ausgewiesen, dass eine gute Belichtung das Vorkommen der Prolepsis fördert (Barnola et al, 1993; Dupré et al., 1986; Sagheb-Talebi, 1995, 1996).

Die Bildung von unterschiedlichen Verzweigungstypen (oder Schaftarchitekturmodellen) als Ergebnis der Bildungsprozesse der Schaftachse können erst richtig verstanden werden, wenn über die Einflussgrößen Verzweigungstyp und apikale Dominanz noch zusätzlich die Wachstumsrhythmik betrachtet wird. Siehe dazu Abb. 2.12 nach Crabbé (1987).

### 2.3.3 Das Phänomen der Zwieselbildung

Die Auflösung der Stammachse infolge der Verzweiselung ist das Phänomen, welches für die Schaftform am meisten bestimmend ist. Dabei ist es wichtig, die Ursache der Zwieselbildung in Verbindung mit den bereits erklärten Formtypen zu verknüpfen. Es geht auch darum, zu verstehen, ob nach einer Verzweigung des Endtriebes, die Auflösung der Schaftachse definitiv besteht (sog. Dauerzwiesel) oder, unter welchen Umständen sich Zwiesel zurückbilden.

Wir unterscheiden grundsätzlich, vom Hergang betrachtet, zwei Formen von Zwiesel:

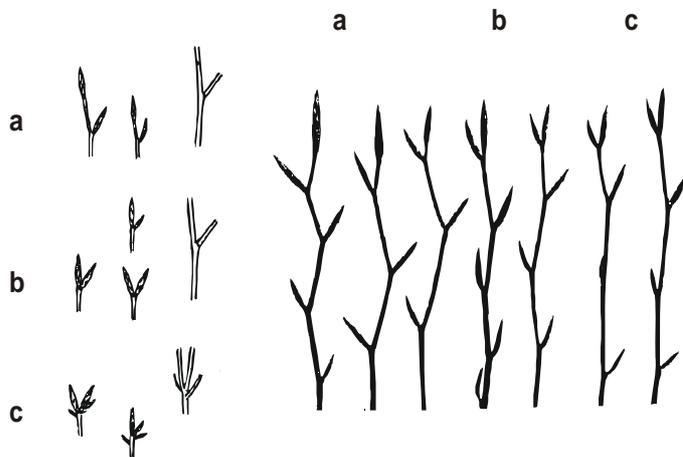
- Der **traumatische Zwiesel**, von einer äusseren Einwirkung wie Verlust der Endknospe infolge von Wildverbiss, Frost oder Einschlüpfen von Insektenlarven geprägt. Letzteres erfolgt z.B. bei der Esche durch die Einwirkung der Eschen-Miniermotte (*Prays curtisellus*). Dieses Insekt bohrt seine Larven in die Endknospe der Esche ein (Migroet, 1956).
- Der **physiologische Zwiesel** infolge Schwächung der apikalen Dominanz und daran gebunden die gleichwertige Entwicklung von Seitentrieben. Sie erfolgt z.B. bei der Buche nach einer vorübergehende Störung der apikalen Dominanz bzw. wenig ausgeprägte Knospenposition. Dies geschieht beispielsweise bei der Prolepsis, weil die ausruhende Endknospe eine geringere apikalen Dominanz aufweist, weil sie weniger wirksame Knospenschuppen ausbildet (Barnola et al., 1993).

Bei der traumatischen Zwiesel, oft bei Esche und allenfalls bei Ahorn festzustellen, ist die Ursache völlig zufälliger Natur, also unvorausehbar. Nach Verlust der Endknospe, nach Frost oder Minierung durch Larven der Eschenmotte, entwickeln sich bei den Baumarten mit gegenständigen Knospen zwei gleichwertige Ersatztriebe, die sich normalerweise nicht rechtzeitig zurückbilden. Sie führen meistens zur definitiven Auflösung der Schaftachse, also zur Bildung von Dauerzwiesel. Weil nicht voraussehbar, kann die Abwehr nur darin bestehen, zu warten, bis eine Stammachse von ca. 10 m entstanden ist und auf dem Weg der Auslese genügend zwieselfreie Kandidaten auszuwählen. Bei physiologisch bedingter Zwieselbildung, oft zu beobachten bei Buche, Eiche, Linde (Ulme), stehen physiologische Ursachen im Vordergrund.

Mit dem Begriff **axiale Dominanz** verstehen wir die Eigenschaften, die zur Bildung leitender unverzweiselter Schäfte (oder Wipfelschäftigkeit) führt, unter komplexer Einwirkung mehrerer Faktoren (Champagnat, 1965, 1969; Lavarenne et al., 1971). Diese Eigenschaft hängt sowohl von der genetischen Veranlagung, wie auch von Umweltfaktoren ab. Wichtig ist, dass das Ergebnis früh erkennbar ist (siehe Abb. 2.10).

Kurth (1946) und später auch Bolvansky (1980/81) haben aufgezeigt, dass die Länge des letzten Internodiums, d.h. der Abstand zwischen der Endknospe und der obersten Seitenknospe

(siehe Abb. 2.13, Typ a), ein guter Weiser für die apikale Dominanz ist. Dies wurde später durch zahlreiche physiologische Arbeiten bestätigt (Barnola et al., 1986, 1990). Die Bildung von doppelten Endknospen bei der Buche (Typen b und c der Abb. 2.13) ist eine Extremform kurzer Endinternodien. Sie führt zur Erhöhung des Risikos einer Verzweiselung, insbesondere wenn die Endknospen gleiche Grösse aufweisen.



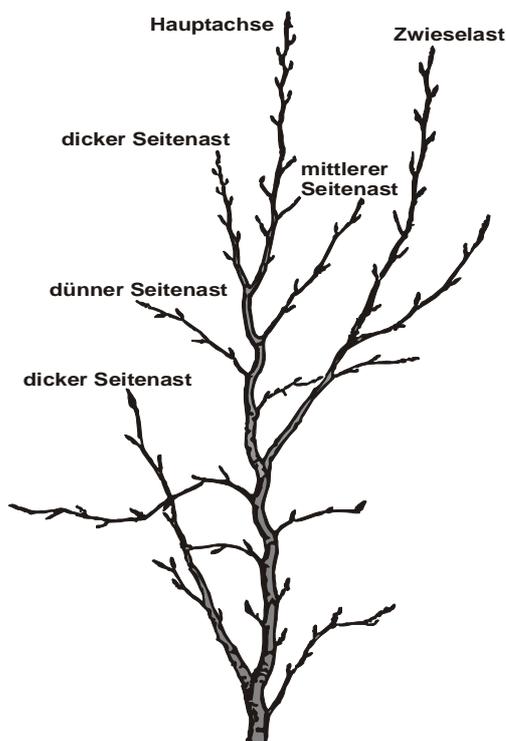
**Abb. 2.13:** Unterschiedliche Knospenstellung bei jungen Buchen mit von rechts nach links abnehmender apikaler Dominanz. Diese ist in Zusammenhang mit der Kürze der Endinternodien zu stellen.

(nach Bolwanski, 1980/81; und Kurth, 1946)

Es bestehen gewisse Gründe anzunehmen, dass Prolepsisbildung die Tendenz zur Zwieselbildung fördert. Sie führt zur Bildung kürzerer Internodien (Sagheb-Talebi, 1986). Darüber hinaus spielen die Belichtungsverhältnisse eine wichtige Rolle.

### 2.3.4 Dauerzwiesel oder vorübergehende Zwiesel

Bei der Zwieselbeurteilung ist die Frage der Erhaltung oder Rückbildung eines Zwiesels von Bedeutung. Nicht jeder Zwiesel führt zur permanenten Verzweigung der Stammachse.



Ein Teil davon bildet sich zurück. Ningre (1997) definiert den Zwiesel so, wenn der kürzere Ast mindestens die Hälfte des grösseren erreicht (siehe Abb. 2.14). Die Rückbildung früherer Zwiesel ist noch ungenügend geklärt. Dabei spielen auch die Probleme der Astreinigung eine Rolle (siehe auch Nicolini, 1996).

**Abb. 2.14:** Verschiedene Ausprägung von Zwieseln an jungen Buchen und ihre Bedeutung für eine klare Definition des Zwiesels.

(nach Ningre, 1997)

### 2.3.5 Einfluss des Faktors Licht auf die Form bei sympodisch neigenden Laubbaumarten

Die frühere Praxis bei der Verjüngung der Buche und ihre frühjugendliche Entwicklung war, die Buchenjungwüchse im Halblichtklima aufwachsen zu lassen, und sie unter Beschirmung der Altgeneration bis weit in die Dickungsphase bei langen Verjüngungszeiträumen wachsen zu lassen. Dies war mit der Vorstellung verbunden, dass im Halblichtklima aufgewachsene Buchen eine bessere Form aufweisen.

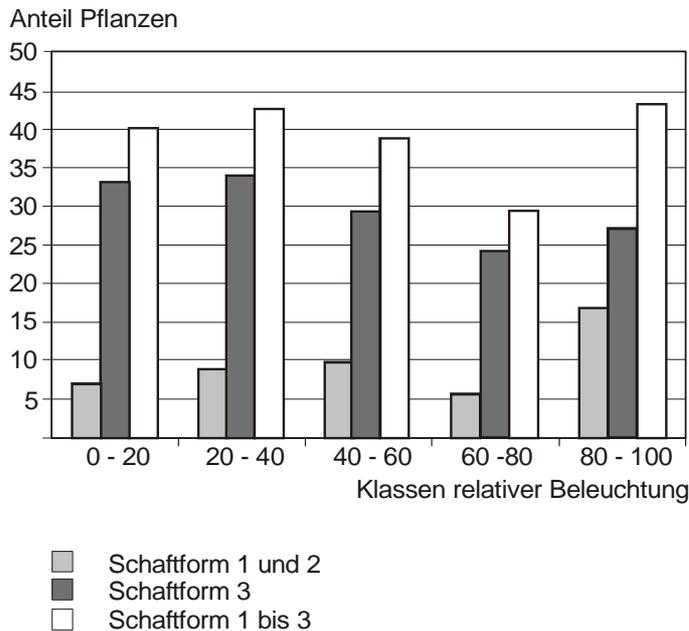
Schon Kurth (1946) hatte gezeigt, dass, im Vergleich zu einer Erziehung im vollen Licht, eine mittlere Überschirmung von 0,5 bis 0,7 Deckungsgrad die Bildung eines feinen Astwerkes bei den jungen Buchen begünstigt, sowie auch die Tendenz zur Bildung einer knickwüchsigen Achse vermindert, den Astwinkel vergrößert und letztlich die Tendenz zur Zwieselbildung vermindert. Andererseits führt aber eine zu starke und vor allem zu lang anhaltende Überschirmung zu einem Verlust der Wipfelschäftigkeit und somit zu einem sogenannten schrägen Wuchs oder **plagiotropen Wuchs**.

Die Gründe, warum die im Halbschatten wachsenden Jungbuchen bessere Schaftformen aufweisen, lassen sich auf die Tatsache zurückführen, dass unter diesen Bedingungen die Bildung von Kurztrieben begünstigt ist (Dupré et al., 1986), welche nie verzweigen, weil sie keine Seitenknospen aufweisen. Im Gegensatz dazu bilden Buchen, die unter günstigen, d.h. vollen Lichtverhältnissen aufwachsen Langtriebe, welche verzweigen können und zwar in unterschiedlicher Ausprägung je nach Veranlagung, so dass ein Teil der Individuen eine klare wipfelschäftige Achsenbildung (sog. monopodial Wuchs) aufweist, während bei anderen Individuen mit einer schwachen apikalen Dominanz das Licht die starke Neigung zur Verzweigung unterstützt. Halbschatten fördert also die Ausweisung von qualitativ guten Nachkommenschaften durch Verdrängung des Phänomens der Seitenastbildung sowie durch Förderung von langen Internodien, welche die gute apikale Dominanz sichern. Dies jedoch nur zum Schein, da sowohl die genetisch guten wie die schlecht veranlagten Individuen gleich aussehen.

Aus diesem Grunde sind Dupré et al. (1986) der Ansicht, dass der beste Kompromiss zwischen Form und Wuchskraft, mit Ausnahme der frühen Ansamlungsphase, im vollen Licht erreicht wird. In der Tat ist es notwendig, wenn man eine echte Verbesserung der Nachkommenschaft erzielen will, die guten von den schlechtveranlagten Individuen unterscheiden zu können. Dies ist in jenen Buchenjungwüchsen möglich, welche unter guten Lichtbedingungen hochgewachsen sind.

Bezüglich Gesamtwirkung des Lichtklimas auf die Schaftform der Buche hat Sagheb-Talebi (1996) in neunjährigen Buchenjungwüchsen gezeigt, dass der beste Anteil an einwandfreien wipfelschäftigen Buchen sich unter praktisch vollen Lichtverhältnissen ausweist (siehe Abb. 2.15). Das unterstützt die heutige Sicht der **Lichterziehung der Jungbuchen** in rasch geführtem Verjüngungstempo (Schütz und Barnola, 1996). Solche Verfahren haben nicht nur den Vorteil der frühzeitigen Ausweisung der günstigen Formtypen. Sie verbinden dies mit guter Höhenentwicklung und weniger Befall durch den Buchenkrebs (*Nectria ditissima*).

Die Tendenz zur Verzweigung hängt sowohl von vererbten Faktoren wie auch von den Umwelteinflüssen, namentlich den Lichtverhältnissen, ab. Krahl-Urban (1959) zeigt, dass es zwischen den einzelnen Herkünften und Arten von Eichen beträchtliche Unterschiede im Anteil der Zwiesel- und Besentypen gibt. So liegt dieser Anteil z.B. bei den Traubeneichen aus dem Spessart bei 80 %, während er für die Stieleichen aus der Slawonischen Tiefebene nur 30 bis 40 % beträgt. Diese komplexe Wirkung von genetischen und Umweltfaktoren auf das Phänomen der Zwieselbildung bestätigen vergleichende Feldversuche bei der Buche, die für Zwieselbildung keine statistisch gesicherte Vererbbarkeit ausweisen lassen (Madsen, 1995).



**Abb. 2.15:** Anteil von einwandfreien wipfelschäftigen Jungbuchen in Abhängigkeit der Belichtungsverhältnisse. Untersuchungen von 9jährigen Jungwüchsen im schweiz. Mittelland entlang Lichtgradienten.

Schafform 1 entspricht einwandfreien Wipfelschäftigen

Schafform 2 noch guten Wipfelschäftigen

Schafform 3 Wipfelschäftigen mit gewissen Qualitätseinschränkungen.

NB: Der Anteil von nicht wipfelschäftigen in der Population ist hier nicht dargestellt.

(nach Sagheb-Talebi, 1996)

## 2.4 DIE ASTBILDUNG, ASTREINIGUNG UND REITERATION DES GEÄSTES

### 2.4.1 Die Astbildung und Reinigung

Als wichtigster und häufigster Fehler von Hölzern ist neben einer schlechten Form und einer mangelnden Geradschaftigkeit der Stammachse die **Astigkeit** zu betrachten. Dies ist verständlich, weil sie eine schwerwiegende Störung in der Struktur des Holzes als Bau- und Werkstoff verursacht. So sind z.B. nach von Pechmann und Courtois (1970) 94 % der Fehler von untersuchtem Sägerei- und Furnierholz von Douglasie dieser Ursache zuzuschreiben. Die Äste sind aber biologisch für das Überleben, für die Vitalität und für das Wachstum eines Baumes selbstverständlich notwendig. Sie müssen also aus der Sicht der Holzqualität als notwendiges Übel betrachtet werden. Die Kunst bei der Waldpflege wird sein, den richtigen Kompromiss zwischen einer für das Wachstum und die Gesundheit genügenden Krone entwickeln zu lassen und (zumindest für Holzproduktion mit hoher Wertschöpfung) eine genügend frühe Astreinigung des unteren Teils des Schaftes.

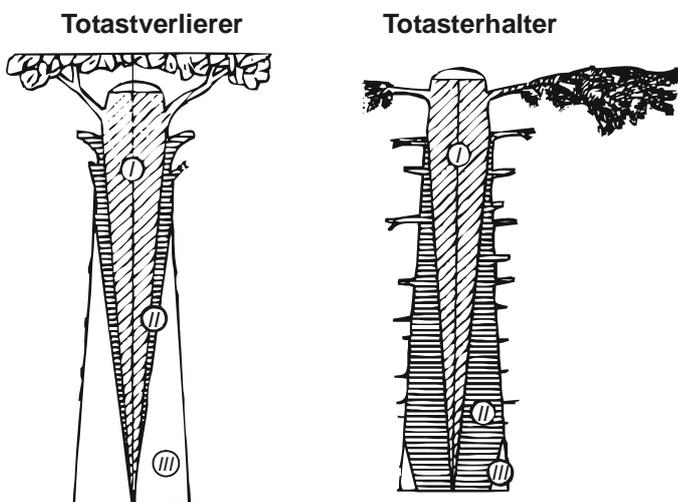
Bei der Waldpflege interessiert in diesem Zusammenhang in erster Linie das Phänomen der natürlichen Astreinigung der Bäume und die Möglichkeiten durch die waldbauliche Behandlung darauf Einfluss zu nehmen. Wenn die Astigkeit tatsächlich die wichtigste und häufigste Ursache der Holzwertung darstellt, ist sie auch ein Faktor, auf welchen der Waldbau am besten Einfluss nehmen kann.

Aus holztechnologischer Sicht muss man zwischen lebenden und toten Ästen unterscheiden. Lebende Äste hinterlassen im Holzkörper sogenannte **Grünäste**, welche fest mit dem

umgebenden Holz verwachsen sind. Solches Holz wird z.T. sogar nachgefragt, da es für bestimmte Sortimente mit dekorativem Charakter (v.a. für Innenausbau oder auch Möbel) gesucht werden kann. Dies gilt besonders für die Arve, die Föhre und die Douglasie. Im bereits abgestorbenen Zustand eingewachsene Äste hinterlassen im Holz aber sogenannte **Tot-, Schwarz- oder Ausfalläste**, die nur schlecht mit dem Holzkörper verwachsen sind, oft von selbst in geschnittenem Holz herausfallen und damit Löcher hinterlassen und deshalb schon vorsorglich vom Tischler oder Schreiner entfernt werden müssen.

Gemäss ihrer Veranlagung zum natürlichen Abstossen der Äste und demzufolge der Art und Weise der natürlichen Astreinigung bzw. der Überwallung der Äste, gibt es nach Schulz (1959) zwei grundverschiedene Kategorien von Baumarten (Abb. 2.16), nämlich:

- die **Totastverlierer**
- die **Totasterhalter**.



- Ⓘ = Zone der grün (lebend) eingewachsenen Äste  
 Ⓚ = Zone der tot eingewachsenen Äste  
 Ⓜ = astfreies Holz

**Abb. 2.16:** Die zwei Typen der Astreinigung bei den Bäumen: die Totasterhalter und die Totastverlierer.

(nach Schulze, 1959; in: Burschel und Huss, 1987)

Bei den Totastverlierern werden die abgestorbenen Äste auf natürliche Weise abgeschottet und die Astreinigung erfolgt sobald die Äste dürr geworden sind. Sie fallen in einem Stück unter ihrem Eigengewicht, nachdem eine Trennungszone im Holz (oder Wundholzzone) ausgebildet wird, welche das Eindringen von pathogen holzabbauenden Mikroorganismen verhindert (Gelinski, 1933). Zu dieser Kategorie gehören namentlich **Buche, Eiche und die meisten anderen Laubhölzer** sowie

die Lärche. Totastverlierer weisen in der Regel eine in Bezug auf Wertholzproduktion befriedigende und rechtzeitige natürliche Astreinigung aus.

Im Gegensatz dazu verbleiben bei den Totasterhaltern die abgestorbenen Äste lange Zeit als Stummel am Stamm, werden von diesem überwachsen, und damit hinterlassen sie im Holz die oben erwähnten Schwarzäste. Zu dieser Gruppe gehören die meisten Koniferen, namentlich **Fichte, Tanne, Föhre, Douglasie** sowie folgende Laubholzarten: **Kirschbaum, Pappel und Roteiche**. Die Wertastung gehört für diese Baumart zu den wichtigsten Wertvermehrungsmassnahmen.

Wie Butin und Kowalski (1983, 1986) gezeigt haben, sind diese Unterschiede auch auf verschiedene Arten der Zersetzung der Äste durch Pilze zurückzuführen. In diesem Prozess wirken zahlreiche, holzzersetzende Pilze, die auf verschiedene Art vorgehen. Die kleinen, noch nicht verkernten Äste werden von Basidiomyceten besiedelt. Sie verursachen dort eine Weissfäule, welche das Lignin zersetzt und sich im ganzen Ast ausbreitet. Dadurch wird die

Stabilität eines toten Astes derart geschwächt, dass der ganze Ast aufgrund des Eigengewichts an seiner Basis, d.h. am Astansatz, abbrechen kann. Weil je nach Astdicke unterschiedliche Pilzarten involviert sind, hängt auch der Abbauprozess von der Dicke der jeweiligen Äste ab. So werden z.B. bei der Eiche die noch nicht verkernten Äste mit einem Durchmesser von über 2 cm von anderen Mikroorganismen besiedelt als die ganz kleinen und dünnen Äste. Die Zersetzung dickerer Äste geht langsamer vor sich und hinterlässt letztlich meist einen Aststummel mit einer Länge von 30 cm bis 1 m.

Die Dicke der Äste spielt also eine entscheidende Rolle im Prozess der natürlichen Astreinigung. Dies gilt auch für diejenigen Baumarten, die normalerweise eine gute natürliche Astreinigung aufweisen. Die Förderung bzw. Aufrechterhaltung eines feinen Astwerkes in der Jugendphase durch eine genügend hohe Bestockungsdichte scheint hierzu ein wichtiger Faktor zu sein. Aus mehrererlei Hinsicht soll dabei eine Astdicke von 2 cm nicht überschritten werden.

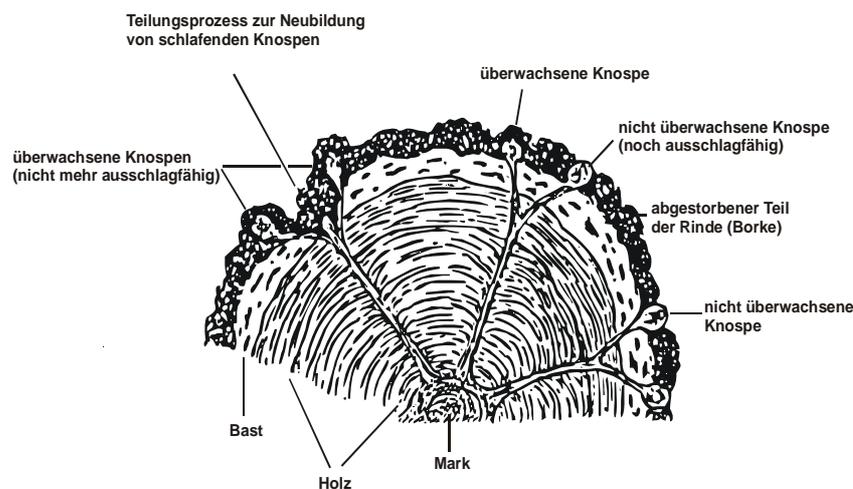
#### 2.4.2 Die Reiteration oder Bildung einer sekundären Krone

Die Bildung von Klebästen ist u.a. ein angeborener Mechanismus bei den Gehölzpflanzen zur Wiederherstellung bzw. Erneuerung des Blattwerkes. Das Phänomen ist als sog. **Reiteration** nach Hallé Oldemann et al., (1978) benannt. Die Fähigkeit erlaubt es, dass geschädigte Bäume ein neues Geäst (sog. Sekundärkrone) bilden und gehört somit zum natürlichen Anpassungssystem der Bäume.

Neue Äste können funktionell aus zwei morphogenetisch unterschiedlichen Formen von Knospen entstehen, nämlich von:

- proventiven Knospen (oder schlafenden Knospen). Das sind solche, die seit der Triebbildung vorhanden sind und unter hormoneller Einwirkung in voller Dormanz stehen
- adventiven Knospen oder neu gebildeten.

Abb. 2.17 zeigt die Eigenschaften der **Proventivknospen**. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie stets mit der Markröhre verbunden sind. Diese Verbindung ist aber nicht funktionell, sondern nur als Spur seit der Entstehung der Knospe.

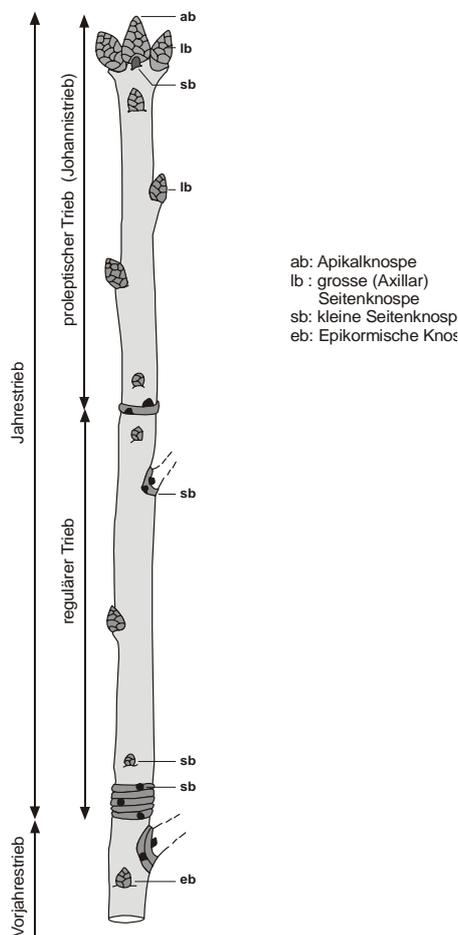


**Abb. 2.17:** Die verschiedenen Formen von Proventivknospen oder schlafenden Knospen.

(nach Mathey, 1929)

Wenn sich eine Proventivknospe als Klebast entfaltet, bleibt diese Spur unverändert. Fontaine et al. (1998) zeigen, dass es unterschiedliche Formen von Proventivknospen gibt (siehe Abb. 2.18), nämlich solche mit Blattanlagen und solche ohne (kleine runde). Bei Jungeichen ist das Verhältnis von Primärknospen (mit Blattanlagen) zu sekundären (runden) nach Fontaine et al. (2001) in etwa 1/3 zu 2/3. Im Unterschied dazu ist diese Verbindung bei den **Adventivknospen**, welche erst nachträglich, z.B. durch Wundgewebe, neu gebildet werden, nicht vorhanden.

Bei der Bildung von neuen Ersatztrieben (Wasserreiser), treiben im Normalfall Proventivknospen unter hormoneller Aufhebung ihrer physiologischen Ruhe (Dormanz) aus. Dies erfolgt im Normalfall, d.h. wenn keine Knospenbeschädigung besteht, unter Lichteinwirkung. Ansonsten können neuen Knospen (Adventivknospen) aus dem Kallusgewebe entstehen. Wir nennen solche neugebildete junge Triebe **Wasserreiser**, und **Klebäste**, wenn sie sich zu verholzten Ästen weiterentwickeln.



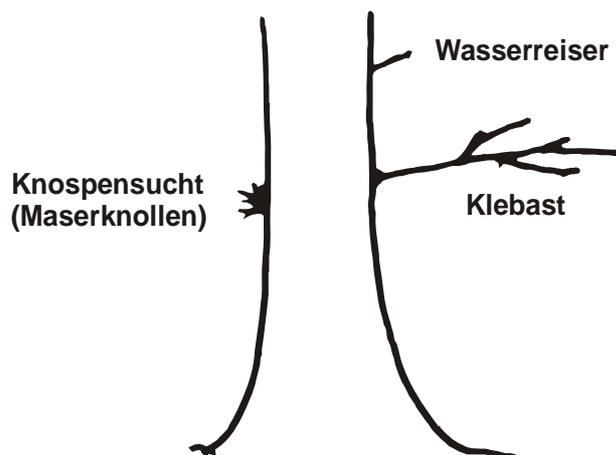
**Abb. 2.18:** Unterschiedliche Formen der Knospen bei den Jahrestrieben der Eiche nach Fontaine et al. (1998)

Die Proventivknospen bilden sich zur Zeit der Sprossbildung (siehe Abb. 2.18). Sie können während vielen Jahren in absoluter Dormanz bestehen. Durch das Dickenwachstum werden sie aber nach und nach überwachsen. Auch wenn sie relativ rasch von der Rinde bedeckt werden und somit äusserlich nicht mehr sichtbar sind (siehe Abb. 2.17), vermögen sie doch eine gewisse Zeit lang zwischen Rinde und Holz mit dem Dickenwachstum mitzuwachsen, ohne deswegen austreiben zu müssen. Irgendwann kommt jedoch der Zeitpunkt, wo sie gänzlich in den Holzkörper einwachsen. Die Dormanz wird von Hormonen (Auxine) gesteuert, die von den apikalen Meristemen ausgeschieden werden.

Die schlafenden Knospen sind als eine Art Reserve zu betrachten, mit der ein Baum z.B. auf einen traumatischen Blatt- oder gar Kronenverlust reagieren kann. Je nach Baumart können die schlafenden Knospen mehr oder weniger lange Zeit am Leben, d.h. funktionsfähig bleiben. Während z.B. bei der Fichte und der Lärche diese Lebensdauer nur einige Jahre beträgt, liegt sie bei der Birke immerhin schon bei ungefähr 20 Jahren. Die schlafenden Knospen der Eiche dagegen

können z.T. sogar noch nach 75 Jahren austreiben (Roussel, 1976).

Das Hormon Indolacetylsäure, welches von den Meristemen gebildet wird und sich in der ganzen Pflanze verteilt, ist für die Aufrechterhaltung der Dormanz der schlafenden Knospen verantwortlich. Wenn nun die Konzentration dieses Hormons unter einen gewissen Schwellenwert sinkt, wird die Dormanz aufgehoben und die Knospen können austreiben und zuerst einen **Wasserreiser** bilden, welcher erst, wenn er einmal verholzt bzw. mehrjährig ist, als eigentlicher **Klebast** bezeichnet wird (siehe Abb. 2.19).



**Abb. 2.19:** Sekundärastbildung oder sog. Wasserreiser bzw. Klebäste als Phänomen der Reiteration der Bäume.

Erklärungen im Text.

Die Entstehung solcher Äste, besonders, wenn sie auf erwachsenen Bäume vorkommen und das untere Stammstück (d.h. potentiell wertvollsten) betreffen, können zu einer Verschlechterung der Holzqualität und damit zu einer deutlichen Entwertung des Holzes führen.

Man unterscheidet ferner zwischen den Wasserreisern und den **Maserknollen**. Letztere entstehen als Folge einer Wuchsstörung unter mikrobiellen Einwirkung. Es handelt sich um ein Büschel von neuen Ästen aus schlafenden Knospen, was auch als Knospensucht bezeichnet wird. Die von dieser Knospensucht befallenen Stammpartien können mit der Zeit beulenartig anschwellen, was zur Bildung der erwähnten Maserknollen oder auch Maserkröpfe im Holz führt. Diese Erscheinung wird u.a. hauptsächlich bei den Eichen beobachtet.

Die Bildung von Wasserreisern als natürlicher Mechanismus zur Vergrößerung der Krone bzw. zur Neubildung von Kronenteilen entsteht als Folge einer Störung des Gleichgewichtes zwischen dem Wurzel- und dem Blattwerk eines Baumes. Sie tritt z.B. bei Bäumen auf, deren Gesundheitszustand sich verschlechtert (v.a. bei der Tanne) oder deren Krone aus anderen Gründen ungenügend entwickelt ist. Dies ist vor allem in Beständen mit einer erhöhten Bestandesdichte der Fall. Man spricht in diesem Fall von **Angstreisern**, (Roussel, 1976).

Dasselbe Phänomen kann aber aufgrund anderer Ursachen auftreten. Das Sonnenlicht führt zum Abbau der Indolacetylsäure. Durch die Reduktion der Hormonkonzentration kommt es zur Aufhebung der Dormanz der schlafenden Knospen. Deshalb kann man die Bildung von Wasserreisern häufig bzw. entlang der Stammachse von älteren Bäumen beobachten, welche plötzlich freigestellt wurden. Dabei treten die Wasserreiser vor allem auf jenen Bereichen der Stammoberfläche auf, wo die direkte Sonnenbestrahlung am stärksten ist. Dies ist besonders auf der SSO - exponierten Stammseite der Fall. Man spricht in diesem Fall von **Lichtreisern**.

Genetische Unterschiede zwischen einzelnen Individuen und zwischen verschiedenen Populationen bewirken, dass der für die Bildung von Wasserreisern kritische Schwellenwert der Lichteinstrahlung (bzw. der Hormonkonzentration) beträchtlich differieren kann. Dies erklärt, warum gewisse Individuen eines Bestandes stärker von Wasserreisern befallen sind als andere Bäume, welche eigentlich unter denselben äusseren Bedingungen wachsen. Bei der Untersuchung der Klebastbildung in ausgewachsenen Buchenbeständen in der Lichtungsphase, fanden Altherr und Unfried (1984), dass Buchen, welche vor der Bestandeslichtung schon kleine Klebäste aufwiesen, mit wesentlich mehr Klebastbildung nach der Lichtung reagieren als die klebastfreien Individuen. Dies deutet auf die postulierten genetischen Unterschiede hin und gleichzeitig eröffnet es ein Kriterium für die Auslese von verbleibenden Buchen in der Lichtungsphase.

Die auf die Bildung von Klebästen am empfindlichsten Baumarten sind die Eichen, wobei die Stieleiche anfälliger ist als die Traubeneiche, die Ulme, die Linde, die Tanne und etwas weniger auch die Buche und die Esche.

### 2.4.3 Möglichkeiten der waldbaulichen Kontrolle der Klebastbildung

Die mechanische Entfernung von Wasserreisern erweist sich als völlig illusorisch, es sei denn, sie sind noch nicht verholzt (Evans, 1983). In solchen Fällen bilden sich auf dem Wundgewebe von entfernten Wasserreisern Adventivknospen, welche meist wieder zur Bildung von neuen Wasserreisern bzw. Klebästen führen. Verschiedene andere technische Schutzmassnahmen, wie etwa das Überpinseln des Stammes mit Anstrichmitteln oder die Einwicklung der Stämme mit Polyäthylenfolien haben sich als erfolglos erwiesen (Evans, 1983).

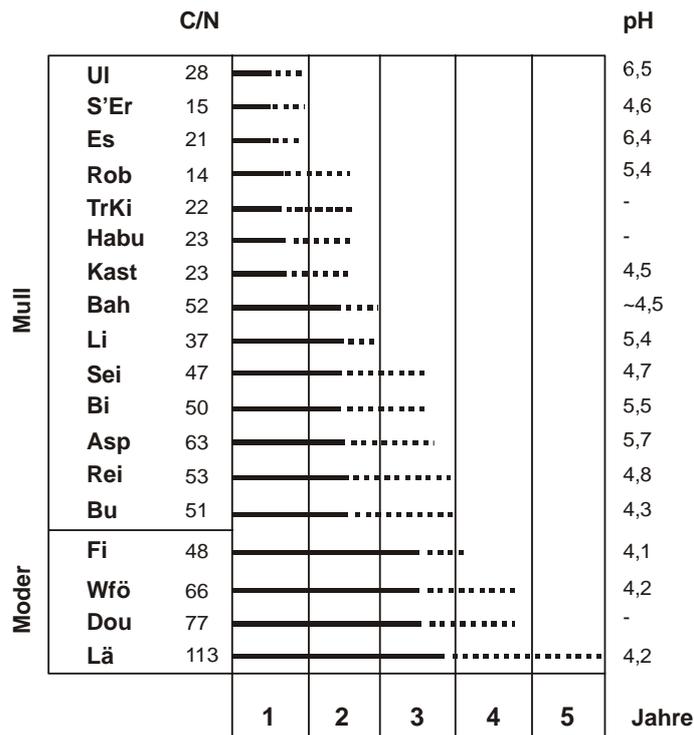
Im Gegensatz zu diesen technischen Massnahmen versprechen waldbauliche Mittel mehr Erfolg. Die Förderung von kräftigen, vitalen Bäumen mit gut entwickelten Kronen durch Durchforstungseingriffe versichert ein guter physiologischer Zustand und ein ausgeglichener Hormonhaushalt der Bäume und garantiert somit die Aufrechterhaltung der Dormanz der schlafenden Knospen. Das ist der Grund, warum beim Qualitätswaldbau mit klebstanfälligen Baumarten (z.B. Eiche) kräftige Pflegeeingriffe ab Stangenholz zu empfehlen sind. Andererseits ist die Begründung bzw. Förderung eines erzieherischen Nebenbestandes die wirksamste Massnahme.

Eine weitere Form der Sicherstellung von klebastfreien Stämmen geht über die Förderung einer guten Umhüllung der Hauptstämme durch sozial untergeordnete Elemente einer Bestockung (oder Nebenbestand). Als Nebenbestand versteht man die sich im Unterwuchs einstellende und sozial untergeordnete Baumbestockung, welche sich von Beginn an oder wesentlich später einstellt. Je nach der Funktion des Nebenbestandes unterscheidet man zwischen Nebenbestand mit bodenpflegerischen, stammerzieherischen Funktionen oder die einer additiven Produktion.

#### Nebenbestand mit bodenverbessernder Funktion

In fast allen Bestandestypen ist die Anwesenheit im Unterstand von nützlichen, kommensalen Begleitbaumarten erwünscht. Dies wird unter anderem aus Gründen der ökologischen Diversität und zur Vermeidung von allelopathischen Problemen während der Verjüngungsphase angestrebt. Diese Begleitbaumarten sollen dabei vorzugsweise in untergeordneter sozialer Stellung, im Unterholz bis in der Mittelschicht bleiben. Wenn der Nebenbestand aus boden- und bestandesklimaverbessernden Baumarten zusammengesetzt ist, trägt er zur Schaffung der biologischen Aktivität des Standortes bei (siehe dazu Abb. 2.20).

Dies kann besonders auf Standorten mit reduzierter Nährstoffversorgung sehr nützlich sein. Günstig wirkend sind dabei Baumarten, deren Laubstreu schnell abgebaut wird, und welche zusätzlich den Halbschatten dauerhaft ertragen. Dies sind die **Linde** und die **Hagebuche**, auf vernässten Böden die **Traubenkirsche** und auf trockeneren Standorten die **Elsbeere**. Wenn sich ein solcher Nebenbestand einmal installiert hat, so bedarf er, mit Ausnahme der Lichtdosierung zur Sicherung einer ausreichenden Entwicklung, kaum mehr besonderer Aufmerksamkeiten.



**Abb. 2.20:** Abbaugeschwindigkeit der Streu der Hauptbaumarten.

nach Scheffer und Ulrich (1960); in: Ellenberg (1963)

### Nebenbestand mit additiver Produktion

In einem anderen Fall, nämlich demjenigen, wo der Hauptbestand aus Lichtbaumarten besteht, welche während der Phase des starken Wachstums eine Lichtkrone benötigen, die praktisch frei von seitlicher Konkurrenz sein muss, wird der vorhandene Wuchsraum nicht vollständig ausgenutzt. Somit bleibt genügend Platz und Licht für eine ergänzende, zusätzliche Produktion übrig. Dies ist z.B. unter der Lärche und in geringerem Ausmass auch unter der Waldföhre der Fall. Um in einem solchen Fall die negativen Einwirkungen der Nebenbaumarten durch Einwachsen im Kronenraum zu vermeiden, ist es wünschenswert, dass der Nebenbestand mit einer genügend zeitlichen Verschiebung begründet wird, egal ob er sich natürlich installiert oder ob er künstlich eingebracht wird. Geeignete Baumarten sind dabei: Buche, Hagebuche, Linde oder anderen schattenertragenden Baumarten.

### Nebenbestand mit erzieherischer Funktion

Ein Nebenbestand mit erzieherischer Funktion ist angebracht für den Schutz gegen Entwicklung von unerwünschten Klebbästen. Im Fall einer empfindlichen Baumart soll der Nebenbestand, die Schaftachsen der Elitebäume des Hauptbestandes gut einpacken. In solchen Fall ist der Nebenbestand ein wesentlicher Bestandteil des Produktionskonzeptes. Es ist empfehlenswert, ihm schon von Beginn der Gründung des Hauptbestandes einzubringen bzw. während der ganzen Phase der Pflegeeingriffe die notwendige Aufmerksamkeit zu schenken. Dies gilt hauptsächlich für das Waldbauziel der Eichen-Qualitätsholzproduktion, aber auch für andere Baumarten wie etwa Ulme und Linde.

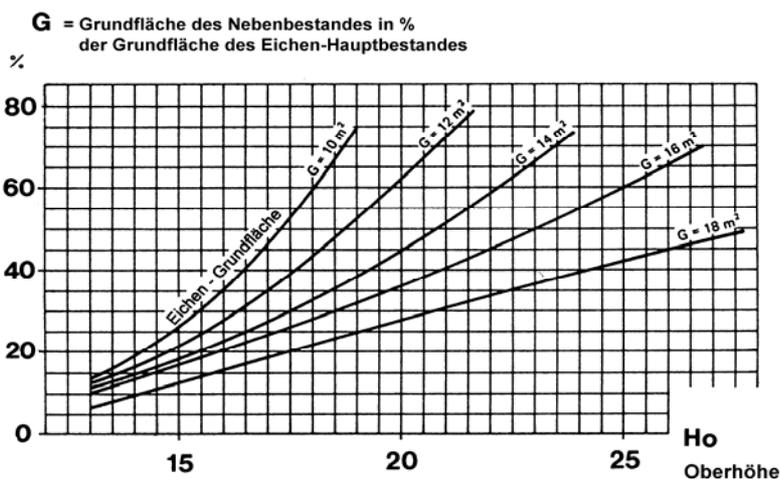
Das Problem eines solchen Nebenbestandes mit erzieherischer Funktion besteht darin, dass er einerseits dem Hauptbestand immer untergeordnet und auf den Wuchsraum unterhalb der Kronenschicht der Hauptbaumarten begrenzt bleibt, trotzdem aber praktisch während der ganzen Produktionsdauer genügend dicht sein muss, um die Erfüllung seiner Funktion gewährleisten zu können. Dazu ist notwendig, dass die Baumarten, welchen diese Rolle

übertragen wird, einerseits den Schatten gut ertragen, sich aber andererseits auch nicht zu schnell entwickeln, da sonst das Risiko besteht, dass sie in die Kronen der Eichen in der Hauptschicht einwachsen. Ferner müssen die Baumarten des Nebenbestandes sich auch ausreichend verjüngen können, um eventuelle unvermeidliche bzw. unvorhergesehene Ausfälle ersetzen zu können.

Allein die Winterlinde, die Hagebuche und die Buche können gleichzeitig all diese einschränkenden Anforderungen erfüllen. Auch Nadelbäume, namentlich Tanne und Fichte, könnten diese Funktionen während einer gewissen Zeit erfüllen. Aus Gründen von Verjüngungsschwierigkeiten und insbesondere ihrer Tendenz, zu schnell von unten her in die Hauptschicht einzuwachsen und dabei die Kronen der Wertträger zu durchdringen, sind sie nicht zu empfehlen. Ferner ist bei den Nadelbäumen das Risiko zu gross, dass sie in Trockenperioden stark in Mitleidenschaft gezogen werden oder gar ganz ausfallen und dadurch ihre Funktion nicht mehr ganz erfüllen können.

Heute, aus der Sicht eines aktiven Eichenwaldbaus mit einer Umtriebszeit von ungefähr 160 Jahren, empfiehlt man, im Falle der künstlichen Bestandesbegründung durch Pflanzung, die Begleitbaumart ebenfalls gleich zu Beginn, d.h. gleichzeitig mit den Eichen einzubringen. Die untergeordnete Baumart hat sehr oft die Neigung, schneller als die Eiche zu wachsen. Deshalb ist es empfehlenswert, die Nebenbestandesbaumarten im Zuge der Jungwuchs- und allenfalls auch der Dickungspflege, wenn nötig sogar mehrere Male, zurückzuschneiden (bzw. zu köpfen).

In natürlich entstandenen Jungwüchsen soll die Entwicklung der Begleitbaumarten ebenfalls sehr früh begünstigt werden. Der Nebenbestand, der ja auf die Unterschicht beschränkt bleiben muss und sich nur langsam entwickeln darf, muss aber ab der Stufe der Stangenholzes genügend gut entwickelt sein. Da die Eichen aus erzieherischen Gründen in der Jugend, d.h. auf jeden Fall während der Dickungsphase, noch dicht gehalten werden müssen, soll gut auf die Regelung der Bestockungsdichte geachtet werden. Man stellt jedenfalls eine gute Beziehung zwischen der Dichte des Eichenhauptbestandes, ausgedrückt in der Grundfläche, und dem Ausmass der Entwicklung des Nebenbestandes fest (siehe Abb. 2.21).

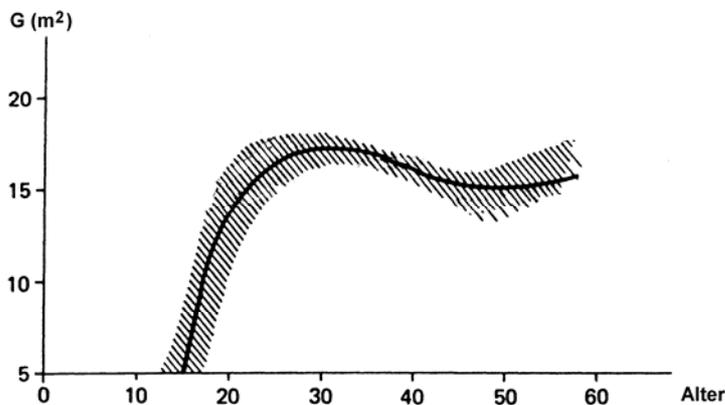


**Abb. 2.21:** Entwicklung des Nebenbestandes unter Eichenbestockungen in Abhängigkeit der Dichte der Hauptbestockung (gemessen an seiner Grundfläche).

nach Schütz und Badoux (1979)

Somit kann man für die Jugenderziehung vorschlagen, die Eichen vorläufig eher dicht zu behalten. Im Stangenholz dagegen, (wenn die Erziehung der Eichen, d.h. die Bildung ihrer Schaftachsen, mehr oder weniger abgeschlossen ist, wird dann die Dichte der Bestockung merklich reduziert, um dadurch die Entwicklung und die Entfaltung des Nebenbestandes zu

sichern. Letztendlich, ab dem starken Stangenholz, wenn sich der Nebenbestand soweit entwickelt hat, dass er seine Funktion der Umhüllung der Stämme der Elitebäume erfüllen kann, ist es empfehlenswert, die Stärke der Eingriffe wieder zu mässigen. Die Dichte von derart gepflegten Eichenbeständen folgt damit in der Jugend einem modulierten Verlauf, wie er in der Abbildung 2.22 dargestellt ist.



**Abb. 2.22:** Vorgeschlagene Bestockungsdichten bei der waldbaulichen Behandlung von Werteichen, um die Entwicklung des Nebenbestandes zu fördern.

nach Schütz und Badoux (1979)

Als Alternative besteht die Vorstellung, bei der Bestandesbegründung Samenbäume für den Nebenbestand der Hauptbaumart extensiv zu vermischen (in sehr vereinzelt Truppen), welche später für eine natürliche Ansammlung der Nebenbestandbaumarten sorgen sollen. Eine weitere Alternative stellt die Methode der Eiche ab der Dickungsstufe in sozial gleichwertiger Mischung mit einer anderen Laubbaumart, vorzugsweise der Hagebuche, die der Gestaltung des Wuchs- bzw. Kronenraumes dient, dar. Durch eine entsprechende Pflegepraxis sorgt man allerdings dafür, dass die Begleitbaumart nicht zu stark dominiert. Dabei strebt man an, eine Grundflächenhaltung des Eichenbestandes von nur etwa  $8 \text{ m}^2 / \text{ha}$  zu erreichen.

Wie dem auch sei, die Anwesenheit eines gut entwickelten Nebenbestandes führt zu einer Vereinfachung der Durchforstungseingriffe in den Entwicklungsstufen des Stangen- und Baumholzes. Die Anwesenheit eines Nebenbestandes erlaubt in der Tat eine viel feinere Dosierung der Kronenbefreiungseingriffe. Um den Nebenbestand zu begründen, wählt man am besten jene der erwähnten Arten, welche sich auf dem fraglichen Standort am wenigsten wohl fühlt und welche deshalb unter diesen Bedingungen auch keine allzustarke Wuchskraft ausübt.

Die grösste Schwierigkeit bei der Nebenbestandespflege ist die Sicherung einer genügenden Stabilität. Da die Nebenbestandesbäume im Halbschatten aufwachsen, haben sie die Tendenz, sehr zierlich und feinwüchsig zu bleiben und unter Schneefällen oder starken Gewitterregen zu leiden. Eine genügende Stabilität des Nebenbestandes erreicht man am besten, indem man eine stufige Struktur anstrebt. Dazu kann man, neben anderen Massnahmen zur Stabilisierung, auch das Köpfen bzw. ein Zurückschneiden der Krone der Nebenbestandesbäume ins Auge fassen.

---

### 3. DIE TYPOLOGIE: GRUNDLAGE DER WALDBAUANALYSE

---

Der Wald ist nämlich mehr als ein einfaches, mehr oder weniger zufälliges Nebeneinanderstehen von Bäumen. Wie schon Delvaux (1984) treffend formuliert hat, muss man den Wald als „eine lebendige Gemeinschaft von Bäumen“ mit einer genau festgelegten und charakteristischen Hierarchie und Dynamik betrachten.

Bei jedem Waldteil bestimmen die Konstellationen von relevanten Standortfaktoren, sowie auch die waldbauliche Vergangenheit und die bestehenden aktuellen waldbaulichen Zielsetzungen die Waldentwicklung. Um diese Faktoren richtig zu verbinden, wird die waldbauliche Analyse als entscheidende Tätigkeit betrachtet. Sie erfolgt bei jedem Kontakt mit dem Wald quasi automatisch. Sie ist also die Grundlage des waldbaulichen Entscheidungsprozesses (siehe Abschnitt 3.3).

Bei der waldbaulichen Analyse geht es in erster Linie darum, den Bestand so genau wie möglich durch Beschreibung seiner elementaren, d.h. ihn aufbauenden Bestandteile zu charakterisieren. Eine Bestandesbeschreibung setzt deshalb in erster Linie voraus, dass man über passende typologische Kriterien verfügt. Damit sie brauchbar ist soll vor allem klare und präzise Ausdrücke enthalten. Die Beschreibung des Waldes erfolgt nicht um ihrer selbst willen. Sie dient vielmehr dazu, eine treffende Beurteilung zu geben, welche die Grundlage für eine waldbauliche Entscheidung und somit auch für die darauffolgenden waldbaulichen Massnahmen darstellt.

#### 3.1 GRUNDEINHEIT UND OPERATIVE EINORDNUNG

Beim der Beschreibung geht es darum, sich nicht in unwesentlichen Details zu verlieren, sondern die elementaren Einheiten zu definieren. Dabei handelt es sich um Waldpartien, die genügend homogen sind, so dass ihnen jeweils eine bestimmte waldbauliche Behandlung zugewiesen werden kann. Wie wir im Abschnitt 1.4.1 gesehen haben, ist diese Grundeinheit als **Bestand** bezeichnet.

##### Kleinere Einheiten als der Bestand

Gerade Jungbestockungen, d.h. vor allem Jungwüchse, Dickungen und schwache Stangenhölzer weisen oft kleinere Ausdehnungen als eine halbe Hektare auf. Sie verlangen aber nichtsdestotrotz spezielle ausgewiesene Pflegeeingriffe. Die Ausscheidung solcher Flächen als operationelle Einheiten wird nicht durch eine Minimalfläche begrenzt, sondern von der effektiven, zusammenhängenden Ausdehnung der entsprechenden Entwicklungsstufe, mit Ausnahme von zu kleinen Flächen für eine waldbauliche, langfristige Zukunft.

Diese elementaren Einheiten, d.h. die Jungwaldflächeneinheiten mit eigenständigen Pflegezielen und die einzelnen Bestände stellen die kleinsten operationellen Bausteine dar und bilden somit die elementaren Einheiten des Waldes. Sie werden **Bestockungseinheiten** genannt. Übertragen auf die operationelle Ebene, spricht man im Rahmen der waldbaulichen Planung von Pflegeeinheiten, da jeder Bestockungseinheit aufgrund ihrer individuellen physischen Eigenschaften ein bestimmter Pflegeeingriff zugeordnet werden kann. Siehe dazu Tabelle 3.1.

**Tabelle 3.1:** Ebenen für die waldbauliche Analyse

Eingriffsart	Operationelle Einheiten	Bezeichnung	Einheit für die Planung
Jungwuchs- und Dickungspflege	mit entsprechender Entwicklungsstufe bestockte Fläche	Bestockungseinheit	Pflegeeinheit
Durchforstung	Bestand	Bestockungseinheit	Pflegeeinheit
Verjüngung	mehrere Bestände	mehrere Bestockungseinheiten	Verjüngungseinheit
Plenterung und besondere Betriebsarten	einheitliche Ausdehnungen	im allgemeinen die Abteilung	Pflegeeinheit = Abteilung

### 3.1.1 Typologische Kriterien

Die wichtigsten typologischen Kriterien zur Charakterisierung der Bestände sind die folgenden:

- die Erneuerungsart der Bäume
- die **Entwicklungsstufe**
- die vertikale Anordnung der Bäume im Raum (**Struktur**)
- die Art der Anordnung (**Schlussart**)
- der Grad der Überlappung der Kronen (**Schlussgrad**)
- die Art und Weise der Baumartenmischung oder **Textur**.

Weitere wichtige Kriterien sind:

- der Gesundheitszustand
- die Vitalität
- die individuelle und kollektive Stabilität
- die Stammqualität
- die Schäden und Krankheiten

In gewissen Fällen ist es auch angebracht, den Zustand bzw. die Brauchbarkeit einer eventuell bereits vorhandenen Verjüngung zu beurteilen.

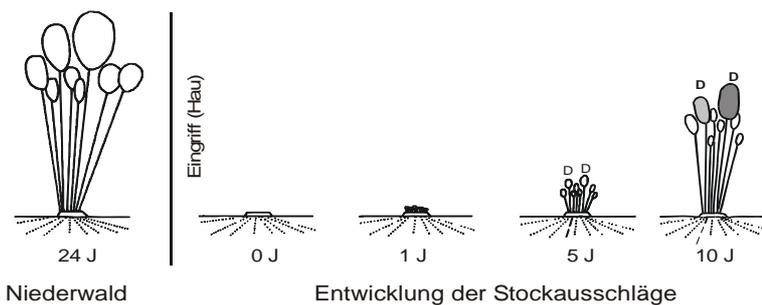
### 3.1.2 Grundformen

Aufgrund der Erneuerungsart unterscheidet man zwei **Grundformen** des Waldes:

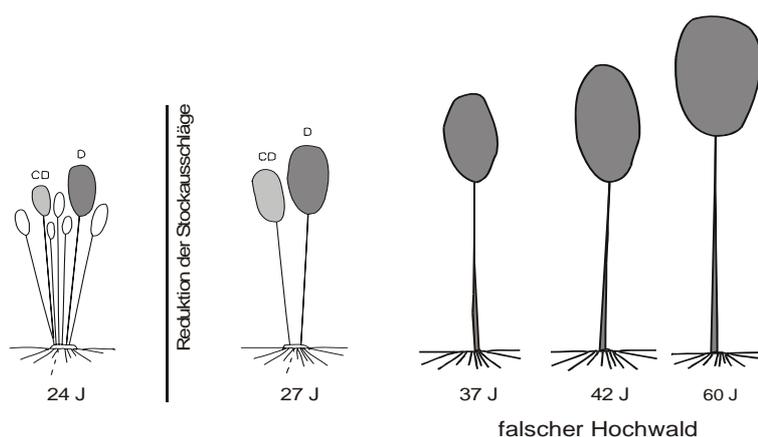
- den **Niederwald** (N) aus ausschliesslich vegetativer Vermehrungsart, bestehend meistens aus **Stockausschlägen**, manchmal aus **Wurzelbrut**;
- den **Hochwald**, der allein aus Bäumen zusammengesetzt ist, die aus Samen (sog. **Kernwüchsen**) entstanden sind. Er kann in der Struktur sowohl ungleichförmig, oder sogenannt **plenterartig** (P) oder gleichförmig (H) sein. Im letzteren Falle haben wir mit einer flächenhaften Verjüngung oder kollektiven Verjüngung zu tun.

Der **Mittelwald** (M) stellt eine Zwischenform dar. Er ist aus vegetativ verjüngten Elementen (im wesentlichen die Hauschicht) und aus generativ verjüngten Bäumen (Kernwüchsen) zusammengesetzt (Oberholz).

Die Bezeichnung „hochgewachsener Niederwald“ oder „falscher Hochwald“ (französisch: *futaie sur souche*) ist in der Schweiz, ausser vielleicht auf der Alpensüdseite, wenig bekannt. Unter diesem Ausdruck versteht man einen Stockausschlagwald welchen man aber ebenso lang wie einen Hochwald wachsen lässt. Bei Hiebsreife unterscheidet er sich deshalb in seinem physionomischen Aspekt kaum mehr von einem echten Hochwald. Eine solche Bestandesform ist im mediterranen Raum bzw. in trockenen Tropenwald sinnvoll (siehe Abb. 3.2), wo sie die Vorteile des Nachwachsens aus dem vorhandenen Wurzelsystem mit Erreichung von guten einzelnen Stammformen kombiniert.



**Abb. 3.2:** Übergang des normalen Stockausschlagwaldes (oder Niederwald) zum falschen Hochwald (*futaie sur souche*) durch sukzessive Reduzierung der Anzahl Ausschläge.



nach Amorini et al. (1988)

Unter **Bestandesform** versteht man den charakteristischen Aspekt der Bestockung, der aus ihrer Grundform und der waldbaulichen Behandlung hervorgeht. Typologisch unterscheidet man grundsätzlich die folgenden Bestandesformen:

## Abkürzung

H	Hochwald, aus flächenweiser Verjüngung stammend
P	Hochwald, mit plenterartigem Charakter oder eigentlicher Plenterwald
M	Mittelwald
M <sup>+</sup> =	oberholzreicher Mittelwald
M <sup>-</sup> =	oberholzarmer Mittelwald
(M) =	Mittelwald in Überführung
N	Niederwald;
(N) =	Niederwald in Überführung

Der Vollständigkeit halber kann man diesen gebräuchlichen Formen noch die **Überhälter**, die **Waldweide** (oder Wytweide) und weitere kaum mehr übliche Formen agro-forstlicher Mischnutzung wie etwa die **Selven** (oder Fruchtplantage, Fruchthaine) oder den **Schneitelbetrieb** (abschneiden von belaubten Ästen zur Gewinnung von Futter und Streu) und **Kopfhholzbetrieb** (z.B. zur Gewinnung von Ruten für die Korbflechterei) hinzufügen sowie die **Korkgewinnungsplantagen** sowie verschiedene Formen von Plantagenwirtschaft oder Lignikultur, z.B. Pappelkulturen.

### 3.1.3 Entwicklungskriterien

Sofern es sich nicht um Bestände mit ungleichförmiger, stufiger Struktur handelt, gehört das **Alter** eines Bestandes zu den typologisch und waldbaulich bedeutendsten Kriterien. Das Bestandesalter steht in engem Zusammenhang mit der Dynamik der Entwicklung (oder Sylvigeneese) eines Bestandes und den entsprechenden waldbaulichen Eingriffen.

Weil es schwierig ist, bei stehenden Bäumen das genaue Bestandesalter zu bestimmen, ist es angebracht, die Entwicklungsstufen der Bestände durch die Dimensionen der Bäume, genauer gesagt durch deren **Durchmesser** gegeneinander abzugrenzen. Dazu verwenden wir den Begriff des **Oberdurchmessers** ( $D_o$  oder  $d_{dom}$ ). Es handelt sich hierbei um den mittleren Brusthöhendurchmesser der 100 dicksten Bäume (stärksten Stämme) pro Hektare. Es handelt sich hier also um den mittleren BHD der stärksten Bäume, welcher jeweils im Umkreis von etwa einer Are zu finden sind. Die **Oberhöhe** ( $h_{dom}$ ) wird in analoger Weise definiert. Der Oberdurchmesser eines Bestandes ist relativ leicht zu erfassen und für den Hauptbestand repräsentativer als der Mitteldurchmesser, der früher gebraucht wurde. Dies gilt insbesondere für Bestände, welche einen Unterwuchs oder einen gut entwickelten Nebenbestand aufweisen.

Die Entwicklungsstufen sind in Oberdurchmesserklassen von 10 cm Breite unterteilt. Die Bäume, die offensichtlich nicht dem zu beschreibenden Kollektiv angehören, so z.B. die Überhälter, die extrem Vorwüchsigen und die Bäume eines Vorbaues, werden für die Berechnung des Oberdurchmessers nicht miteinbezogen. Im besonderen Fall von zweischichtigen Beständen, wo beide Schichten für eine Hauptproduktion bestimmt sind, ist es angebracht, den Oberdurchmesser für jede Schicht getrennt zu berechnen.

Wir unterscheiden die folgenden Entwicklungsstufen:

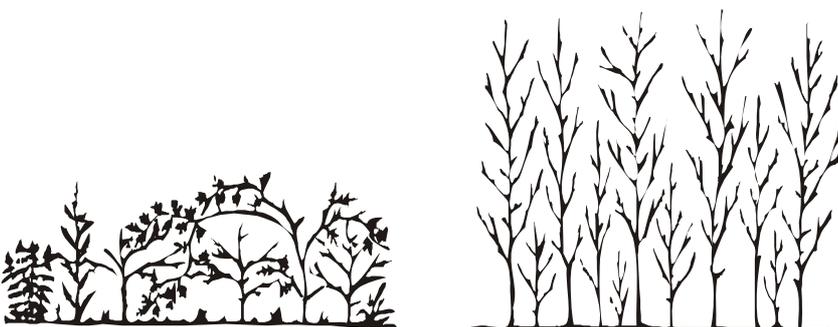
**Die Ansamung** (A) beinhaltet die **Keimlinge** (junge Bäume, welche die Keimblätter noch tragen) und den **Aufwuchs** (d.h. junge Bäume oder Sämlinge, mit verholztem Stängel, die erst wenige Jahre alt sind und eine Höhe von maximal etwa 20-30 cm aufweisen). Dieser Zustand verkörpert die Phase der Installation des jungen Waldes. Während dieser Zeit investieren die Bäume ihre gesamten Kräfte in die Entwicklung ihres Tiefenwurzelsystems, um ein allfälliges

Austrocknen zu verhindern. Diese Phase der Entwicklung ist auch durch eine noch starke Konkurrenzierung der kleinen Bäumchen durch die Unkrautvegetation der Krautschicht gekennzeichnet. Im forstlichen Sprachgebrauch werden auch verschiedene Formen der Ansamung unterschieden, je nach der Verbreitungsart der Samen, nämlich einerseits den sog. **Aufschlag** für Baumarten mit schweren Samen (Eiche, Buche, Edelkastanie, etc.) und andererseits den **Anflug** für windverfrachtete Samen.

**Der Jungwuchs (J, K)** besteht aus jungen Bäumen, welche normalerweise die Krautschicht überragen, jedoch die Höhe von 1.3 m, auf welcher üblicherweise der Stammdurchmesser gemessen wird, in der Regel noch nicht erreicht haben. Nach der Art der Vermehrung unterscheidet man zwischen dem **natürlichen Jungwuchs (J)**, welcher aus natürlicher Ansamung hochgewachsen ist und der Pflanzung bzw. **Kultur (K)**. Für den natürlichen Jungwuchs sind eine sehr hohe Pflanzendichte und eine Variabilität im Alter und der Statur der einzelnen Bäumchen kennzeichnende Merkmale. Oft vermag er die Fläche jedoch nur unvollständig zu bedecken, was deshalb erlaubt künstliche Ausbesserungen oder Ergänzungspflanzungen in Betracht zu ziehen. Die Kultur ist dadurch gekennzeichnet, dass der **Kronenschluss**, d.h. der Moment, in dem sich die Kronen der Bäume berühren und somit ein kompaktes Kollektiv bilden, noch nicht erreicht ist. Aufgrund der Statur und der Höhe der Bäume ist dieser Entwicklungszustand noch stark durch den Wildverbiss und durch Fröste gefährdet. Die Frostgefährdung ist auf reliefbedingten Standorten wie Talkesseln, Depressionen oder Mulden sehr hoch.

**Die Dickung (D)**. Ab dem Dickungsstadium grenzen sich die Entwicklungsstufen in Oberdurchmesser-Klassen von jeweils 10 cm ab. Die Dickung stellt eine Jungbestockung mit einem Oberdurchmesser von maximal 10 cm dar. Dies ist der Lebensabschnitt, bei dem der Kronenschluss im allgemeinen erreicht wird und bei welchem der Wettbewerb im Innern des Kollektives beginnt und somit zu einer sozialen Differenzierung (Hierarchie) führt. Als weitere typische Eigenschaft der Dickungsstufe kann auch ihre Undurchdringlichkeit genannt werden.

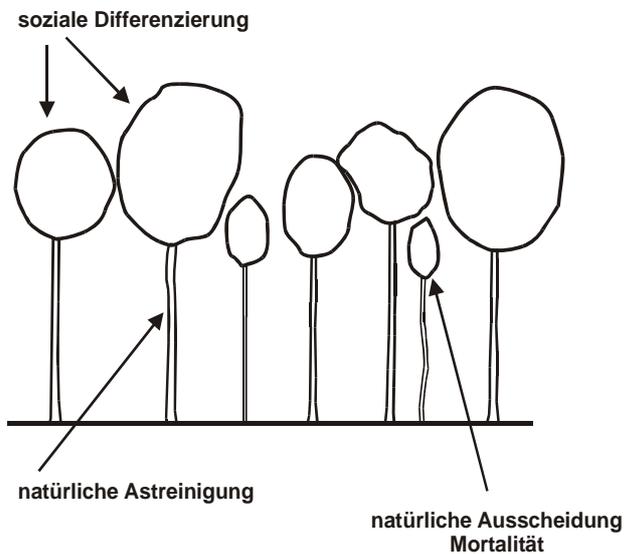
Bezüglich Formen des Wettbewerbes unterscheidet man zwischen der **interspezifischen Konkurrenz**, d.h. der Konkurrenz im eigentlichen Sinne, die den Kampf zwischen den jungen Bäumen und der nicht baumartigen Vegetation beschreibt, und der **intraspezifischen Konkurrenz** oder der Konkurrenz zwischen den forstlich erwünschten Bäumen, in der Regel derselben Art, (siehe Abb. 3.3).



**Abb. 3.3:** Interspezifische und intraspezifische Konkurrenz.

**Das Stangenholz (S1, S2)**. Während der Entwicklungsstufe des Stangenholzes liegt der Oberdurchmesser einer Bestockung zwischen 10 und 30 cm. Man unterscheidet **schwaches Stangenholz (S1)**, mit einem Oberdurchmesser zwischen 10 und 20 cm und **starkes Stangenholz (S2)** mit einem DO zwischen 20 und 30 cm. Dies ist die Lebensphase, in der die Bäume das stärkste Streckungswachstum aufweisen. Als Folge davon findet hier auch die schnellste Zunahme des Wettbewerbs statt, da der von den Bäumen benötigte Lebens- bzw.

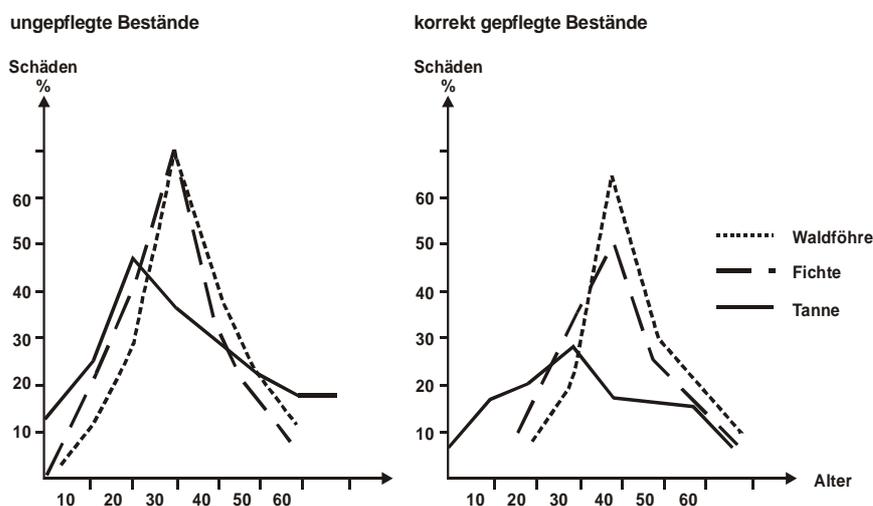
Kronen-Raum exponentiell zur Baumhöhe ansteigt. Die logische Folge davon ist eine immer deutlicher ausgeprägte soziale Ausdifferenzierung innerhalb des Kollektives, was den Beginn des Phänomens der natürlichen Astreinigung darstellt sowie im Endeffekt zum Absterben bzw. zum Ausscheiden der sozial niedrigsten Elemente Siehe Abb. 3.4.



**Abb. 3.4:** Soziale Differenzierung und ihre Folgen in der Entwicklungsstufe des Stangenholzes.

Bezüglich Mortalität unterscheidet man zwischen dem **natürlichen Ausscheiden ersten Grades**, durch das Ausscheiden der Bäume aufgrund äusserer (exogener) Einflüsse (Fröste, Krankheiten) gegenüber dem **natürlichen Ausscheiden des zweiten Grades** unter dem Effekt des Wettbewerbes. Letzterer wird umso grösser, je länger mit den künstlichen, regulierenden Waldbau eingriffen zugewartet wird und je gemässiger und zurückhaltender sie ausfallen.

Der Wettbewerb bewirkt eine Erhöhung des **Schlankheitsgrades** der Stämme oder das **h/d Verhältnis**. Als Folge davon erhöht sich auch das Risiko von Schäden durch aufliegende Schneelasten (Schneebruch- und Schneedruckschäden). Nach den Beobachtungen von Kodrik (1970, 1972, 1982) in der Slowakei, lässt sich ein Maximum der Schneeschäden (Kronen- und Stammbrüche zusammengefasst) in den Altersklassen von 20-30 und 30-40 Jahre feststellen. Dabei fallen die Schäden in den gepflegten Beständen geringer aus als in unbehandelten. Bei korrekter Durchforstung betreffen sie ältere Entwicklungsstufen. Siehe dazu Abb. 3.5.



**Abb. 3.5:** Häufigkeit von Schneebruchschäden in Abhängigkeit des Bestandesalters (nach Altersklassen) und des Pflegezustandes.

nach Kodrik, in: Rottmann (1985)

Die Unterteilung in schwaches und starkes Stangenholz ist insbesondere aus pflegeorganisatorischen Gründen wichtig. Im schwachen Stangenholz werden die Eingriffe zur Stammzahlreduktion noch mit dem Gertel oder anderen manuellen Werkzeugen ausgeführt.

Unter der Bezeichnung **Jungwald** versteht man die Gesamtheit aller Entwicklungsstufen vom Jungwuchs bis zum Stangenholz.

**Das Baumholz (B1, B2, B3).** Ab einem Oberdurchmesser von 30 cm befindet sich eine Bestockung in der Entwicklungsstufe des Baumholzes, welches man folgendermassen weiter unterteilt:

- schwaches Baumholz (B1): Oberdurchmesser zwischen 30 und 40 cm
- mittleres Baumholz (B2): Oberdurchmesser zwischen 40 und 50 cm
- starkes Baumholz (B3): Oberdurchmesser über 50 cm

Der Gebrauch des Durchmessers als Kriterium zur Bestimmung der Entwicklungsstufe hat vor allem wirtschaftliche Gründe, da ja eine enge Beziehung zwischen der Dicke der Bäume und den daraus anfallenden Sortimenten besteht. Die Grenze von 50 cm entspricht, für die Nadelbäume, im grossen und ganzen dem Übergang zur obersten Stärkenklasse.

Auf Standorten mit schlechter Produktivität werden diese Dimensionen unter Umständen gar nie erreicht. Folglich kann auf diesen Standorten, auch im Falle von physiologisch alten Beständen, gar nicht mit eigentlichen starken Baumhölzern gemäss der obigen Definition gerechnet werden. Andererseits hat aber auch die waldbauliche Behandlung selbst, insbesondere der Durchforstungstätigkeit, einen deutlichen Einfluss auf die Entwicklungsstufen.

**Tabelle 3.6 :** Abgrenzung der Entwicklungsstufen

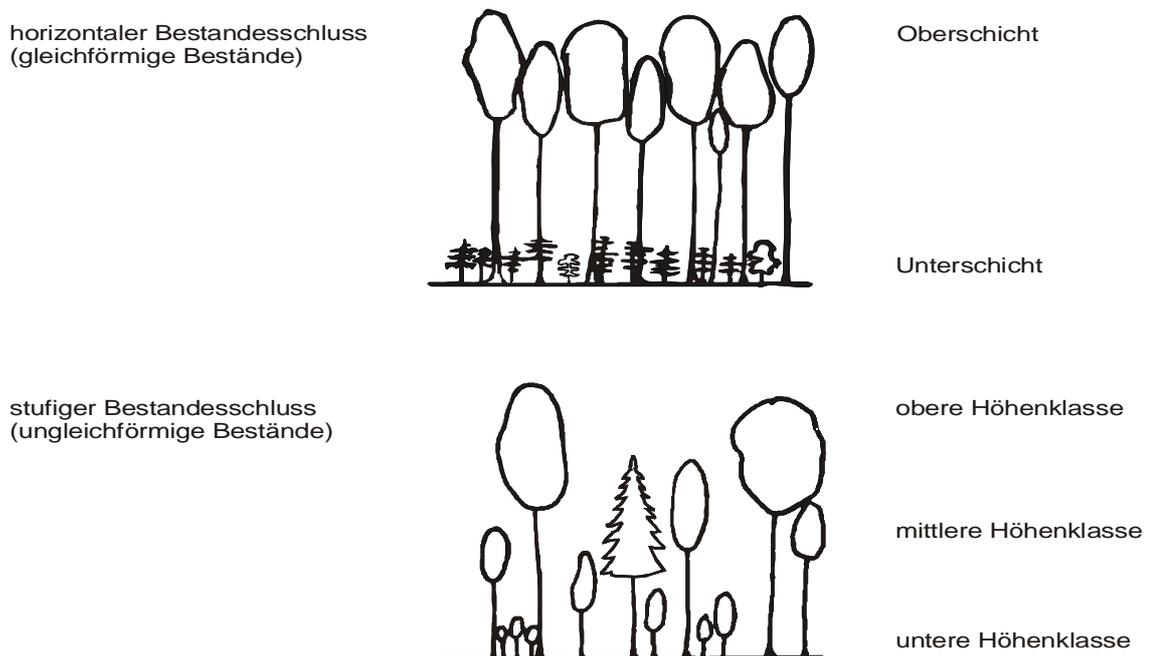
Entwicklungsstufe	Abgrenzung		Dauer	Risiken
	Oberdurchmesser (cm)	Oberhöhe (m)	Alterspanne (Jahre)	Risiken
Jungwuchs	0	0.3 - 1.3	5 - 10	Fröste, Wild, Mäuse
Dickung	0 - 10	1.3 - 8.0	5 - 10	Wild, Fröste, Schnee
Schwaches Stangenholz	10 - 20	8.0 -	- 0	Schnee
starkes Stangenholz	20 - 30	- 18	- 25	
schwaches Baumholz	30 - 40	> 18	65 -	
mittleres Baumholz	40 - 50			Wind
starkes Baumholz	> 50		- 80	Wind

Bei der Entwicklungsstufe des Baumholzes liegen die hauptsächlichen Risiken in den Sturmschäden. Sie können in Form von **Windbrüchen** (Stamm-, Kronen- oder Stockbrüchen) oder **Windwürfen** vorliegen.

Tabelle 3.6 fasst die gegenseitigen Abgrenzungen und hauptsächlichsten Eigenschaften der verschiedenen Entwicklungsstufen zusammen. Die für die Höhe und die Dauer jedes Entwicklungszustandes angegebenen Werte sind nur von hinweisendem Wert. Strikt gültig sie sind nur für Fichte unter mittleren Produktions- und Bonitätsbedingungen.

### 3.1.4 Strukturkriterien

Unter dem Begriff **Struktur** versteht man die Art und Weise, wie die Bäume im vertikalen Raum verteilt sind; während man unter **Bestandesschluss** die räumliche Anordnung der Baumkronen im speziellen versteht. Man unterscheidet folgende zwei Schlussarten (siehe Abb. 3.7):



**Abb. 3.7 :** Die zwei Formen des Bestandesschlusses.

- Der **horizontale Schluss** charakterisiert den gleichförmigen Bestand. Die Kronen der Bäume füllen mehr oder weniger den gleichen Teil des Raumes aus. Dabei bilden sie eine oder auch mehrere Schichten, welche sich aber deutlich voneinander unterscheiden lassen.
- Der **stufige Schluss** charakterisiert ungleichförmige Bestände, bei welchen sich die Kronen mehr oder weniger im ganzen vertikalen Raum verteilen und keine Schichtung erkennen lassen. Der stufige Schluss ist charakteristisch für den Plenterwald oder allenfalls den Mittelwald in der Überführungsphase.

Die zwei Formen des Bestandesschlusses entsprechen den zwei Formen von Sylvigenese nämlich die flächenweisen verjüngten Bestände einerseits und die Bestände mit kontinuierlicher Erneuerung wie beim Plenterwald.

Die gleichförmigen Bestände mit horizontalem Schluss bilden **Schichten**, innerhalb derjenigen der Wettbewerb zwischen den einzelnen Individuen des Kollektivs extrem gross ist. Zumindest

innerhalb von natürlich entstandenen Bestockungen gibt es eine deutliche soziale Ausdifferenzierung bzw. Hierarchisierung.

Bei der Beschreibung der stufigen Bestände werden drei gleich hohe **Höhenklassen** (obere, untere, mittlere) gebildet. Sie grenzen sich entsprechend je zu einem Drittel der Oberhöhe ab. Diese drei Höhenklassen repräsentieren die Lichtverhältnisse und somit auch die sich daraus ergebenden Wachstumsverhältnisse im Bestand.

### 3.1.5 Die soziale Hierarchie oder soziale Stellung in gleichförmigen Beständen

Für die Charakterisierung der unterschiedlichen sozialen Stellungen in gleichförmige Bestockungen wird die soziale Stellung nach Kraft (1884) angewendet (siehe dazu Abschnitt 2.2.2). Diese ist zwar wichtig, reicht aber alleine für eine komplette waldbauliche Beschreibung eines Baumes nicht aus. Für eine umgehende waldbauliche Analyse eines Baumes muss sie durch die Beurteilung der Vitalität, des Gesundheitszustandes und der Qualität ergänzt werden.

Darüber hinaus mag die Klassenbildung nicht alle Ansprüche zufriedenstellen erfüllen, weil es zwischen den sozialen Klassen doch viele Übergänge gibt. So wird heute für eine feinere Differenzierung der sozialen Positionen die Rangordnung der Bäume (bezüglich Höhe oder Durchmesser) verwendet.

### 3.1.6 Die Bestockungsdichte

Unter dem Begriff **Schlussgrad** versteht man das Mass der Bedrängung der Kronen innerhalb derselben Schicht. Der Begriff ist natürlich besonders für Bestände mit horizontalem Schluss von Bedeutung.

Man kann den Schlussgrad durch ein Dichtemass definieren, aber auch verbal auf folgende Art: (siehe dazu auch Abb. 3.8).

- **gedrängt:** Die Kronen konkurrenzieren sich seitlich so stark, dass ihre normale, regelmässige Entwicklung nicht mehr gewährleistet ist; und dass deshalb vorwiegend asymmetrische, einseitige, deformierte und kurze Kronen (Kronenlänge unter  $\frac{1}{4}$  der Baumlänge) entstehen.
- **normal:** Die meisten Kronen weisen eine Kronenlänge von  $\frac{1}{4}$  -  $\frac{1}{3}$  der Baumlänge auf. Die Kronen berühren sich. Zwischen den Kronen gibt es einzelne Zwischenräume.
- **licht:** Zwischen den einzelnen Kronen bestehen kleine Lücken, die jedoch so gering sind, dass noch eine gegenseitige Beeinflussung der Kronen, z.B. in Form von Beschattung oder Berührung bei Wind besteht.
- **locker:** Zwischen den einzelnen Kronen bestehen so grosse Zwischenräume, dass eine gegenseitige Beeinflussung praktisch wegfällt. Es besteht zwar noch eine geringe gegenseitige Beschattung aber keine Berührung mehr bei Wind. Die vorhandenen Zwischenräume sind allerdings noch nicht so gross, um ganze normale Kronen einschieben zu können.
- **räumig:** Es kann nicht mehr von einem eigentlichen Kronenschluss gesprochen werden. Die Kronen sind aber noch ziemlich regelmässig verteilt. Einige Zwischenräume wären gross genug, um ganze Kronen einschieben zu können.
- **lückig:** Der Kronenschluss weist so grosse Unterbrechungen, d.h. Löcher, auf, dass an jenen Stellen die Kronen mehrerer Bäume eingeschoben werden könnten.

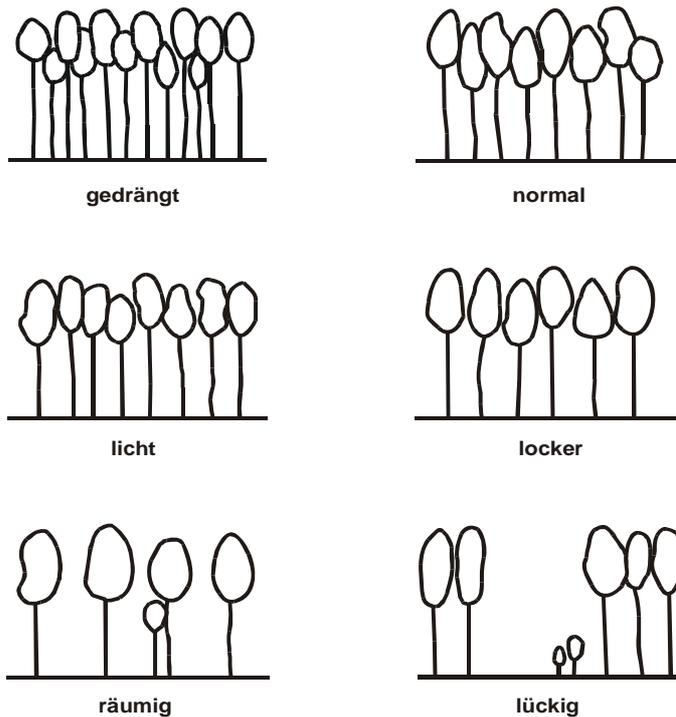


Abb. 3.8: Die Schlussgrade.

### Numerische Ausdrücke der Bestandesdichte

Sowohl für eine rasche Schätzung der gesamten Bestandesdichte, wie auch für wissenschaftliche Studien der Wettbewerbsphänomene, ist es notwendig, Ausdrücke für die Dichte zu definieren, welche unabhängig vom Alter und vom Entwicklungszustand sind. Je nach Ansprüchen verwendet man die folgenden verschiedenen numerischen Größen:

Der **Deckungsgrad** beschreibt jenen Anteil der Bestandesfläche, der durch die senkrechte Kronenprojektion bedeckt ist. Er ist der Quotient aus der Summe aller Kronenprojektionen (ohne Berücksichtigung der Kronenüberschneidungen) und der Gesamtfläche. Ein Deckungsgrad von 1.0 bedeutet, dass die gesamte Fläche des Waldbodens in mindestens einfacher Weise von Kronen überschirmt ist. Da gemäss Definition der Deckungsgrad mehrfache Überschirmungen nicht berücksichtigt, kann er den Wert von 1.0 nicht übersteigen (siehe dazu Abb. 3.9).

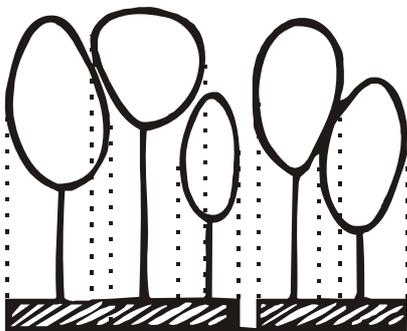


Abb. 3.9: Der Deckungsgrad

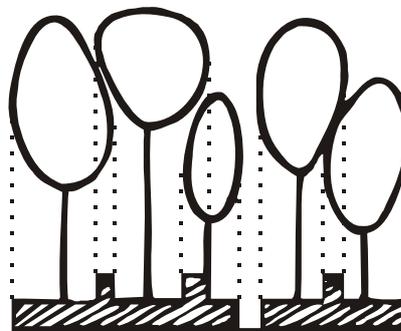


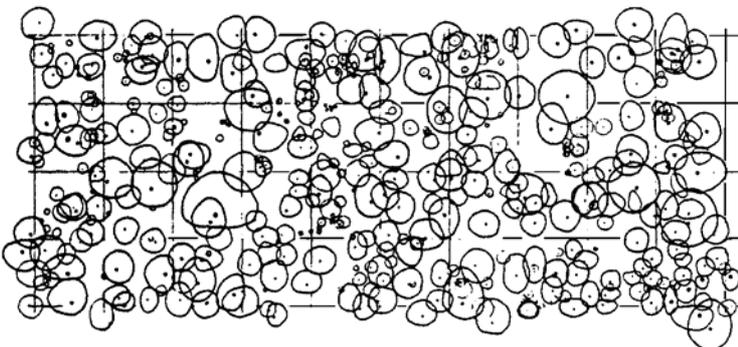
Abb. 3.10: Der Beschirmungsgrad

Der Deckungsgrad lässt sich gutachtlich relativ leicht und rasch im Wald abschätzen. Dazu schätzt man vorzugsweise zuerst seinen Reziprokwert, nämlich der nicht durch die Kronenprojektion bedeckte Flächenanteil. Der Deckungsgrad eignet sich besonders bei Bestandesbeschreibungen; und zwar sowohl für die Gesamtheit eines Bestandes wie auch für die einzelnen Schichten oder Höhenklassen. In diesem Fall entspricht die Summe der Deckungsgrade der verschiedenen Schichten oder Höhenklassen logischerweise nicht dem Deckungsgrad des gesamten Bestandes.

Der **Beschirmungsgrad** ist eine ähnliche Grösse wie der Deckungsgrad, allerdings mit dem entscheidenden Unterschied, dass hier die mehrfachen Überschirmungen mitberücksichtigt werden (siehe Abb. 3.10). Man definiert ihn als Quotient aus der Summe der ganzen Kronenprojektionen aller Bäume des Bestandes und der Bestandesfläche. Diese Grösse ist für numerische Verwendungen besonders angebracht, bei Vorliegen von Messungen der Kronenbreiten.

Im Gegensatz zum Deckungsgrad kann der Beschirmungsgrad den Wert von 1.0 manchmal sehr deutlich überschreiten. Zwischen dem Deckungsgrad und dem Beschirmungsgrad von gleichförmigen Beständen besteht gemäss Assmann (1961), eine Differenz von ungefähr 17-18%. Gemäss unseren eigenen Beobachtungen liegt er in jungen Beständen nach Pflegeeingriffen mittlerer Eingriffsstärke etwa bei 1,25. Im Falle von kräftigen Eingriffen ist noch etwa ein Beschirmungsgrad von 1,10 zu erwarten, während man nach schwachen Eingriffen noch etwa mit einem Wert von 1,40 rechnen kann. In stufigen Beständen, insbesondere im Plenterwald, kann er den Wert 2.0 oder mehr erreichen (siehe Abb. 3.11)

Plenterwald, Les Joux, Jura NE

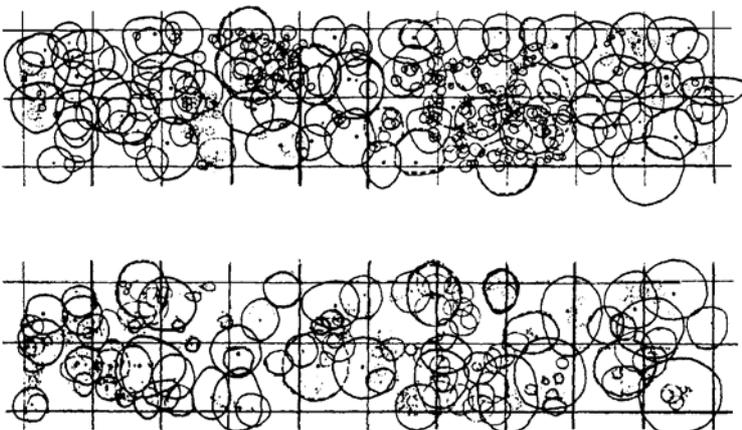


**Abb. 3.11:** Unterschiede zwischen Deckungsgrad und Beschirmungsgrad am Beispiel von zwei Plenterwäldern.

Aufriss der Kronenprojektionen.

(nach Schütz, 1979)

Plenterwald, Steffisburg, BE



Der Plenterwald von Les Joux (Oben) weist einen Beschirmungsgrad von 0,76 und einen Deckungsgrad von 0,65 auf. Der dichtere Plenterwald von Steffisburg (unten) weist einen Beschirmungsgrad von 1,71 und einen Deckungsgrad von 0,85 auf.

Der **Bestockungsgrad** ist ein Ausdruck der Bestockungsdichte bei Betrachtung ihrer Produktion, d.h. unter Zugrundelegung

einer Ertragstafel. Er gibt das Verhältnis zwischen der tatsächlich vorhandenen Grundfläche eines konkreten Bestandes und der theoretischen Grundfläche der Ertragstafel (Referenzmodellbestand) an, bei entsprechendem Alter und Bonität. Der Bestockungsgrad dient hauptsächlich als Bezugsgrösse für die Anpassung der Zuwachsschätzungen.

### **Andere numerische Ausdrücke der Bestandesdichte**

Es existieren noch viele andere Ausdrücke für die Dichte, welche mehr oder weniger unabhängig vom Entwicklungszustand sind und hauptsächlich für Forschungsarbeiten gebraucht werden. Es sollen hier drei davon genannt werden, welche ein gewisses Interesse hervorrufen.

### **Der Abstandskoeffizient von Hart und Becking**

Hart (1928) und später Becking (1952) haben einen Abstandskoeffizienten  $k$  entwickelt:

$$k = A / (H_o * 100)$$

wobei  $A$  der mittlere (quadratische) Abstand zwischen den Bäumen eines Bestandes. Er ist gleich  $100 / N$ ;  
 $N$  die Stammzahl / ha  
 und  $H_o$  die Oberhöhe (m) ist.

$k$  bezeichnet den relativen Abstand der Bäume proportional zur Höhe des Bestandes. Dieser Koeffizient wurde ursprünglich für die Charakterisierung der Dichte junger Bestände gebraucht. Da die Beziehung zwischen der Bestandeshöhe und der Dimension der Kronen oder dem Abstand der Bäume nicht konstant ist, verändert sich der Koeffizient mit dem Alter und damit weist er gewisse Grenzen auf. Der Gebrauch dieses Koeffizienten ist insbesondere unangebracht, wenn der Höhenzuwachs bereits abgeschlossen ist.

### **Der mittlere Baumabstand**

Da er leicht zu veranschaulichen ist, ist der mittlere Abstand der Bäume eines Bestandes ohne Zweifel eines der einfachsten Kriterien zur Beschreibung der Bestandesdichte.

Wenn die Bäume eines Bestandes optimal verteilt sind, (Dreiecksverteilung, d.h. Besetzung der Eckpunkte von gleichseitigen Dreiecken), so gilt die folgende Formel für die durchschnittliche, von einem Baum eingenommene Fläche ( $a^2$ ) als Quadrat des Abstandes  $a$ :

$$a^2 = (10000 * 2 \sqrt{3}) / N = (10000 * 1,155) / N$$

$N$  entspricht dabei der Stammzahl pro ha.

In Wirklichkeit beträgt der Raumausnutzungsfaktor nicht immer genau 1.155 (d.h.  $2 * \sqrt{3}$ ), sondern nähert sich in alten Beständen dem Wert von 1.05 (Schütz, 1985).

Der mittlere Abstand ( $a$ ) zwischen den Bäumen beträgt also:

$$a = \sqrt{(11550 / N)} = 107,5 / \sqrt{N}.$$

### Der Kronenbedrängungsgrad (Schütz, 1984)

Dieser Koeffizient, welcher anhand der Messungen der Kronenprojektionen berechnet wird, gibt die mittlere gegenseitige Überdeckung der Kronenprojektion an; und zwar in % des mittleren Abstandes zwischen den Kronen (oder in % des mittleren Kronendurchmessers).

$$K_{BG} = KD * \sqrt{N} / 107.5$$

KD ist dabei die mittlere Kronenbreite.  
N die Stammzahl pro ha.

Ein  $K_{BG}$  von 1,1 zeigt an, dass sich die Kronen im Mittel auf 10% ihrer Breite überschneiden. Die Vorteile dieser Formel liegen in der konkreten Darstellung des seitlichen Wettbewerbes zwischen den Kronen und der Tatsache, dass die Grössen direkt im Bestand geschätzt oder gemessen werden können. Eine direkte Messung der Kronenprojektionen ist nicht unbedingt notwendig.

Gemäss unseren Beobachtungen in relativ jungen, gleichförmigen Beständen, variieren die Kronenbedrängungsgrade  $K_{KB}$  zwischen folgenden Werten:

- 1,0 zeigt in Pflanzungen, dass der Moment des Bestandesschlusses erreicht ist. In älteren Beständen zeigt dieser Wert der Beginn einer Unterbrechung des Kronenschlusses an.
- 1,1 entspricht der Bestockungsdichte nach kräftigen Pflegeeingriffen.
- 1,2 ist die Dichte von normal gepflegtem Stangenholz und schwachem Baumholz.
- 1,8 ist die maximale Dichte von selbstbelassenen Beständen.

### 3.1.7 Aggregationskriterien (sog. Textur der Bestockungen)

Unter **Textur** versteht man die Art und Weise, wie die einzelnen Baumarten mengenmässig vertreten sind und in welcher Aggregierungsform sie vorkommen. Dieses Kriterium wird auch als **horizontale Struktur** bezeichnet.

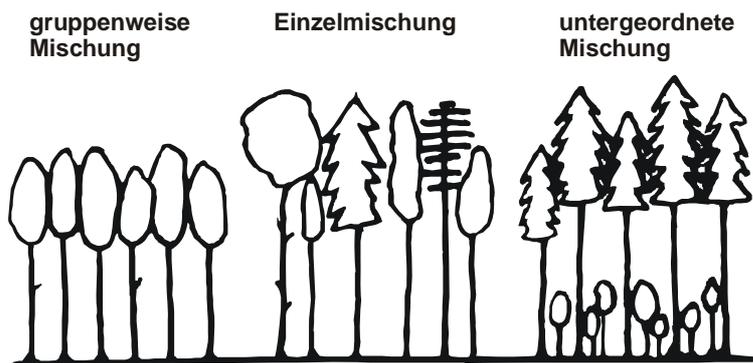
Konkret geht es darum, das Mischungsmosaik der Baumarten im Innern eines Bestandes zu definieren. Um dies zu beschreiben, beurteilt man an erster Stelle die **Mischungsart**, d.h. die im Bestand vorhandenen Baumarten, den **Mischungsgrad** oder die Häufigkeit (Flächenanteile) der verschiedenen Arten und schliesslich die **Mischungsform**, d.h. die Art und Weise, wie sich die verschiedenen Baumarten gruppieren. Die Schätzung der Mischungsverhältnisse wird gewöhnlich für jede Schicht separat vorgenommen.

Die **Mischungsart** gibt die vorhandenen Baumarten an.

Der **Mischungsgrad** gibt die Flächenanteile der einzelnen Baumarten in Prozent der durch die Kronenprojektion bedeckten Fläche für die entsprechende Bestandesschicht an. Als Beispiel:

40 Fi, 40 Bu, 20 WiLi. (Abkürzungen der Baumarten auf Tabelle 3.13.) Um in einer Beschreibung den Mischungsgrad verbal zu umschreiben, verwendet man ausserdem die folgenden, üblichen Adjektive:

- **vereinzelt:** Nur mit wenigen Individuen und unregelmässig vertreten.
- **eingesprengt:** Flächenanteil unter 10 % ; jedoch einigermaßen gleichmässig verteilt.
- **beigemischt:** Flächenanteil 10 bis 40 % ;
- **gemischt:** Die erwähnten Baumarten sind mit annähernd gleichen Flächenanteilen von über 40 % vertreten.



**Abb. 3.12:** Die Textur oder Aggregationsform der Baumarten in einer Bestockung.

Die **Mischungsform** beschreibt die Aggregationsform der beigemischten Baumarten (die Grösse der Mosaikkomponenten). Dabei gelten als Gruppierungsmuster:

- Der **Einzelständer** (e): Einzeln oder evtl. paarweise vorhandene Bäume, die sich von ihrer Umgebung deutlich unterscheiden.
- Der **Trupp** (t): Kleine, sich von der Umgebung unterscheidende Gruppierung von einigen Bäumen, die in der Baumholzstufe weniger als etwa 5 Bäume enthält und deshalb auch maximal 5 Aren gross ist.
- Die **Gruppe** (g): 5-10 Aren grosse Gruppierung von Bäumen, die in der Baumholzstufe mehr als 5 Bäume ausmachen.
- Der **Horst** (h): Gruppierung von Bäumen mit einheitlicher Zusammensetzung in einer Ausdehnung von 10-50 Aren. Seine Flächenausdehnung reicht für eine selbständige langfristige Zielsetzung nicht aus, da u.a. eine dauerhafte Kernzone nicht vorhanden ist. Im Rahmen einer Taxation wird deshalb der Horst normalerweise nicht als unabhängige Einheit ausgeschieden.

Im Fall von horizontal, gleichförmigen Beständen ist die schichtweise Beschreibung der Mischungsart, des Mischungsgrades und der Mischungsform ausreichend. Falls diese Bestände aus mehr als einer Schicht bestehen, muss wohlverstanden die Textur jeder Schicht separat auf diese Art und Weise beschrieben werden. Im Fall von ungleichförmigen, stufigen Beständen wird die Mischung für jede Höhenklasse separat betrachtet.

Der Begriff Mischung wird im Grunde im wesentlichen für die Beschreibung der horizontalen Anordnung der Komponenten eines Waldes sinnvoll. Gerade im Fall von Mischungen mit untergeordneten Bestandteilen können nun aber die Inhalte der Begriffe Textur und Struktur nicht immer sauber voneinander getrennt werden. In diesem Fall wird es notwendig, die funktionelle Bedeutung und die Entwicklungsaussichten der verschiedenen Komponenten (Schichten) eines Bestandes zu berücksichtigen. (siehe Abb. 3.14)

**Tabelle 3.13** Abkürzungen der verschiedenen Baumarten**Laubbäume**

Bu	Buche, Rotbuche	<i>Fagus silvatica</i>
Habu	Hagebuche, Hainbuche	<i>Carpinus betulus</i>
Ostrya	Hopfenbuche	<i>Ostrya carpinifolia</i>
St'Ei	Sieleiche	<i>Quercus robur</i>
Tr'Ei	Traubeneiche	<i>Quercus petraea</i>
Fl'Ei	Flaumeiche	<i>Quercus pubescens</i>
R'Ei	Amerikanische Roteiche	<i>Quercus rubra</i>
Cast	Edelkastanie	<i>Castanea sativa</i>
Es	Gemeine Esche	<i>Fraxinus excelsior</i>
Bl'Es	Blumenesche, Mannaesche	<i>Fraxinus ornus</i>
Nu	Walnussbaum	<i>Juglans regia</i>
B'Ul	Bergulme	<i>Ulmus glabra</i>
F'Ul	Feldulme	<i>Ulmus minor</i>
Fl'Ul	Flatterulme	<i>Ulmus laevis</i>
B'Ah	Bergahorn	<i>Acer pseudoplatanus</i>
Sp'Ah	Spitzahorn	<i>Acer platanoides</i>
F'Ah	Feldahorn	<i>Acer campestre</i>
Ac.op.	Schneeballblättriger Ahorn	<i>Acer opalus</i>
W'Er	Weisserle, Grauerle	<i>Alnus incana</i>
S'Er	Schwarzerle	<i>Alnus glutinosa</i>
Gr'Er	Grünerle, Alpenerle	<i>Alnus viridis</i>
As	Aspe, Espe, Zitterpappel	<i>Populus tremula</i>
W'Pa	Weisspappel, Silberpappel	<i>Populus alba</i>
Gr'Pa	Graupappel	<i>Populus x canescens</i>
S'Pa	Schwarzpappel	<i>Populus nigra</i>
S'Pa-hy	Schwarzpappelhybrid	<i>Populus x euramericana</i>
Wi'Li	Winterlinde	<i>Tilia cordata</i>
So'Li	Sommerlinde	<i>Tilia platyphyllos</i>
Ki	Wald-Kirschbaum	<i>Prunus avium</i>
Tr'Ki	Traubenkirsche	<i>Prunus padus</i>
H'Bi	Hängebirke, Warzenbirke	<i>Betula pendula</i>
M'Bi	Moorbirke, Haarbirke	<i>Betula pubescens</i>
Aria	Mehlbeerbaum	<i>Sorbus aria</i>
Vo'Be	Vogelbeerbaum, Eberesche	<i>Sorbus aucuparia</i>
Els	Elsbeerbaum	<i>Sorbus torminalis</i>
Domestica	Speierling	<i>Sorbus domestica</i>
Rob	Robinie	<i>Robinia pseudoacacia</i>
Sal	Salweide	<i>Salix caprea</i>
W'Wei	Weissweide, Silberweide	<i>Salix alba</i>

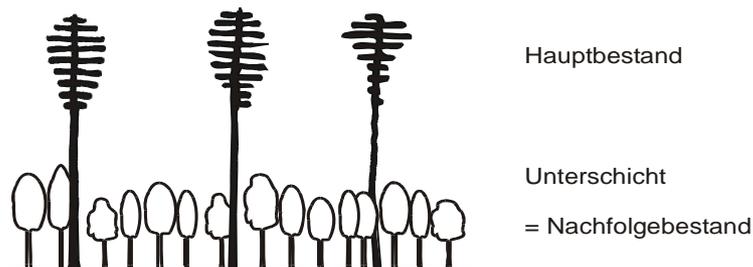
**Nadelbäume:**

Fi	Fichte, Rottanne	<i>Picea abies</i>
Ta	Tanne, Weisstanne	<i>Abies alba</i>
Lä	Lärche	<i>Larix decidua</i>
J'Lä	Japanlärche	<i>Larix kaempferi</i>
Fö	Waldföhre, Kiefer	<i>Pinus silvestris</i>
S'Fö	Schwarzföhre	<i>Pinus nigra</i>
B'Fö	Bergföhre	<i>Pinus mugo</i>
Arv	Arve	<i>Pinus cembra</i>
Wey	Weymouthsföhre, Strobe	<i>Pinus strobus</i>
Tax	Eibe	<i>Taxus baccata</i>
Dougl	Douglasie	<i>Pseudotsuga menziesii</i>

Von zwei- oder mehrschichtigen Beständen (auch zweistöckige oder zweihiebig Bestockungen genannt) spricht man, wenn die vorhandenen Bestandekomponenten in Form einer deutlichen Bestandesschicht die gleiche Funktion haben, z.B. der Hauptproduktion. Dies ist zum Beispiel bei Überhältern oder im Mittelwald der Fall. Besonders in diesem Fall wird jede der Schichten getrennt, d.h. für sich alleine beschrieben.

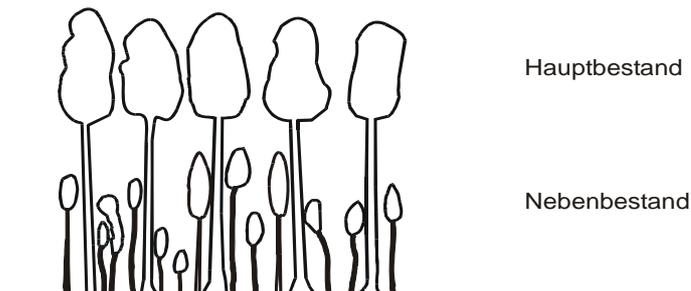
Im Fall **untergeordneter Mischungen** haben die unterstellten Komponenten eine andere Funktion. Der Nebenbestand ist insofern funktionell unterstellt, da er eindeutig eine Umhüllfunktion oder Schaffung eines günstigen Bestandesklimas oder noch bodenpflegerische Funktion ausübt.

Mischung mit hierarchischer Unterordnung

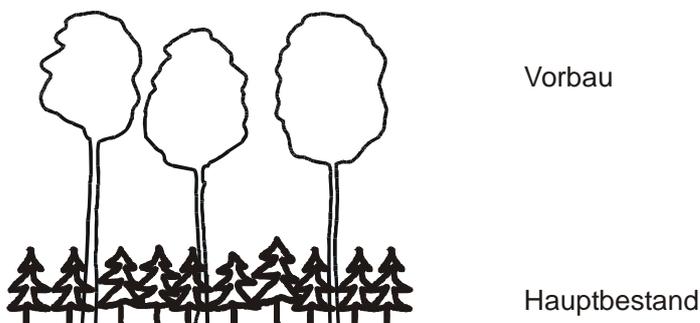


**Abb. 3.14:** Formen der untergeordneten Mischungen.

Mischung mit funktioneller Unterordnung



Von **Zeitmischungen** spricht man, wenn die Wirkung vereinigter Komponenten zeitlich begrenzt ist. Dies hat zur Folge, dass ein Teil der Mischung wesentlich früher entfernt wird als der andere. Dies ist der Fall beim **Vorbau** (oder Pflanzung unter Schirm). Der begünstigende Effekt, hier v.a. in Form des Frostschutzes, ist zeitlich auf die Phase der Installation der Unterschicht beschränkt (siehe Abb. 3.15.) Zu dem Zeitpunkt, wo die Unterschicht das volle Licht benötigt und den Frostschutz nicht mehr braucht, wird der Vorbau entfernt.



**Abb. 3.15:** Die Zeitmischungen.

### 3.1.8 Weitere Eigenschaften

#### Beurteilung der Vitalität und des Gesundheitszustandes

Seit der Wahrnehmung von Symptomen der Schwächung des Gesundheitszustandes unserer Wälder, bekannt als Waldsterben, spielen die Kenntnis der Vitalitätskriterien und die Beurteilung der Vitalität und der Wuchskraft unserer Bäume eine immer wichtigere Rolle in der waldbaulichen Analyse. Man kann dabei aber nicht genug betonen, dass die Begriffe der Vitalität, im Sinne von Wuchskraft und Gesundheitszustand sehr schwierig genau zu definieren und noch schwieriger anhand von objektiven Kriterien zu messen sind. Genau gesagt handelt es sich um Eigenschaften, die das Ergebnis von komplexer Verbindung von endogenen und exogenen Einflüssen sind.

Die genaue Beschreibung des Unterschiedes zwischen einer normalen, d.h. dem Verlauf des Lebens entsprechenden Alterung und einer vorzeitigen bzw. abnormalen Alterung ist sehr schwierig. Die Alterung ist nicht alleine durch eine Serie von Symptomen charakterisiert. Sie beinhaltet nämlich auch eine dynamische Komponente; nämlich die Fähigkeit der Organismen zu reagieren und sich von Stresssituationen und Krankheiten wieder erholen zu können (Schütz et al., 1986).

Zusätzlich weiss man seit den fundamentalen Arbeiten von Schaffalitzky von Muckadell (1959), dass es zwischen den verschiedenen Individuen auffällige Vitalitätsunterschiede gibt, welche unabhängig von den erreichten räumlichen und zeitlichen Dimensionen der einzelnen Individuen sind. Es gibt offenbar stadial noch junge Individuen, die auch mit hohem physikalischem Alter einer guten Reaktionskraft fähig sind, weil sie noch eine genügend hohe Vitalität haben, vielmehr als andere, die um etliche Jahre jünger sind.

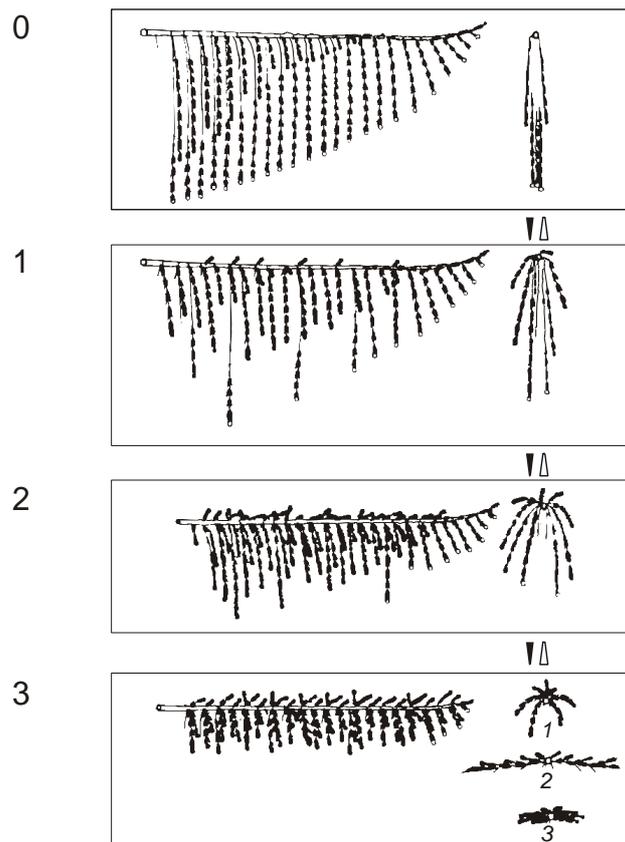
Der Begriff **Vitalität** soll als Synonym für **Lebenskraft** und potentielle Entwicklungsfähigkeit verstanden werden. Es gibt Labormethoden, um sie annähernd und indirekt zu erfassen. Sie können z.B. die Messung der elektrischen Leitfähigkeit des zellulären Protoplasmas nachweisen (Herzog und Rotach, 1987). Dies kann unter Verwendung eines relativ einfachen Apparates geschehen (Buess, 1987). Allerdings verbleiben solche Methoden naturgemäss begrenzt in der Anwendung.

Bei fehlenden praktischen Methoden nützt man in der waldbaulichen Praxis indirekte begutachtliche Methoden, welche das Ergebnis der Vitalität einschätzen. Bei den wintergrünen Nadelbäumen kann man die Vitalität hauptsächlich durch eine Abschätzung der Anzahl noch benadelter Jahrestriebe im oberen Kronenbereich relativ gut schätzen. Vor allem für die Weisstanne ist dieses Kriterium eng mit anderen Vitalitätskriterien verbunden und deshalb für sich alleine schon genügend aussagekräftig (Schütz et al., 1986). Seit den Arbeiten von Burger (1928, 1951) kennt man für unsere Hauptnadelbaumarten die Anzahl der normalerweise im erwachsenen Zustand benadelten Jahrestriebe (siehe Tabelle 3.16). Diese Anzahl variiert allerdings beträchtlich in Abhängigkeit der Standortsbedingungen.

Es gibt auch weitere Kriterien zur Abschätzung der Vitalität, namentlich die relative Länge der Endtriebe in der Lichtkrone und der Winkel der Baumkrone. Letzterer ist charakteristisch für die Entwicklungstendenz des Höhenwachstums, welches sich bei alternden Bäumen lange vor dem Dickenwachstum verringert. Es gibt auch Vitalitätsmerkmale, die mit anderen Erscheinungen der Alterung verbunden sind. Z.B. geht es um die Bildung von Klebästen (Tanne, Douglasie) oder neuen Proventivtrieben (sog. Reiterationstriebe). Weiterhin führt die Alterung zur Deformation des feinen Verzweigungssystem infolge hormoneller Inhibierung. Dies erlaubt, wie Gruber (1987) bei der Fichte aufgezeigt hat, das Voranschreiten des Seneszenzphänomens in Funktion der verschiedenen Verzweigungstypen abzuschätzen (siehe dazu Abb. 3.17).

**Tabelle 3.16:** Anzahl der normalerweise benadelten Jahrestriebe bei unseren dauerhaft benadelten Nadelbäumen

Baumarten	Anzahl benadelte Triebe	
	Normale Höhenlagen	Hochlagen
Fichte	5 - 7	10
Weisstanne	7 - 11	
Douglasie	6 - 7	9
Waldföhre	3 - 6	
Weymouthsföhre	2 - 4	
Arve	3 - 6	
Bergföhre	5 - 10	

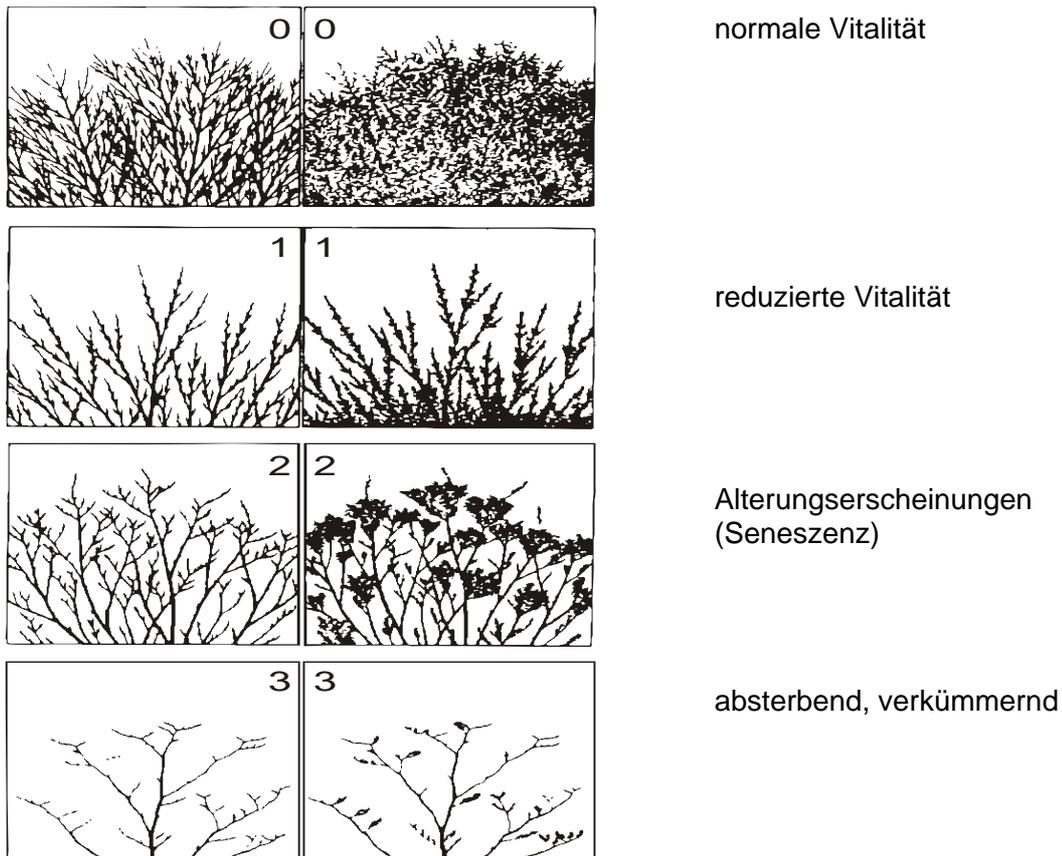


**Abb. 3.17:** Veränderungen des Astverzweigungssystems infolge reduzierter Vitalität.

Am Fallbeispiel der Fichte (nach Gruber, 1987)

- 0 Verzweigung mit hängenden Ästen
- 1 unregelmässige Veränderung mit hängenden Ästen
- 2 büstenartige Verzweigung
- 3 zylindrische (rundliche) Verzweigung
  
- 32 Verzweigung seitlich flach ausgedehnt
- 33 bandartig seitliche Verzweigung

Bei den sommergrünen Laubbäumen ist die Alterung viel schwieriger zu beobachten und einzuschätzen. Seit den Arbeiten von Thiébaud (1981, 1984, 1985, 1986), Thiébaud et al. (1983, 1984), Dupré et al. (1986) sowie Roloff (1985), besonders über die Buche, weiss man jedoch die Veränderungen der neuen Astverzweigung und damit der Kronenarchitektur zu erkennen. Die Inhibierung der Verzweigung führt zuerst zu einer Bildung von sogenannten Peitschenrieben, dann zu Ketten von Kurzkrallentrieben und schlussendlich zur vollständigen Degeneration der Verzweigung und damit der Krone (siehe Abb. 3.18). Alle diese Formen sind v.a. im winterlichen, d.h. laublosen Zustand relativ gut erkennbar.



**Abb. 3.18** : Vitalitätsklassen bei der Buche aufgrund der Veränderung und Degeneration des Feinverzweigungssystems.

nach Roloff (1985)

## 3.2 DIE BESTANDESBESCHREIBUNG

### 3.2.1 Für flächig verjüngte Bestockungen

#### Die Bestockungseinheiten als Planungseinheiten

Die Gesamtheit der operationell eigenständigen Behandlungseinheiten werden als **Bestockungseinheit** bezeichnet (vgl. Kap. 3.1). Diese stellen per Definition die elementaren Einheiten der waldbaulichen Entscheidungen dar. Somit untersteht jede Bestockungseinheit einem spezifischen waldbaulichen Eingriff. Die Ausscheidung dieser Bestockungseinheiten ist also der erste Schritt für die waldbauliche Planung.

Bei der Ausscheidung dieser Bestockungseinheiten sind normalerweise die Bestandesformen (siehe Abschnitt 3.1.1) und, im Falle von Bestockungen mit horizontalem Schluss die Entwicklungsstufe zu berücksichtigen. Weitere Kriterien sind die Baumartenzusammensetzung (Textur), die Bestockungsdichte (Schlussgrad, Deckungsgrad) und allenfalls der Gesundheitszustand.

Der Auflösungsgrad bei der Ausscheidung der Bestockungseinheiten einer **Bestandeskarte** hängt vom Detaillierungsgrad waldbaulicher Tätigkeit ab. Andersherum gilt es, die Übersicht nicht zu verlieren. Üblicherweise ist der Detaillierungsgrad der Ausscheidungen umso höher, je jünger die entsprechenden Bestockungen sind und je intensiver und feiner die waldbauliche Tätigkeit ist.

Die Abgrenzung der Bestockungseinheiten beruht sowohl auf typologischen, wie auch auf waldbaulichen Kriterien. Die Bestandeskarte wird üblicherweise im Masstab 1: 5000 erstellt.

#### Die Kurzformel der Bestandesbeschreibungen

Die Formalisierung der Bestandesbeschreibung in überschaubarer Kurzformel bezweckt die Konzentration der Informationen für die Charakterisierung der Bestände auf eine möglichst knappe und übersichtliche Art zusammenzufassen; so dass sie auf einen Blick verständlich ist und das Wesentliche des Bestandesbildes wiedergeben kann.

<b>B3</b>	<b>0.7</b>	<b>60Bu</b>	<b>30Fö<sub>g</sub></b>	<b>10Lä<sup>A</sup></b>	<b>(120 Jahre, 35 m)</b>
	---	---	---	---	
<b>0.9</b>	<b>0.3</b>	<b>70Bu</b>	<b>30Ta</b>		
	---	---	---		
	<b>0.4</b>	<b>60Ta</b>	<b>30(Bu, Fi)</b>	<b>10(Fö, Lä)</b>	<b>(10 Jahre, 5 m) (B)</b>
	---	---	---	---	

Unter Verwendung von Abkürzungen, gebräuchlichen Zeichen, Indizes und Exponenten beinhaltet die Formel die hauptsächlichen Merkmale der Bestockung. Sie strukturiert sich im wesentlichen nach der Schlussart. Im Fall von Beständen mit horizontalem Schluss weist sie gleichviele Zeilen auf, wie der Bestand Schichten enthält. Im Fall von ungleichförmigen Beständen stehen die drei Zeilen für die drei Höhenklassen. Die Trennungslinien, welche die einzelnen Zeilen unterstreichen, geben Auskunft über die Schlussart und den Schlussgrad der einzelnen Bestandsschichten bzw. Höhenklassen.

- (1) Am Kopf der Gesamtbeschreibung befindet sich die Angabe der Bestandesform. Im Fall von Hochwald mit horizontalem Schluss wird an dieser Stelle die Entwicklungsstufe angegeben, welche folgendermassen abgekürzt wird:  
J, K, D, S1, S2, B1, B2 oder B3 für gleichförmige Hochwälder;  
P, M, (M), N, (N) für die anderen Bestandesformen.
- (2) Strukturangaben: Durchgezogene Linien (—) stehen für homogene Schichten in gleichförmigen Beständen. Gestrichelte Linien (- - -) stehen für die Ungleichförmigkeit der jeweiligen Höhenklassen (in stufigen Beständen) bzw. für eine Ungleichförmigkeit von einzelnen Schichten in ansonsten gleichförmigen Bestockungen. Unterbrochene (durchgezogene oder gestrichelte) Linien (— — oder - - - - -) weisen auf einen lückigen Schlussgrad und grössere Unterbrechungen der jeweiligen fraglichen Schicht oder Höhenklasse hin.
- (3) Die Mischungen: Die Mischungsart wird unter Verwendung der gebräuchlichen Baumarten-Abkürzungen (siehe Tab. 3.13) beschrieben. Auch der Mischungsgrad wird für jede Schicht bzw. Höhenklasse separat durch Prozentzahlen angegeben. Diese Prozentzahlen geben die Anteile der einzelnen Baumarten (Mischungsgrade) an. Baumarten, die aus der Sicht des Mischungsgrades von untergeordneter Bedeutung sind, werden in Klammern zusammengefasst. Die Mischungsform wird durch tiefgestellte Indizes (e, t, g oder h) angegeben.
- (4) Zuvorderst steht der Deckungsgrad des Gesamtbestandes. Am Beginn der einzelnen Zeilen wird der Deckungsgrad der einzelnen Schichten bzw. Höhenklassen angegeben.
- (5) Im Falle von alten Beständen, die schon für eine Verjüngung in Frage kommen würden, gibt man die waldbauliche Brauchbarkeit (den waldbaulichen Wert) einer eventuell bereits vorhandenen Verjüngung an. B = „brauchbar“, d.h. geeignet, um als Verjüngung (mit)verwendet werden zu können. NB = „nicht brauchbar“.
- (6) Das Alter und die Höhe werden üblicherweise nur für die obersten bzw. die wichtigsten Schichten oder Stufen angegeben. Die Höhe wird hier als Oberhöhe des Bestandes definiert. Im Falle von Beständen mit horizontalem Schluss und mit mehreren Schichten kann man auch deren Alter und Höhe angeben.
- (7) Die Qualität wird baumartenspezifisch und nur falls notwendig, d.h. bei merklicher Abweichung der Normalqualität angegeben. Dies geschieht durch hochgestellte Exponenten, deren Buchstaben den gebräuchlichen Abkürzungen der Schweizerischen Holzhandelsgebräuche 2000 (für Rundholz) entsprechen.

- A wird für überdurchschnittliche, ausgezeichnete Qualität verwendet,
- B für gute bis mittlere Qualität,
- C für mittlere bis unterdurchschnittliche Qualität und
- D für sägefähiges Holz, welches nicht in die oberen Klassen fällt.

Die Kurzformel wird von ergänzenden Bemerkungen begleitet, falls wichtige Merkmale nicht berücksichtigt wurden. An dieser Stelle ist z.B. die Vitalität einer Bestockung zu erwähnen. Falls notwendig, kann diese Kurzformel wesentlich vereinfacht werden; das ist insbesondere der Fall bei jungen Beständen.

Hier einige Beispiele zu Bestandesbeschreibungen unter Verwendung der Kurzformel:

J 0.9 60 Fi 20 Bu<sub>t</sub> 20 (WiLi, HaBu, Ki)<sub>e</sub> (2 - 8 Jahre, 0.8 m)

Es handelt sich hier um einen dichten, natürlichen Jungwuchs mit 60 % Fichten, 20 % truppweise beigemischten Buchen sowie 20 % einzeln beigemischten Begleitbaumarten (Winterlinden, Hagebuchen und Kirschbäume). Dieser Jungwuchs ist 2 - 8 Jahre alt und hat eine Oberhöhe von 80 cm.

B2 0.8 70 Bu 30 Fi<sub>e</sub> (80 Jahre, 35 m)

Gleichförmiges, noch geschlossenes mittleres Buchen-Baumholz, mit 30 % einzeln beigemischten Fichten bei einem Alter von 80 Jahren und einer Oberhöhe von 35 m.

P 0.6 60 Ta 30 Fi<sup>A</sup><sub>t</sub> 10 Bu<sub>g</sub> (45 m)

0.8

0.4 80 Ta 10 Fi<sub>t</sub> 10 Bu

0.3 90 Ta 5 Fi 5 Bu<sub>g</sub>

Plenterwald mit einem Gesamt-Deckungsgrad von 80 % und einer Oberhöhe von 45 m. Die oberste Höhenklasse besteht aus 60 % Tannen, 30 % truppweise beigemischten Fichten mit guter Qualität und 10 % gruppenweise beigemischten Buchen. In der mittleren Höhenklasse dominiert die Tanne mit einem Anteil von 80 %. Ausserdem sind hier noch 10 % Fichten truppweise und 10 % Buchen beigemischt. Auch die unterste Höhenklasse ist reich an Tannen. Sie enthält aber ausserdem noch 5 % Fichten und 5 % gruppenweise gemischte Buchen.

B3 0.6 100 Fi (120 Jahre, 37 m)

0.6

0.1 60 Bu<sub>g</sub> 20 Ta<sub>t</sub> 20 Fi<sub>h</sub> (5 - 15 Jahre, 2 - 4 m) (B)

Altes, gleichförmiges lückiges Fichten-Baumholz mit einem Deckungsgrad von 60%, einem Alter von 120 Jahren und einer Oberhöhe von 37 m. Darunter befindet sich eine 2 - 4 m hohe und 5 - 15 Jahre alte Dickung, die als Verjüngung brauchbar ist. Sie besteht zu 60 % aus Buchengruppen, zu 20 % aus truppweise beigemischten Tannen und zu 20 % aus horstweise beigemischten Fichten. Diese Unterschicht ist leicht spärlich ausgebildet. Sie bedeckt nur 10 % der Fläche.

(M<sup>+</sup>) 0.6 40 Fi<sub>t</sub><sup>A</sup> 30 SEi<sup>A</sup> 20 Es<sup>D</sup> 10 BAh (70 - 150 Jahre, 30 m)

1.0

0.3 70 HaBu 20 FAh 10 Bu

0.2 70 Ei<sub>h</sub> 20 Es<sub>g</sub> 10 Fi<sub>t</sub> (5 - 10 Jahre, 2 - 3 m) (NB)

Ehemaliger, heute in Überführung begriffener, oberholzreicher ehemaliger Mittelwald mit ungleichförmiger Struktur und lückigem Deckungsgrad der einzelnen Schichten bzw. Höhenstufen. Das Oberholz weist ein weit gestreutes Alter von 70 - 150 Jahren und eine Oberhöhe von 30 m auf. Die oberste Höhenstufe bedeckt 60 % der Fläche. Sie besteht aus 40 % truppweise vorhandenen Fichten, 30 % Stieleichen, 20 % Eschen und 10 Bergahornen. Während die Eschen nur von mangelhafter Qualität sind, weisen die Fichten und Eichen meist sehr gute Qualität auf. Die mittlere Stufe bedeckt 30 % der Fläche und besteht zu 70 % aus Hagebuchen, zu 20 % aus Feldahornen und zu 10 % aus Buchen. Ein schwaches Unterholz, welches für die Verjüngung unbrauchbar ist, beinhaltet 70 % horstweise vertretene Stieleichen, 20 % gruppenweise beigemischte Eschen und 10 % truppweise beigemischte Fichten.

### 3.2.2 Für ungleichförmige Bestockungen

Die Kraft'sche Klassifikation ist in stufigen Beständen nicht sinnvoll anwendbar, da sie sich im Idealfall auf mehr oder weniger gleichaltrige, sich gegenseitig konkurrenzierende Individuen in geschlossenen, gleichförmigen Kollektiven bezieht.

In stufigen Beständen sind neben der Menge des einfallenden Lichtes und der Fähigkeit eines Baumes, dieses Licht ausnützen zu können noch weitere Eigenschaften für die individuelle Weiterentwicklung eines Baumes von Bedeutung. Dabei ist sowohl die unterschiedliche Vitalität der Bäume wie auch deren unterschiedliche Fähigkeit zu einem sozialen Umsetzen in eine höhere Stufe entscheidend. Aus diesem Grund empfiehlt es sich zur Beschreibung einzelner Bäume in gemischten und vor allem in stufigen Beständen die sog. IUFRO-Klassifikation (International Union of Forest Research Organisation), wie sie von Leibundgut (1965) vorgeschlagen wurde, zu verwenden. Es handelt sich um ein auf drei waldbaulich-soziologischen und drei wirtschaftlichen Kriterien aufgebautem System aufgrund eines Vorschlages von Schädelin (1931). Jedes Kriterium wird in einer dreistufigen Skala den Werten gut (1), normal (2) oder schlecht (3) taxiert.

**Tabelle 3.19:** IUFRO Klassifizierung für stufige Bestockungen

#### Definition und Abgrenzung der Klassifikationskriterien

##### **Höhenklassen:**

Der vom Bestand besetzte Luftraum wird in drei Stufen in Funktion der Oberhöhe unterteilt. Die Einzelbäume werden dementsprechend drei Höhenklassen zugewiesen:

- 100 obere Höhenklasse: Am oberen Kronenschirm teilnehmend; Baumhöhe mehr als zwei Drittel der Oberhöhe.
- 200 mittlere Höhenklasse: Am oberen Kronenschirm nicht teilnehmend; Baumhöhe ein bis zwei Drittel der Oberhöhe.
- 300 untere Höhenklasse: Baumhöhe weniger als ein Drittel der Oberhöhe.

##### **Vitalitätsklassen:**

Anhand des Gesundheitszustandes, des Wuchsvermögens und anderer Merkmale werden gutachtlich drei Vitalitätsklassen gebildet:

- 10 üppig entwickelte Bäume
- 20 normal entwickelte Bäume
- 30 kümmerlich entwickelte Bäume

##### **Klassen gemäss der sozialen Umsetzungstendenz:**

Gemäss der gutachtlichen Beurteilung eines Baumes, seine soziale Position im Vergleich zu den Bäumen derselben Höhenklasse zu verändern, wird der Baum einer der drei Umsetzungs-klassen zugewiesen. Da sich diese Tendenz vor allem in der relativen Grösse des Höhenwachstums äussert, beurteilt man dazu vor allem die Entwicklung der Höhentriebblängen.

- 1 Bäume mit soziologisch aufsteigender Tendenz
- 2 soziologisch gleichbleibende Bäume
- 3 Bäume mit soziologisch absteigender Tendenz

**Klassen nach dem waldbaulichen Wert:**

- 400 Ausleseebäume, die bezüglich ihrer Qualität, ihres Ertragsvermögens oder anderer Eigenschaften waldbaulich besonders wertvoll und daher förderungswürdig sind (Wertträger).
- 500 Nützliche Nebenbäume, die entweder als Begleitbaum oder als Füllmaterial nützliche oder zur Erhaltung der Standortsgüte unentbehrliche Bestandeglieder darstellen.
- 600 Schädliche Nebenbäume, welche die Ausleseebäume behindern oder sonstwie die Wertholzerzeugung beeinträchtigen.

**Schaftgüteklassen:**

Die Schaftgüte muss je nach den örtlichen, wirtschaftlichen Verhältnissen und den für die einzelnen Baumarten geltenden Normen von Fall zu Fall anders gewertet werden.

- 40 Wertholz: Mindestens 50 % der Schaftmasse sind zur Zeit der Nutzung mutmasslich wertholztauglich; also gemäss den Sortierungskriterien den Qualitäten A entsprechend.
- 50 Normalholz: Mindestens 50 % der Schaftmasse sind zur Zeit der Nutzung mutmasslich normalen Ansprüchen genügend; und damit der B-Qualität entsprechend.
- 60 Fehlerholz: Weniger als 50 % der Schaftmasse sind zur Zeit der Nutzung normalen Ansprüchen genügend. Damit ist die Mehrheit der Schaftmasse in D-Qualität zu erwarten.

**Kronenlängenklassen:**

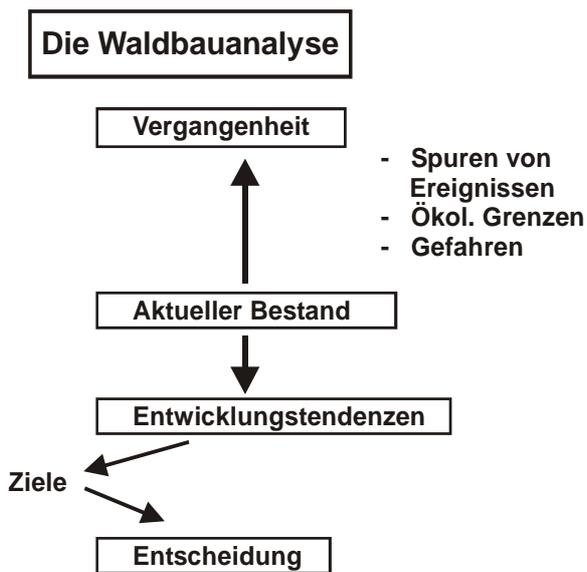
- 4 langkronig: Die Kronenlänge beträgt mehr als die halbe Baumlänge.
- 5 mittelkronig: Die Kronenlänge liegt zwischen einem Viertel und der Hälfte der Baumlänge.
- 6 kurzkronig: Die Kronenlänge beträgt weniger als ein Viertel der Baumlänge.

Als Beispiel: Die IUFRO-Klassifikationsziffer 123.446 beschreibt einen Baum der Oberschicht, mit mittlerer Vitalität und einer absteigenden sozialen Umsetzungstendenz. Es handelt sich um einen Elitebaum mit guter Schaftqualität, der aber leider nur eine schlecht entwickelte Krone aufweist.

Es lässt sich nicht bestreiten, dass in dieser Klassifikation enge Zusammenhänge zwischen bestimmten Kriterien, z.B. zwischen der Kronenlänge und der Vitalität, bestehen. Deshalb sind nicht alle theoretisch möglichen Kombinationen auch realistisch.

**3.3 PRINZIPIEN DER WALDBAUANALYSE**

Die waldbauliche Analyse ist die natürliche, automatische Ansprache zur Beurteilung einer Bestockung bei praktisch jedem Antreffen. In dieser Analyse beurteilt man den gegenwärtigen physischen Aspekt und versucht auch die Vergangenheit (Geschichte) des Bestandes zu rekonstruieren und zu verstehen. Durch die Wahrnehmung der bisherigen Entwicklung ergibt sich eine Abschätzung der zukünftigen Bestandesentwicklung (z.B. natürliche Bestandesentwicklung ohne menschliche Eingriffe).



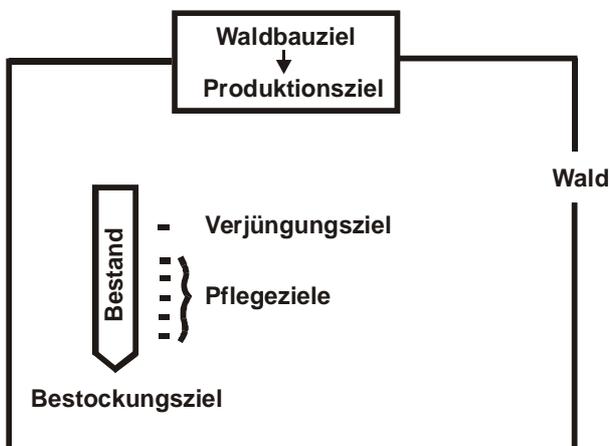
**Abb. 3.20:** Entscheidungsschema und Vorgehen der Waldbauanalyse.

Die waldbauliche Analyse beruht also auf einer sorgfältigen Beurteilung der standörtlichen Bedingungen mit besonderem Blick auf ihre ökologischen Grenzen und Gefahren. Dies erfolgt aufgrund der Spuren von Ereignissen der Vergangenheit und in Rücksicht auf den aktuellen Pflegezustand. Sie führt zu einer Abschätzung der voraussichtlichen Entwicklung des Bestandes. Aus dem Vergleich mit den generellen wie auch der besonderen zu erreichenden Ziele ergibt sich eine waldbauliche Entscheidung. Sie findet ihren Niederschlag in der Formulierung des erreichbaren (praktikablen) nächsten Etappenzieles.

### 3.3.1 Ziele und Kombinationsformen

#### Die verschiedenen waldbaulichen Ziele:

Je nach räumlicher und zeitlicher Bezugsebene erweist sich als notwendig, die verschiedenen waldbaulichen Ziele voneinander zu unterscheiden und in eine „Zielhierarchie“ einzustufen, wie sie in Abb. 3.21 schematisch dargestellt ist.

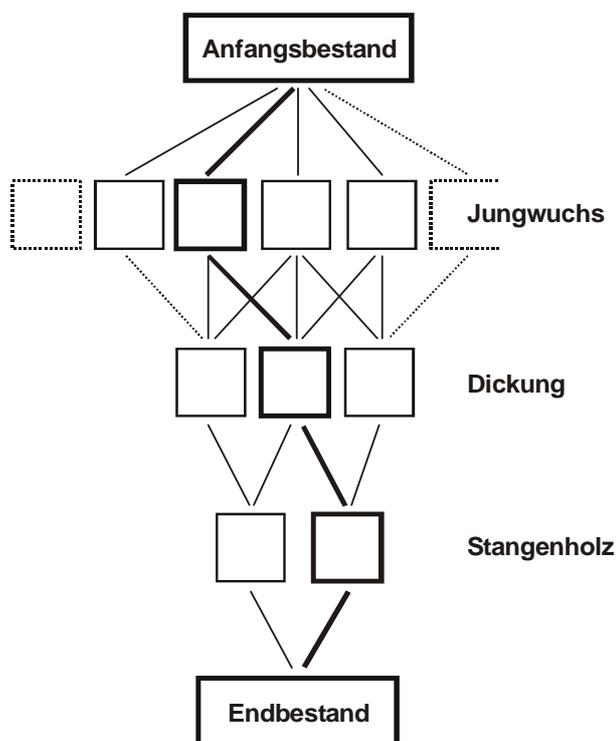


**Abb. 3.21:** Die verschiedenen Ziele im Waldbau und ihr räumlicher und zeitlicher Bezug.

Das **Waldbauziel** legt auf der Stufe der Region oder des Forstbetriebes die groben Züge und die Intensität der Bewirtschaftung fest. Daraus wird auch die Bedeutung der verschiedenen Waldfunktionen präzisiert. Das **Produktionsziel** bezieht sich auf dieselben Bezugsebenen. Es betrifft aber allein die Produktionsfunktion und definiert dabei deren Ziele wie z.B. die Arten und Anteile der angestrebten Sortimente (z.B. Qualitätsholz, Massensortimente oder Biomassenproduktion).

Auf den Ebenen der einzelnen operationellen Einheiten (Bestände, Abteilungen) werden die spezifischen **Pflegeziele** formuliert. Sie gliedern sich zweckmässigerweise in Etappenzielen (Teilzielen) und Endziel. Dies ist begründet, weil die waldbauliche Behandlung stufenweise zu demselben Endbestand führen kann (siehe dazu Abb. 3.22.) So kann man z.B. aus einer ursprünglich buchendominierten Jungbestockung auf dem Weg der Mischungsregulierung durch mehrere sukzessive Eingriffe einen von Nadelhölzern dominierten erwachsenen Bestand erhalten oder umgekehrt.

Dazu wird ein **Bestockungsziel** (Endziel) formuliert. Es beschreibt, wie ein Bestand aussieht zum Zeitpunkt der Entwicklungsstufe des mittleren Baumholzes. Formell gesehen beschreibt dieses Ziel die Art, den Grad und die Form der angestrebten Mischung mit allfällig zusätzlichen Angaben, so wie z.B. die Unterordnung der Mischungen, die erwünschte Bestandesstruktur oder die Bestockungsdichte, falls notwendig.



**Abb. 3.22:** Schematische Darstellung der verschiedenen Möglichkeiten zur Steuerung der Bestandesentwicklung sowie der Notwendigkeit zur Festlegung von Etappenzielen.

nach Leibundgut (1966)

Die **Teilziele** beschreiben die angestrebte Baumartenzusammensetzung (Textur) und Struktur des Bestandes für die nächste Entwicklungsstufe. Es gibt zwei Arten von Teilzielen: Während der Verjüngungsphase spricht man das **Verjüngungsziel** an, welches den erwünschten Jungwuchs (insbesondere dessen Artenzusammensetzung) beschreibt. Während der Phase der Pflegeeingriffe formuliert man **Pflegeziele**, welche jeweils den Zustand des Bestandes bei Erreichen der nächsthöheren Entwicklungsstufe beschreiben.

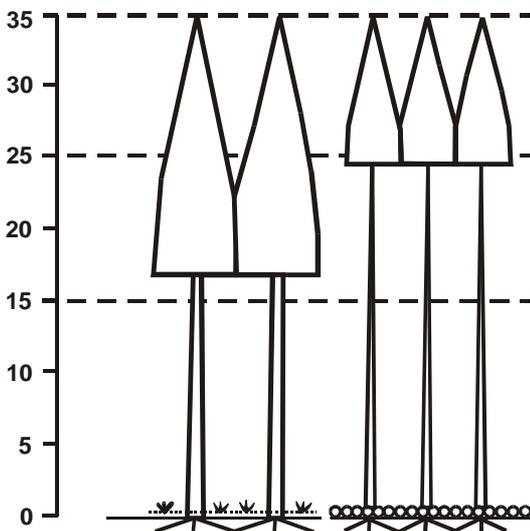
### 3.3.2 Prospektive retrospektive Betrachtung

Die waldbauliche Analyse unterstellt den Bestand einer kritischen Betrachtung. Anhand der abgeschätzten Entwicklungstendenzen soll beurteilt werden, ob die generellen Waldbauziele erreichbar sind oder nicht. Die Betrachtungsweise ist also sowohl rückblickend wie auch vorausschauend und kann aufgrund der drei folgenden bekannten Kurzfragen zusammengefasst werden:

- Wer bist du?
- Woher kommst du?
- Wohin gehst du?

#### Analyse der waldbaulichen Vergangenheit

Wer es versteht, den Wald richtig zu beobachten, der kann aus der rückblickenden Betrachtung der **waldbaulichen Vergangenheit** (oder Anamnese) eines Bestandes viele lehrreiche, wichtige Schlüsse ziehen. Die Spuren von früheren Ereignissen auf den Bestand können einerseits über die besonderen Risiken des Standortes und andererseits über die Folgen der vergangenen waldbaulichen Behandlung Auskunft geben. Daraus lassen sich bereits erste Konsequenzen für die zukünftige waldbauliche Behandlung ableiten. Dabei ist es wichtig, zwischen Ursachen und Wirkungen zu unterscheiden. Man muss zwischen standortstypischen und bestandestypischen Risiken differenzieren. Schneebruchschäden im Kronenbereich bleiben z.B. noch lange Zeit erkennbar. Sie können sowohl auf ein generelles, lokal erhöhtes Schneebruchrisiko (z.B. aufgrund einer gefährdeten Höhenlage im Nassschneebereich) hinweisen, wie auch auf mangelnde bisherige Pflege zurückzuführen sein. Der Beurteilung des **Pflegezustandes** kommt also eine grosse Bedeutung zu.



**Abb. 3.23:** Die Kronenlänge gibt Auskunft über die Höhe des bisherigen Wettbewerbes in einem Bestand. Die Auswirkungen unterschiedlicher Wettbewerbsbedingungen auf die Bekronung und den Schlankheitsgrad der Bäume sind hier anhand zweier verschieden behandelten, aber gleich alter Fichtenbestände dargestellt.

nach Johann (1987)

Alter: 100 Jahren

N / ha	278	625
h / d	60	100
BHD	58 cm	35 cm
Vorrat	1075 m <sup>3</sup>	994 m <sup>3</sup>

Die Dimensionen und die Formen der Baumkronen gehören zu den geeignetsten Merkmalen für die Beurteilung der waldbaulichen Vergangenheit eines Bestandes. Sie sind durch die früheren Konkurrenzbedingungen im Kollektiv geprägt. Eine starke Konkurrenz führt zu einer Beschleunigung des Absterbens (und Abfallens) der unteren Äste und damit letztendlich zu einer Verkürzung der Kronenlänge. Bestände, die in ihrer Jugendzeit korrekt durchforstet wurden, sollten im Baumholz noch eine **Kronenlänge** zwischen einem Drittel und, wenn möglich, die Hälfte der Baumlänge aufweisen (siehe dazu Abb. 3.23).

Ein anderes repräsentatives Kriterium der waldbaulichen Vergangenheit ist der **Schlankheitsgrad**. Er entspricht dem Quotienten aus der Baumhöhe und dem Brusthöhendurchmesser. Man gibt den Schlankheitsgrad üblicherweise für jeden Baum oder jede, für einen Bestand repräsentative Baumgruppe, oder manchmal sogar auch als Bestandeswert, an. Im letztgenannten Fall bezieht er sich auf einen Baum mit mittlerer Grundfläche. Der Schlankheitsgrad ist eng mit den Kronendimensionen korreliert, da die Breite der Jahrringe an der Basis der Kronen maximal ist und gegen den Stammfuss kontinuierlich abnehmen. Hohe Schlankheitsgrade lassen auf eine mangelhafte Stabilität von einzelnen Bäumen gegenüber mechanischen Einwirkungen schliessen.

Bis anhin wurde nur die **mechanische Bestandesstabilität** beschrieben. Weiter unten wird auch von einer anderen Form der Stabilität, nämlich der **ökologischen Stabilität**, die Rede sein. Diese beschreibt das Reaktionsvermögen eines Bestandes hinsichtlich verschiedener Störungen.

Die Vorgeschichte eines Bestandes lässt sich anhand verschiedener Zeichen einigermaßen erkennen und damit auch beurteilen. So deuten z.B. viele **Steiläste** auf häufige ehemalige Verzweiselung hin. Wenn diese Erscheinung nicht hauptsächlich durch genetisch schlechte Veranlagung bedingt ist, so weist sie auf besondere Risiken klimatischer Art, wie z.B. Nassschnee oder Spätfröste usw. hin.

### 3.2.4 Der Pflegezustand und seine Entwicklung

Aus dem aktuellen Zustand eines Bestandes lässt sich seine weitere Entwicklung abschätzen. Durch einen Vergleich mit den Zielsetzungen wird ersichtlich, ob der anfänglich vorgesehene Weg immer noch richtig ist oder ob man davon abweichen muss. Die Beurteilung des aktuellen Pflegezustandes und seinen Entwicklungstendenzen beruht auf der Abschätzung folgender Kriterien:

- dem Wettbewerbsgrad, der sich am besten an der Beurteilung der Form und Grösse der Krone ausrichtet, sowie an weiteren oben besprochenen Kriterien.
- der Qualität: Hier soll die relative Qualität der Schäfte beurteilt werden mit Berücksichtigung der wertvermindernden Eigenschaften wie Schäden, Verletzungen, Fäulen usw.
- der Entwicklungsdynamik: Sie beinhaltet u.a. die Fähigkeiten einer genügenden Anzahl einzelner Bäume zur positiven sozialen Umsetzung. Diese Fähigkeiten sind vom Vitalitäts- und Gesundheitszustand der Bäume abhängig.

### 3.2.5 Beobachtung von Schäden und Krankheiten

Dies alles verlangt sehr sorgfältige Beobachtungen und oft auch eine gute Dosis Erfahrung. In der Tat sind bestimmte Schäden, wie z.B. Verletzungen durch die Holzernte leicht zu erkennen. Andere Symptome, wie etwa die Ausflüsse der Schleimflusskrankheit der Buche oder die Eschen-, Tannen- oder Lärchenkrebse verlangen aber schon eine genauere Beobachtung und

Kenntnisse über die Ursachen und die Entwicklung dieser Krankheiten. Andere Fehler und Krankheiten sind viel schwieriger abzuschätzen, da ihre Symptome versteckt, d.h. von aussen nicht oder nur unsicher zu erkennen sind.

So ist die Kernfäule (Rotfäule) der Fichte, welche bei uns praktisch die bedeutendste forstliche Ausfallsursache darstellt, äusserlich praktisch nicht erkennbar. Graber (1994, 1996) konnte in einer breit angelegte Studie nachweisen, dass folgende äussere Merkmale am sichersten über das Vorhandensein von Rotfäule bei Fichte hinweisen: frühere Verletzungen und Beulen an der Stammbasis, sowie flaschenhalsförmiger Stammanlauf und harzige Verkrustungen. Das Vorhandensein solcher Merkmale deutet jedoch nicht zwingend auf einen starken Kernfäulebefall hin. Bei Durchforstungen können solche Erscheinungen als Auslesekriterium somit nur als Hinweis und nicht Beweis mitberücksichtigt werden, mit einer schwachen Indikatorenwert. Ein flaschenhalsförmiger Stammanlauf bei Fichten gibt in der Tat mehr über die Wuchsform des Hauptwurzelsystems Auskunft, und damit über die physiologische Tiefe des Bodens, als über den Gesundheitszustand des Wurzelsystems. Es gibt also Fichten mit flaschenhalsförmigem Stammanlauf, welche vollständig gesund sind. Darüber hinaus erhärten sich heute Hinweise, dass die gefährdetsten Standorte bezüglich Kernfäulen, im Gegensatz zu früher allgemein hin angenommen, weniger die feucht-nassen Mulden als Standorte mit wechselndem Wasserhaushalt sind.

Andere Bodeneigenschaften, besonders die Zusammensetzung des Substrates (Skelettgehalt) und der Basengehalt (Calciumkarbonat) scheinen gleichwohl eine wichtige prädisponierende Rolle für die Entwicklung von Kernfäulen zu spielen (Werner, 1971; Rehfuess, 1973; Evers, 1973; Bénizry et al. 1988). Auch die Erscheinung des vermehrten Harzflusses an Fichtenstämmen muss nicht notwendigerweise auf eine fortgeschrittene Kernfäule hinweisen.

Um die Gültigkeit dieser Kriterien zu überprüfen, stützt man sich mit Vorteil auf die praktischen Erfahrungen, weil Forstwerte und Förster mit gefällten Bäume umgehen und somit in der Lage sind, die ersten Stadien des Fäulebefalls überhaupt wahrzunehmen und rechtzeitig zu erkennen. Es empfiehlt sich in diesem Falle, systematische Beobachtungen der Durchforstungsschläge vorzunehmen und diese auf geeignete Art, d.h. möglichst schriftlich zu dokumentieren, um bei der nächsten waldbaulichen Entscheidung davon profitieren zu können.

---

## 4. DIE NUTZUNGSPRINZIPIEN

---

Heutzutage vollzieht sich die Diskussion der Verdienste und der Nachteile forstlicher Systeme in einem wesentlich breiteren Zusammenhang als nur über die Nutzung des Rohstoffes Holz. Eine geschichtliche Betrachtung des Begriffes Nachhaltigkeit zeigt, dass die Forstwirtschaft von einer blossen Kontrolle des Rohstoffes Holz nach und nach zu einer Vorstellung gelangt ist, welche die Gesamtheit aller durch die forstlichen Ökosysteme erbrachten Leistungen umfasst.

Bezüglich Art der Einflussnahme auf die Produktion bestanden beträchtliche Unterschiede zwischen biotechnokratischen Konzepten der technisch-rationellen Nutzung des Rohstoffes Holz nach landwirtschaftlichem Muster einerseits und die möglichst breite Anlehnung an die natürlichen Prozesse vom naturnahen Waldbau.

Früher basierten die waldbaulichen Konzepte bezüglich Holzproduktionsziele auf dem Streben nach biologisch optimaler Ausschöpfung und zwar in doppelter Hinsicht, nämlich: erstens von allen Bäumen in einem Bestand wurde die maximale Wertschöpfung erwartet (**Prinzip der Ausschliesslichkeit** oder Schädelin'sche Konzeption). Dieses Prinzip erfordert, dass alle Bäume, die einen Bestand bilden, dieselbe Funktion erfüllen. Andererseits galt das Prinzip, dass im Endzustand (Hiebsreife) die Zielbäume (sogenannte Z-Bäume) in derartiger Verteilung bestehen, dass möglichst der ganze Produktionsraum voll ausgeschöpft ist (Abetz'sche Konzeption).

Heute sind diese zwei Prinzipien in Bezug auf das übergeordnete Ziel der Multifunktionalität einerseits und die Produktionseffizienz andererseits zu differenzieren. Die heute angestrebten Nutzungsformen gehen für die Ausrichtung der waldbaulichen Massnahmen in Richtung einer **situativen Betrachtung**, d.h. entsprechend den Unterschieden im Entwicklungspotential der Bäume und den unterschiedlichen Zielen. Angebracht ist ein **naturopportunes Vorgehen** (nehmen, was die Natur selbst produziert), mehr als ein deterministisches Vorgehen (Festlegen der gewünschten Bestockungszusammensetzung).

### 4.1 ÜBERGEORDNETE PRINZIPIEN FÜR DIE BEWIRTSCHAFTUNG

Die übergeordneten Produktionsprinzipien einer modernen ökologisch und sozial gerechten Waldnutzung sind:

- Standortgerechte Baumarten in geeigneten Mischungen
- Diversitätprinzip (sowohl aus Gründen der Risikenverteilung sowie der Erfüllung ethischen-ästhetischer Bedürfnisse wie Sicherstellung der Biodiversität)
- Adaptibilitätsprinzip. Es sollen Systeme bevorzugt werden, welche mit Veränderung des Umfeldes laufend anpassbar sind
- Funktionskomplementarität (Mehrzwecknutzungen)

#### 4.1.1 Standortgerechte Baumartenwahl in passenden Mischungen

Bei der Wahl der Baumarten geht es um eine Eignung in doppelter Hinsicht, nämlich einerseits die Eignung für den Standort; andererseits geht es um die gegenseitige Verträglichkeit von gemischten Baumarten mit unterschiedlichen Wuchsgängen und -eigenschaften. Die Wahl von Baumarten, welche an den Standort angepasst sind (standortgerechte und standortstaugliche Arten), stellt eine der wichtigsten (wenn nicht gar die wichtigste) aller waldbaulichen Entscheidungen dar (van Miegroet, 1984). Das Prinzip der geeigneten Baumartenwahl steht hierarchisch über demjenigen der Art der Verjüngung (natürlich oder künstlich).

Die Baumartenwahl beruht im wesentlichen auf einem ökologischen Prinzip, welches durch Odum (1969) treffend ausgedrückt wurde: „The core of each silvicultural decision, including the choice of species, must therefore be the awareness of the need to promote and help create an equilibrium between the forces of entropy and negentropy, between the development of ecosystem organisation and its rupture“. (Der Kern jeder waldbaulichen Entscheidung, inklusive der Baumartenwahl, muss deshalb vom Bewusstsein geprägt sein, dass es notwendig ist, ein Gleichgewicht zwischen den Kräften der Entropie und ihrem Gegensatz: der Negentropie und damit ein Gleichgewicht zwischen der Entwicklung und dem Zusammenbruch der Organisation eines Ökosystems entstehen zu lassen und zu fördern).

Nach den Prinzipien des **Toleranzgesetzes** von V.E. Schellford (1913) besitzen die Arten, die an die Standortbedingungen angepasst sind, eine bessere Reaktionsfähigkeit gegenüber Störungsfaktoren. Damit weisen sie das auf, was man heute unter einer guten **ökologischen Stabilität** versteht. Unter diesem Begriff versteht man die Fähigkeit der Organismen eines Ökosystems, den Kräften der Destabilisierung zu widerstehen und Störungen aufzufangen (sog. Resilienzfähigkeit). Unter Störungen versteht man hier Stresssituationen sowohl endogener Art (Wettbewerbs- und Konkurrenzverhältnisse) wie auch exogener Ursache (klimatische und biotische Risiken). Eines der wichtigsten Ziele der waldbaulichen Behandlung besteht also darin, die Prozesse der Selbstregelung (Autoregulation, Naturautomation) zu erkennen und zu kontrollieren, den kollektiven Widerstand zu erhöhen und einen maximalen Ausgleich zwischen den stabilisierenden und destabilisierenden Kräften zu erreichen (van Miegroet, 1984).

Die Baumartenwahl ist eine Entscheidung, die im wesentlichen an die Verjüngung gebunden ist. Das Prinzip der grundsätzlichen Förderung der Mischungen führt dazu, dass die Regelung der Mischungsverhältnisse über einen gewissen zeitlichen Anteil der Bestandesentwicklung zu berücksichtigen ist. Die Baumartenwahl muss deshalb von Beginn an als leitende und bestimmende Entscheidung über die gesamten Pflegeeingriffe gestellt werden.

Im allgemeinen gibt es für einen gegebenen Standort mehrere geeignete (standortgerechte) Baumarten. Darüber hinaus kommt die Frage ihrer Mischung. Die Argumente für eine reiche Baumartenmischung gehen primär aus der Risikoverteilung hervor und erst in zweiter Linie aus ökologischen Gründen. Die Natur zeigt eher Homogenisierungstendenzen, weil im Naturwald weniger Baumarten dominieren und zur Gleichförmigkeit der Waldstrukturen führen, zumindest für temperierte europäische Standortverhältnisse (Schütz und Oldemann, 1996, Schütz 1998). Ähnlich formuliert van Miegroet, (1984): die Homogenisierung ist in der Natur nicht aussergewöhnlich. Wie zahlreiche Beobachtungen in westeuropäischen Urwäldern zeigen, ist die Gleichförmigkeit eine dominierende Charakteristik in vielen Stadien der Entwicklung von Naturwäldern (Korpel, 1995).

Dem oben erwähnten Prinzip der reichen und feinen Mischungen steht die Tatsache gegenüber, dass sich Baumarten mit unterschiedlichem Wachstumsverhalten während ihrer Entwicklung gegenseitig stören können. Je nach gegenseitiger **Sozialität** der Baumarten, ist es meistens also nicht angemessen, zu feine Mischungen anzustreben. Dies ist besonders der Fall, wenn die vereinigten Baumarten unterschiedlich wachsen, so dass die langsamer

Wachsenden sich nicht mehr ordentlich entwickeln können. Das Prinzip der Risikoverteilung funktioniert nur, wenn die beigemischten Baumarten sich ordentlich entwickeln können.

Die Soziabilität der verschiedenen Baumarten hängt also von ihrem Wuchsverhalten, ihren ökologischen Ansprüchen und Toleranzen, besonders der Schattentoleranz, und auch ihrer Langlebigkeit und von weiteren Eigenschaften wie Expansionsfähigkeit des Feinwurzelsystems und der Krone ab. Je schlechter diese Soziabilität zwischen Baumarten ist, desto notwendiger wird es, Mischungen durch Gruppierung der einzelnen Arten zu Kollektiven mit einer grösseren Ausdehnung anzustreben.

Im Fall von künstlich angelegten Pflanzungen wird die angestrebte Endmischung schon bei der Bestandesbegründung geregelt. Im Fall von natürlich verjüngten Bestockungen hingegen stellt die **Mischungsregulierung**, im Zuge der Jungwuchs- und Dickungspflege, eine der wichtigsten Pflegemassnahmen dar.

#### 4.1.2 Diversität

Der Bezug zu diesem Prinzip geht aus mehreren Betrachtungen hervor. Dem Ziel, von der Baumartenzusammensetzung her vielfältige Bestockungen anzustreben, liegt ein generelles Prinzip der Risikoverteilung und der Adaptabilität zugrunde.

Darüber hinaus ist heute der Begriff Diversität als **ethische Aufgabe** für die Erhaltung der **Lebensgrundlage auf der Erde** (Cot, 1992) aufzufassen. Die Vielfalt ist zuerst der beste Motor der Adaptation und somit als Grundlage für die evolutiven Vorgänge anzusehen. Die Diversität ist heute ein bedeutsames Ziel in Zusammenhang mit der Erhaltung der Naturwerte. Dieser Begriff kann aber zwiespältig sein, je nachdem auf welcher Ebene man ihn bezieht. Es gibt zumindest zwischen der Vielfalt (der Gene, der Organismen und der Lebensräume) erhebliche Unterschiede.

Es ist nicht überraschend, dass "Biodiversität" sich zu einem ausgesprochenen Modebegriff entwickelt hat, unter dessen Bedeutung alle aktuellen Herausforderungen verstanden werden. Die Forstwirtschaft kann dabei einen wichtigen Beitrag liefern, da der Wald und insbesondere die inneren und äusseren Waldränder Rückzugsgebiete von zahlreichen Arten sind. Die Wahrung der Biodiversität ist mittlerweile von einem quantitativen zu einem qualitativen Problem geworden. Dies macht die Lösung umso schwieriger, da die Bezugsmassstäbe sowohl räumlich als auch zeitlich beträchtlich variieren.

Der Begriff der Biodiversität bedeutet nicht allein Schutz, sondern vor allem Erhaltung oder mehr noch Förderung zugunsten einer möglichst reichen Artenvielfalt. Ein solches Konzept erfordert äusserst anspruchsvolle Lösungen, weil wir uns auf der Ebene der Ökosysteme und ihrer einzelnen Bestandteile bewegen: zum einen die Biotope, zum anderen die Biozöosen, worin die oftmals sehr komplexen koevolutiven Prozesse eingeschlossen sind.

Mit diesem Konzept sind bestimmte Begriffe verbunden, die vor einer angemessenen Umsetzung klar definiert werden müssen. Dabei handelt es sich namentlich um die **Referenzebenen** und, da die Natur sowohl seltene als auch häufig vorkommende Arten beherbergt, um eventuell bestehende **Hierarchien**. Die Biodiversität fördern bedeutet mit Sicherheit nicht, für ein häufiges Vorkommen von Arten zu sorgen, die von Natur aus selten sind. Nach Meyer (1998) gelten für die Seltenheit der Lebewesenarten die drei unterschiedlichen Gründe:

- Position am Rand der natürlichen Verbreitung
- natürliches Vorkommen in geringer Dichte, weil auf spezielle Lebensbedingungen angewiesen. Die betreffenden Arten sind an besondere Habitatsbedingungen (ökologische Nischen) gebunden
- Im Rückgang begriffen wegen z.B. genetischen Drifts

Die dritte Form der Seltenheit bedarf besonderer Massnahmen. Bei der Gestaltung der Lebensräume ist jedenfalls sehr differenziert nach Arten, interagierenden Artengruppen (sog. Guilden) bzw. Zielen vorzugehen. Es gibt auch unterschiedliche Hierarchien bei den Arten. Abgesehen vom Risiko des Aussterbens bei seltenen bedrohten Arten, sind einige wichtiger als andere, weil sie eine Kernposition in den Lebensgemeinschaften (Key-stone-species) besetzen. Andere sind wichtig, weil sie mit vielen Arten interagieren (Umbrella-species). Angebracht ist jedenfalls, zu unterscheiden zwischen solchen Arten, die nicht an ein bestimmtes Biotop gebunden sind (Ubiquisten), und solchen, die auf das Vorhandensein ganz bestimmter Voraussetzungen angewiesen sind (Spezialisten).

### Artenvielfalt durch Biotopvielfalt

Da klare Konzepte zur Erhaltung der Biodiversität noch ausstehen, kann die Forstwirtschaft, anstatt sich einzelnen Tier- oder Pflanzenarten zuzuwenden, der waldbaulichen Arbeit **auf der Ebene forstlicher Ökosysteme** den Vorzug geben. Die Vielfalt von Arten hängt stark von den Biotopen ab, in denen diese Arten auftreten.

Da genaue Kenntnisse über Prioritäten für den Schutz und für die Erhaltung von Arten oftmals fehlen, zumindest im Sinne von Integralwirkungen, sollte der Waldbau danach streben, **eine möglichst grosse Vielfalt an forstlichen Biotopen zu schaffen bzw. zu erhalten**. Ein entsprechender Waldbau wird sich primär also nicht nur auf eine einzige Behandlungsmethode beschränken, sondern das ganze Angebot an in Frage kommenden waldbaulichen Instrumenten sinnvoll benutzen und kombinieren. Bei einem solchen Vorgehen werden mit Absicht unterschiedliche Behandlungsweisen angewendet, was im Endergebnis zu einem Nebeneinander von Beständen führt, die licht und dicht geschlossen sind, gleich- und ungleichförmig, buntgemischt und rein, gross- und kleinflächige Texturen aufweisen und sowohl grossflächiger als auch punktueller oder sogar einer kontinuierlichen Verjüngung wie im Plenterwald entspringen. Das allgemeine Ziel sollte lauten, so vielfältige Waldstrukturen wie nur möglich zu verwirklichen. Die Bedeutung des Begriffs Artenvielfalt wird somit um die "**Vielfalt der Prozesse**" erweitert.

### Requisiten für die Lebensräume

Daneben sind für die Erfüllung spezieller Erhaltungsziele **gezielte und punktuelle Massnahmen erforderlich**, z.B. für die Waldrandpflege oder für die Erhaltung der Biotope von seltenen Arten oder noch bestimmte generell zu fördernde Besonderheiten (oder sog. **Requisiten**) wie z.B. stehendes und liegendes **Totholz**. Es ist also dabei notwendig, über wichtige Eigenschaften der Lebensräume Bescheid zu wissen.

Als wichtige Requisiten sind nach Scherzinger (1996) z.B. zu erwähnen:

- Totholzanteil
- innere Grenzlinien (Patchiness)
- Flucht- und Durchgangszonen
- Parade- und Reproduktionszonen
- Lichtstellen am Boden (Lichtschächte)

### **Bedeutung der Bestandesstruktur**

Zu dieser Kategorie von Fragen gehört die Diskussion der Bedeutung des Begriffes Struktur. Darüber bestehen teilweise unklare Vorstellungen. Es geht sowohl um Definition, was man unter Struktur versteht, wie auch darum, was ihre Bedeutung für Erhaltungsziele ist und schlussendlich die Art und Weise ihrer Förderung durch waldbauliches Handeln. Die letzte Frage ist waldbaulich von Bedeutung, weil die Strukturmerkmale sich bei weitem nicht immer natürlich ergeben. Sie stehen meistens in Zusammenhang mit menschlichen Eingriffen

Bezüglich begrifflicher Klarstellung ist grundsätzlich nach Scherzinger (1996) zwischen zwei weitestgehend unterschiedlichen Merkmalen der Struktur zu unterscheiden, nämlich:

- horizontaler Strukturierung
- vertikaler Strukturierung

In der forstlichen Fachsprache spricht man von Textur (horizontale Anordnung gleichförmiger Kollektive) und vertikale Einzelmischung nach dem Modell des Plenterwaldes. Es ist also notwendig, zwischen einer gewissen Ungleichförmigkeit im Kronenraum und einem Entwicklungsmodell zu unterscheiden, welches funktional ausgewogen ist und in dem alle Baumalter vertreten sind. Eine eindeutige Definition der Ungleichförmigkeit nach anderen als funktionalen Kriterien ist nicht sehr nützlich.

Die vorangehenden Feststellungen veranschaulichen gut, dass eine strukturelle Ungleichförmigkeit keineswegs mit den Prinzipien der natürlichen Biomasseakkumulation konform ist, welche den Waldökosystemen zugrunde liegen. Im Gegenteil führt die Biomasseakkumulation dazu, dass Waldstrukturen zunehmend homogenisiert und das Kronendach geschlossen wird. Eine Tendenz zur Ungleichförmigkeit lässt sich in Urwäldern selten und nur während der fortgeschrittenen Altersphase infolge der beginnenden Walderneuerung erkennen. Da diese Erneuerung aber mehr Gemeinsamkeiten mit einer Verjüngung unter Schirm als mit der einzelbaumweisen Produktion der Plenterung hat, wird eine Plenterstruktur in Urwäldern nur selten angetroffen. Eine Plenterstruktur ergibt sich nur - und auch nur vorübergehend - in von Natur aus gemischten Waldgesellschaften (z.B. montaner Buchen-Tannenwald) oder in klimatischen Kampfzonen (z.B. subalpiner Fichtenwald, dessen Struktur sich grundlegend von der des montanen Fichtenwaldes unterscheidet; Korpel, 1982). In Buchen-Urwäldern ist die Plenterstruktur praktisch inexistent (Peters, 1992; Reh, 1993) oder zumindest selten (Korpel, 1995).

Waldbaulich einfacher zu realisieren ist die horizontale Strukturierung (auch als Mosaik bezeichnet oder **Patchiness**), weil sie mit einer kleinflächigen dezentralen Waldverjüngung gut zu realisieren ist. Sie erlaubt das Problem des Einbringens von Licht bis auf den Waldboden einigermassen effizient zu lösen (Schütz, 1998).

Es wäre falsch, die beiden Systeme der Sylvigenese, den gleichförmigen Hochwald einerseits und den Plenterwald andererseits, auf manichäische Weise mit ethischen Begriffen von gut und schlecht zu vergleichen. Eine solche Haltung dogmatisierte allzu sehr die Analyse dieser beiden Systeme und würde die Gefahr des Festhaltens an ideologischen Positionen in sich bergen. In Wirklichkeit und gemessen an den Leistungen der betreffenden Lebensräume ist keines der beiden Systeme perfekt oder, etwas genauer ausgedrückt, beide verfügen über Vor- und Nachteile.

Auf der anderen Seite ist es bei der Festlegung waldbaulicher Ziele notwendig, die Aussichten zu ihrer Realisierung zu berücksichtigen und dies steht in Zusammenhang mit dem Grad der Beeinflussung der Bestockungen (sog. **Hemerobie**; siehe dazu: Jalas, 1955; Sukopp, 1972; und Kowarik, 1988). Die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter waldbaulicher Typ verwirklicht wird, hängt von der **biologischen Automation** des betreffenden Systems ab, d.h. davon, was

die Natur ohne starke, korrigierende Eingriffe leistet. Dabei geht es nicht nur um Erfolgsaussichten, sondern auch um die Kosten der waldbaulichen Massnahmen. Wenn zur Erreichung eines bestimmten Zieles voraussichtlich häufige und starke Eingriffe erforderlich sein werden, können die dadurch entstehenden hohen Kosten verbieten, das Ziel weiter zu verfolgen.

### 4.1.3 Adaptabilität

Der Grundsatz der **Unvereinbarkeit von Zielen** wird zugunsten einer anderen Vorstellung aufgegeben, bei der man davon ausgeht, dass die **Rangordnung der Funktionen** und sogar die Ziele selbst laufenden Veränderungen unterliegen. Zukünftig wird die Waldbewirtschaftung so verstanden werden, dass die **Anpassungsfähigkeit** und nicht mehr die Reihenfolge der Funktionen das wichtigste Kriterium für ihre Beurteilung ist. Man wird also grundsätzlich nur noch solche waldbauliche Systeme anstreben, die in der Lage sind, auf neue Ziele ausgerichtet zu werden. Die Festlegung von Zielen spielt dann nur noch im Zusammenhang mit dem allgemeinen Vorgehen eine Rolle, und auch dieses sollte von Zeit zu Zeit überprüft werden können. Der Mischung von geeigneten Baumarten kommt bei diesem Konzept eine herausragende Bedeutung zu: Sie erhöht die Anpassungsfähigkeit, trägt zur Risikoverteilung bei und begünstigt die biologische Vielfalt.

Bestimmte Eigenschaften werden in der waldbaulichen Zielhierarchie höher eingestuft als andere. Die Anpassungsfähigkeit, d.h. die Fähigkeit von Systemen, sich weiterzuentwickeln und sich somit veränderten oder gänzlich neuen Zielen anzupassen, gehört sicherlich zu den höher einzustufenden. Die Fähigkeit zur Anpassung ist bei einem waldbaulichen System von hoher Bedeutung. Sie ist sogar höher einzuschätzen als der ökologische oder ästhetische Wert, den ein System annehmen kann

### 4.1.4 Kostenbewusster und polyvalenter Waldbau

Die verheerende Ertragslage der Forstwirtschaft hat bezüglich der biologischen Produktion zwei bedeutende Konsequenzen. Zuerst liegt die Grenze einer kostendeckenden Nutzung heute bei konventioneller Gewinnung mit motormanuellen Methoden (und für sonst ganz normale Gelände- und Erschliessungsbedingungen) bei etwa 25 cm BHD für Fichte und bei 30 cm für Laubholz. Konsequenterweise belasten die Pflegeeingriffe die Forstrechnung in Stangen- und schwachem Baumholzstadium (also Erstdurchforstungen) äusserst ungünstig. Solche Waldbau eingriffe galten bisher als wesentliche Steuerungsmassnahmen des biologischen Produktionsprozesses. In der Tat waren die bisher gängigen Waldpflegekonzepte auf früh und kräftige Pflegemassnahmen ausgerichtet.

Das ist aus biologischer Sicht betrachtet immer noch richtig. Weil aber solche Lösungen ökonomisch derart belastend ausfallen, kommen wir heute nicht darum herum, uns die Frage zu stellen, ob derart intensive Eingriffe sich betriebsökonomisch noch rechtfertigen. Man kann hinterfragen, ob etwa verspätete Durchforstungseingriffe (mit aber günstigem Kostendeckungsgrad) vom Standpunkt der Kosten-Nutzen-Gesamtwirkung nicht günstiger ausfallen würden. Wenn sie nämlich eine annähernd gleiche Wirkung mit späteren Eingriffe ermöglichen, leuchtet es ein, dass wir zukünftig in diese Richtung gehen sollen.

Wie weit man solche Eingriffe hinausschieben kann, in Rücksicht auf sowohl erwartete Wirkung einerseits als auch bezüglich Stabilität, ist noch teilweise offen. Anders ausgedrückt, gilt es heute für die Gestaltung des Produktionsprozesses nicht nur **biologisch optimale Lösungen** zu erwägen, sondern im vermehrtem Masse **kostenbewusste** und differenzierte Lösungen nach dem Prinzip der minimal notwendigen Lenkung vorzusehen.

Das erklärte Ziel ist, neue waldbauliche Systeme zu entwickeln, die weitgehend selbständig funktionieren und mit weniger Eingriffen und geringeren finanziellen Aufwendungen als bisher auskommen. Eine echte Rationalisierungsmöglichkeit besteht darin, biologische Automatismen, die auf natürlichen Entwicklungsprozessen und deren Wirkungen beruhen, in das waldbauliche Handeln einzubeziehen. Der Einbezug der sogenannten **biologischen Automation** erfolgt dabei in Abhängigkeit vom gewünschten Ergebnis.

Bei der Anwendung solcher biologischer Rationalisierungsmassnahmen macht sich der Mensch die natürliche Entwicklungsdynamik zu Nutze und konzentriert zugleich die vorhandenen Mittel auf die wesentlichen Tätigkeiten (Schütz, 1996). Diese Erkenntnis ist an und für sich nicht neu; schon die Konzepte des naturnahen Waldbaus bauen zumindest teilweise auf den oben beschriebenen Prinzipien auf. Die Mehrheit dieser Konzepte wurde jedoch in einer Zeit erarbeitet, in der Handarbeit wesentlich kostengünstiger war. Wir sind deshalb noch weit davon entfernt, dass die Möglichkeiten der biologischen Rationalisierung ausgeschöpft sind.

Bezüglich Wuchsförderungseffekt beginnen wir zu ahnen, dass das Selbstentwicklungspotential der Natur grösser ist, als früher angenommen. Dies gilt es sehr unterschiedlich zu differenzieren, je nach sozialer Position der Bäume in einer Bestockung, weil je sozial höher die Bäume im Kontext des Bestandesgefüges sind, desto weniger Befreiung von der Konkurrenz brauchen sie. Umgekehrt, je bedrängter die Stellung, desto notwendiger die waldbaulichen Massnahmen. Solche für die Zukunft der Durchforstung entscheidende Fragen bedürfen also einer kritischen Betrachtung, insbesondere die Frage der sozialen Struktur innerhalb der Bestockungen. Die gilt auch für die Veränderung der sozialen Stellungen. Wollen wir im Sinne der biologischen Rationalisierung und der Ableitung kostengünstige aber nichtdestotrotz effiziente (sog. naturopportune) Pflegeverfahren verwirklichen, müssen wir möglichst viel der Natur überlassen und nur dort und dann eingzugreifen, wenn die Natur nicht zu den gleichen Zielen führt. Solche Konzepte richten sich nach der natürlichen Selbstentwicklung.

#### **4.1.5 Wertschöpfung vs. Massenproduktion**

Die Pflegeeingriffe zielen im wesentlichen daraufhin, Qualitätsprodukte zu erzeugen, die ihre günstigste Wertschöpfung bei Erreichung bestimmter Dimensionen vollenden. Dies erfolgt in der Regel bei Hiebsreife. Das Erreichen von Werthölzern bestimmter Zieldimensionen (etwa 60 cm BDH) leitet sich vom Prinzip der Konzentration der Produktionskräfte auf wenige Bäume mit gutem Holzwert und vom günstigen Stück-Massen-Verhältnis ab. In den heute noch gängigen Produktionssteuerungskonzepten machen die zur Produktionssteuerung notwendigen Eingriffe (die Nutzungen aus Durchforstungen oder Vornutzungen) anteilmässig 50 % der gesamten Volumenproduktion aus. Immerhin fällt insbesondere wertmässig der interessanteste Teil der Produktion auf den hiebsreifen Bestand.

Bei der Analyse der Produktionseffizienz muss beachtet werden, dass jeder vorzeitige unfreiwillige Ausfall von Bäumen, z.B. infolge von Nutzungsschäden oder auch stockastischen Ereignissen (Windstürme, Schneedruckschäden) zu Produktionsverlusten führt. Auch ungleiche Verteilung der Bäume können ähnliche Wirkungen haben.

#### **Auswirkungen der Qualitätskriterien des Holzes für die Waldbaupraxis**

Es lassen sich nun die Grundsätze der Pflegekonzepte formulieren. Die Festlegung dieser Pflegegrundsätze erfolgt aus der Sicht, dass die Produktion von Qualitätsholz das Produktionsziel zumindest für einen, wenn auch kleinen Teil der Bäume, nämlich dem Kollektiv der potentiellen Wertträger (d.h. denjenigen mit einem genügendem Potential auf Wertschöpfung)

erreicht. Viele Bäume zwischendurch erfüllen nur Begleitfunktionen. Das Ganze soll in Rücksicht auf den anzustrebenden ökologisch-ökonomischen Kompromiss betrachtet werden.

Bei der Frage der Produktionsziele geht es zuerst darum zu wissen, ob die hohe Wertschöpfung im heutigen Kontext der Internationalisierung der Holzmärkte noch das richtige Ziel ist. Dazu kann folgendes überlegt werden: Vom Standort und vom Klima her betrachtet, haben wir in der Schweiz (und nicht nur für das Mittelland) die besten Voraussetzungen für eine hohe Leistung in Menge und Wert. Gegenüber den grossen Konkurrenten des Nordens haben wir den Vorteil, äusserst interessante und günstige Baumarten produzieren zu können wie z.B. Buche, Esche, Ahorn, Kirschbaum mit enormem Potential an Wertschöpfung, wenn wir in der Lage sind, solche Produkte auch optimal zu verwerten.

Dies darf nicht nur an den Spitzenprodukten (Furnierholz), welche anteilmässig eher gering ausfallen, gemessen werden, sondern am Wertschöpfungsmass einer Vielfalt möglicher Verwertung, d.h. an dem Veredlungspotential. Unsere jetzige Ausschöpfung ist völlig ungenügend, gemessen an der Vermarktbarkeit guter Holzprodukte, zumindest für die Laubholzproduktion. In der heutigen Verarbeitungstechnologie, in innovativen Entwicklungen, in der Ausschöpfung aller Möglichkeiten der stufengerechten Sortierung und in gutem Marketing liegt ein riesiges Potential für eine erfolgreiche Verwertung von sehr vielen modernen Holzprodukten, auch für Schwachholzdimensionen. Eine bessere Ausnützung bei entsprechend gerechter Preisgestaltung würde auch erlauben, die Kostendeckungsgrenze tief zu halten.

Ganz allgemein formuliert ist die Produktion von Qualitätsholz das zu erreichende Ziel, zumindest für den Anteil der Bäume, für welchen eine hohe Wertschöpfung möglich ist und im Gegensatz zu früher nicht mehr für alle Bäume des Bestandes. Diese zielkonforme Betrachtung nennen wir situative Konzeption der Waldbehandlung.

Bei der Festlegung der Produktionsziele und Waldbaukonzepte muss man heute diese sehr unterschiedlichen Komponenten gebührend berücksichtigen. Beide Produktionsformen der hohen **Wertschöpfung und der Massenproduktion lassen sich, sogar im gleichen Bestand, kombinieren**. Heute werden Konzepte erwogen, die vom Gedanken der bestandesweisen gleichen Produktion wegkommen und hin zum Konzept der Mischproduktion und der baumweisen Betrachtung führen. Im gleichen Bestand ist es denkbar, die diametral entgegengesetzten Produktionsgrundsätze der Massen- und der hohen Wertschöpfung zu kombinieren, indem man noch mehr und konsequenter als bisher nur diejenigen Elemente bevorzugt, welche dazu geeignet sind, d.h. bei welchen ein hohes Wertvermehrungspotential besteht, und nur solche Bäume intensiv durch Förderungsmassnahmen pflegt. Zwischendurch besteht ein Puffer aus Bäumen mit im wesentlichen Begleitfunktion bzw. Mitlaufcharakter, dem ohne weiteres eine Massenproduktion zugewiesen werden kann, und für welchen möglichst minimalste Produktionskosten anzustreben sind. Zukünftig werden wir also Pflegesysteme bevorzugen, in denen von früh auf nur die besten Wertträger zu fördern sind mit gezielten situativen Eingriffen. Der Rest der Produktion hat nur begleitende Funktion und soll in möglichst einfacher und billiger Form geerntet werden.

#### 4.1.6 Schlussfolgerungen: Eigenschaften eines polyvalenten Waldbaus

Aus der Sicht der oben erwähnten Veränderungen, speziell der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, müssen heute die folgenden **Prinzipien in Frage gestellt** werden:

- Der Alleinvertretungsanspruch oder zumindest der Vorrang der Holzproduktion muss aufgegeben werden zugunsten eines Konzeptes, bei dem man **von vornherein den grössten Gesamtnutzen** der verschiedenen Ressourcen anstrebt, und dies auch auf Bestandesebene. Beim **polyvalenten Waldbau** ist nur ein Teil der bestandesbildenden

Bäume für die Produktion wertvollen Holzes bestimmt. Der übrige und meist stammzahlreichere Teil ist geeignet, eine oder gleichzeitig mehrere andere Funktionen zu erfüllen (z.B. Umfütterung der Wertträger, Förderung der Vielfalt). Auf der Massnahmenebene führt die waldbauliche Entwicklung weg von den kostspieligen Erziehungseingriffen für eine ganze Bestockung und folgt einem **neuen Konzept der Bestandeserziehung**, welches aus einer **Kombination verschiedener Eingriffsformen innerhalb der gleichen Bestockung** und zum gleichen Zeitpunkt besteht. Aus diesem differenzierteren Vorgehen ergeben sich Eingriffe, die wesentlich stärker als bisher auf die verschiedenen Bestandeglieder ausgerichtet sind (**sog. situative Eingriffsart**): zum einen auf die in der Anzahl beschränkten Zukunftsbäume, die den Hauptteil zur Wertschöpfung beitragen, und zum anderen auf die Bäume, die den sogenannten Begleit- oder Füllbestand bilden und für andere Zwecke bestimmt sind.

- In bestehenden Konzepten wird die Zeit als ein wesentlicher Faktor der Holzproduktion angesehen. Entsprechend des Leitmotivs "**Zeit kostet nichts!**" (Schütz, 1996) werden diese Konzepte nun durch ein anderes ersetzt, bei dem die Zeit nicht mehr entscheidend ist. Dieses neue Konzept basiert auf der Feststellung, dass die Holzproduktion im Grunde ein ganz natürlicher Prozess ist, und dass die Natur diesen Rohstoff ohne menschliches Zutun gratis liefert. Selbstverständlich bleibt die Zeit ein wichtiger Faktor, wenn es um die Festlegung der Bedingungen geht, unter denen die Nachhaltigkeit der Ressource zu gewährleisten ist. Als Kostenfaktor aber spielt die Zeit nur dann eine Rolle, wenn der Wert der Ressource durch den Einsatz von Arbeitsmitteln gesteigert werden soll. Die Wertsteigerung ist in einem solchen Fall der Mehrwert gegenüber dem, was die Natur von sich aus gratis liefern würde.
- Von einem pflegeintensiven Waldbau, der biologisch optimale Lösungen anstrebt, geht die Entwicklung hin zu solchen Konzepten, die sich auf eine **möglichst geringe Einmischung in sylvigenesische Prozesse** gründen. Waldbauliche Eingriffe sind dabei nur sparsam vorzusehen. Ein solches Vorgehen bildet - neben dem Grundsatz der Konzentration auf das Wesentliche - den zweiten Ansatz für biologische Rationalisierung (Schütz, 1996). Der Waldbau ist also bestrebt, sich alles das zunutze zu machen, was die Natur von sich aus liefert. Es geht auch darum, **weniger deterministisch** vorzugehen, sondern das zu übernehmen, was die Natur liefert. Er bewegt sich somit in Richtung eines „**naturopportunen**“ **Waldbaus**, d.h. eines Waldbaus, der sich an der natürlichen Entwicklung orientiert.
- Die bereits erwähnten wirtschaftlichen Notwendigkeiten führen dazu, dass Waldbewirtschaftungssysteme bevorzugt werden, welche die Möglichkeiten der natürlichen, selbsttätigen Entwicklung nutzen. Solche Systeme kommen mit wenigen und kostengünstigen Eingriffen aus und zielen nicht auf maximale Erlöse ab, sondern auf das günstigste Verhältnis zwischen Aufwand und Wirkung. Dabei sollten jedoch zwei Irrwege vermieden werden, die sich auf lange Sicht als verhängnisvoll erweisen könnten:
  - Der Glaube, dass die Natur von sich aus immer das beste Resultat liefert,
  - die willkürliche, d.h. unkontrollierte einzelstammweise Nutzung.

Der erste Irrweg rührt von der falschen Meinung her, dass allein die Natur den unterschiedlichen Bedürfnissen am besten entsprechen könne. Dies gilt nicht einmal für die patrimoniale Wirkung des Waldes oder die Erhaltung der Biodiversität. **Den Wald sich selbst zu überlassen ist im Sinne der Multifunktionalität in keinem Fall eine geeignete Lösung.** Des Weiteren ist es aus ökologischen wie auch aus ökonomischen Gründen erforderlich, dass überall dort, wo die Holzproduktion mit anderen Interessen nicht inkompatibel ist, Lösungen bevorzugt werden, welche die Holzproduktion mit anderen Interessen kombinieren.

Aus ethischer Sicht und auch im Hinblick auf die Erhaltung des Waldes als ein Teil des natürlichen Erbes (patrimoniale Funktion) könnte man sogar fragen, ob es angemessen ist, die Natur zu idealisieren und zu erhalten, ohne den Menschen in die Überlegungen einzubeziehen. Ein Naturschutz, der die Anwesenheit des Menschen verleugnet, ist Ausdruck einer allein auf die Natur ausgerichteten Wahrnehmung. Konzepte, welche beabsichtigen, die Natur unter einer „Käseglocke“ zu konservieren, sind nur in speziellen Fällen wertvoll, z.B. zur Erhaltung besonderer Biotope oder als Anschauungsobjekte für die in natürlichen Waldökosystemen ablaufenden Prozesse. Es geht hier nicht darum, die Unterschutzstellung von Wäldern grundsätzlich in Frage zu stellen oder ihre Bedeutung zu leugnen. Gerade waldbaulich interessierte Personen sind im Zusammenhang mit der Anpassung der Bewirtschaftungsverfahren an die natürlichen Prozesse im Ökosystem Wald mehr denn je am Studium unbeeinflusster, primärer Urwälder interessiert. Ein moderner und effizienter Naturschutz jedoch muss nach einem möglichst harmonischen und, möglichst vielfältigen Zusammenspiel aller Beteiligten und ihrer Interaktionen trachten. Ein Schutz sollte daher ökosystemisch verstanden werden.

Andererseits sollte man nicht den Fehler begehen, **die Holzernte als ein Rosinenpicken** zu verstehen, d.h. **eine unkontrollierte einzelstammweise Nutzung** zu betreiben, welche die Grundsätze der nachhaltigen Ressourcenerneuerung unberücksichtigt lässt. Die Vergangenheit lehrt uns, dass die extensive und unregelmäßige Plenterung, die noch im vergangenen Jahrhundert angewendet wurde, keineswegs zu einer rationellen und harmonischen Bewirtschaftung führt. Gerade bei dieser Art von Nachhaltigkeit zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen der heutigen Form der geregelten Plenterung, die als ein Produktionsprinzip definiert ist, und der einzelstammweisen, unregelmäßigen Nutzung, welche die Bestandserneuerung völlig ausser acht lässt.

## 4.2 DIE PRODUKTIONSFAKTOREN

Die für die Waldentwicklung bzw. die Produktion relevanten Faktoren sind folgende:

- Zeit oder Produktionszeitraum,
- Betriebssicherheit. Hier geht es um die Bedeutung der Ausfälle infolge der Naturkräfte auf die Gesamtproduktion. Daneben ist die Stabilität selber auch als Ressource zu betrachten, in Regionen wo die Schutzfunktionen vorrangig sind,
- Die Wirkung von Beschattung auf die Waldentwicklung,
- Die Wirkung der Mischung von Baumarten auf den Produktionsprozess.

### 4.2.1 Zeit

Auch wenn die Zeit eigentlich nichts kostet und somit als Produktionsfaktor nur ökonomisch von Bedeutung ist, wenn im Produktionsprozess in Form von wertschöpfenden Massnahmen (Arbeit) investiert wird, gehört die Zeit zu den meistanalytierten Einflussgrößen.

Weil die bisher geltenden Produktionskonzepte auf die Erreichung grösstmöglicher Wertleistung ausgerichtet waren (Schädelin'sche Konzeption), war die Zeit früher als massgebender Faktor angesehen, und zwar wegen ihrer Wirkung auf:

- Auswahl und Förderung der Stamm- und Holzqualitätseigenschaften,
- Erreichung von gewünschten Enddimensionen (in etwa 60 cm BHD).

Die ganzen Durchforstungskonzepte wurden entwickelt, um möglichst rasch die ökonomisch interessanten Enddimensionen zu erreichen. Heutzutage kann eine gewisse Kritik an der Schädelin'schen Konzeption ausgeübt werden. Dabei richtet sich diese Kritik in Wirklichkeit nicht an die Art der Wertschöpfung selbst, sondern an die Vorstellung, dass der ganze Bestand, bzw. alle Bäume den gleichen Produktionszielen zugewiesen werden. Heute streben wir innerhalb der Bestockung eine Differenzierung zwischen Massenproduktion und Wertproduktion an. So entwickelt sich die Vorstellung der **situativen** Förderung, d.h. dass nur die besten und wertschöpfungstauglichen zu fördern sind. Der füllende Rest bleibt für die Massenproduktion. Es ist aber klar, dass die Erreichung der Wertvermehrungsziele innerhalb günstiger Zeiträume ihre ganze Bedeutung beibehält.

Die Baumarten spielen hier offensichtlich eine entscheidende Rolle. Nicht nur weil sie unterschiedliche Wuchsgänge aufweisen, sondern weil je nach Baumartengruppe die wertbestimmenden Qualitätsfaktoren recht unterschiedlich sind. Zwischen den Baumarten bestehen also erhebliche Unterschiede in der Produktionsdauer, wenn man sie nach wirtschaftlichen Kriterien misst, wie dies in Tab. 4.1 ersichtlich ist.

**Tabelle 4.1** : Normale Produktionszeiträume der wichtigsten Baumarten  
(unter mittleren Produktionsbedingungen)

Gruppen von Baumarten bezüglich Produktionszeitraum	Durchschnittlicher Produktionszeitraum (Jahre)	Baumarten
sehr kurz	30 - 50	Weide, Pappel, Aspe, Kastanie
kurz	70 - 90	Esche, Kirschbaum, Birke, Weymouthsföhre, Schwarzerle, Roteiche
mittel	90 - 110	Fichte, Tanne, Douglasie, Bergahorn, Hagebuche, Buche (aktive Dfg.)
hoch	120 - 150	Waldföhre, Lärche, (Buche)
sehr hoch	über 150	Eiche

Solche zum Teil erheblichen Unterschiede lassen sich durch Faktoren erklären, die einen Einfluss auf die Alterungsphänomene und dementsprechend auf bestimmte technologische Eigenschaften (Verkernung, Empfindlichkeit gegenüber Fäulebefall) ausüben. Andererseits ist es naheliegend, dass Jahrringbreite und Produktionszeitraum in direktem Zusammenhang stehen, weil sich die Jahrringbreite auch sehr klar von der Waldbehandlung beeinflussen lässt.

Bei bestimmten Baumarten (Esche, Buche, Kirschbaum, Nussbaum, Roteiche) haben breite Jahrringe keine technologischen Nachteile zur Folge (Schulz, 1959). Für solche ist man daran interessiert, unter Umständen eine aktive Steuerung durch Durchforstung vorzusehen, um möglichst rasch die Hiebsreife (sog. **Umtriebszeit**) zu erreichen.

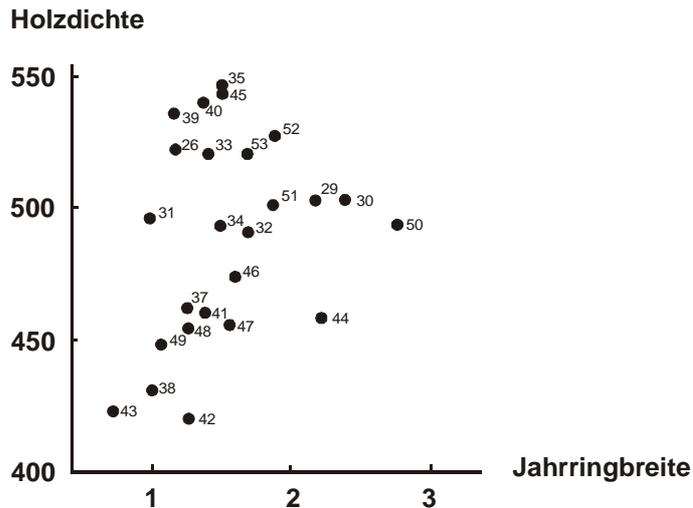
Bei anderen besteht im allgemeinen eine enge Beziehung zwischen schmalen Jahrringen einerseits und guten technologischen Eigenschaften andererseits, wie etwa einer geringeren Härte (z.B. bei Eiche). Auch sind schmale Jahrringe für einen feinen Holzaspekt z.B. bei Messerfurniere gesucht. Im allgemeinen kann gesagt werden, dass bei diesen Baumarten-gruppe schmale Jahrringe eine bessere Qualität und technologische Vorteile bedeuten. Feinere Jahrringe stehen jedoch in Zusammenhang mit einer längeren Produktionsdauer und als Folge davon auch mit grösseren Risiken (z.B. durch Fäulen). Wirtschaftlich betrachtet können deshalb die Nachteile und Risiken einer höheren Produktionsdauer den Vorteil eines besseren Verkaufspreises kompensieren oder sogar zunichte machen. Umgekehrt formuliert stellt sich dem Waldbauer damit die Frage, wo die Grenze ist, ab welcher die Nachteile, die mit Qualitätseinbussen durch breitere Jahrringe verbunden sind, die Vorteile einer kürzeren Produktionszeit überschreiten. Diese Frage ist natürlich mit jener zu stellen, inwieweit die Jahrringbreite von der waldbaulichen Behandlung beeinflussbar ist (z.B. durch Kontrolle der Bestockungsdichte), oder ob sie im wesentlichen einer standörtlich gegebenen Grösse entsprechen.

Bei allgemeiner Betrachtung kann man behaupten, dass für die Produktion von Qualitätsholz weniger die Breite der Jahrringe, vielmehr ihre **Regelmässigkeit** entscheidend ist. So kann man z.B. aus Fichten, welche in einem Mittelwald herangewachsen sind und deshalb breite Jahrringe aufweisen, hochwertiges Furnierholz produzieren; unter der Voraussetzung, dass das Holz eine regelmässige Struktur aufweist und frei von Harztaschen ist (Olischläger, 1970).

Die Eiche gehört zu den Baumarten, bei welchen eine feine Jahrringstruktur günstig wirkt. Allerdings ist das einstige Stereotyp der drei- oder vierhundertjährigen oder gar noch älteren Eiche mittlerweile nicht mehr so unbestritten, im wesentlichen wegen der Entwicklung von Fäulen. Auch in den bekanntesten Produktionsregionen von Werteichen in Frankreich (Bercé, Bellême oder Tronçais) oder Deutschland (Spessart und die Pfalz), rechnet man heute für diese Baumart mit Produktionszeiträumen von unter 250 Jahren (Fleder, 1981). Ausserdem erlaubt heute der technologische Fortschritt auch, Eichenfurniere zu produzieren mit Jahrringen von 2,5 mm Breite (Schulz, 1959). So formuliert Polge (1973) für Werteichen: „La dureté n'est plus comme autrefois un défaut rédhibitoire pour la fabrication des placages“. (Heute ist für die Herstellung von Eichenfurnieren die Härte, im Vergleich zu früher, nicht mehr ein entscheidendes Hindernis). Auf guten Standorten wie im Schweizerischen Mittelland, ist es ohne weiteres möglich, hochwertiges Eichenholz in Produktionszeiträumen von 160 Jahren mit einem viel aktiveren Waldbau vorzustellen (Kenk, 1980; Schütz, 1979). Dies gilt vor allem für die Stieleiche, welche sich als ausgezeichnete Art für gut wasserversorgte Buchenstandorte eignet (Mühlhäuser, 1978).

Überdies, wie die Arbeiten von Polge (1973) gezeigt haben, wird die Holzdichte, oder genauer gesagt die Leichtigkeit des Holzes, nicht allein durch die Jahrringbreite bestimmt. So findet man in der Tat innerhalb von Eichenpopulationen einzelne Individuen mit einem Holz, das zwar zwei, oder sogar drei Millimeter breite Jahrringe aufweist, aber trotzdem eine gute Holzdichte hat und ebenso leicht ist wie das Holz einer klassischen Furniereiche mit Jahrringen von 1 mm Breite (siehe dazu Abb. 4.2.). Diese bemerkenswerte Eigenschaft muss man auf die Fähigkeit einzelner Individuen zurückführen, jährlich eine zweite Reihe von Gefässen (Tracheen) bilden zu können. Die Kombination von breiten Jahrringen, d.h. relativ kurze Produktionszeit mit Qualitätsleistung, lässt von Eichen mit Furnierqualität bei einer Produktionsdauer von nur gerade 120 Jahren träumen.

Das Problem der Jahrringbreite besteht in analoger Weise für die Waldföhre. Bei dieser Baumart erwartet man auch vom Wertholz die Erfüllung von gewissen Feinheitkriterien. Aber trotzdem weist eine zu lange Produktionsdauer Nachteile im Zusammenhang mit dem Aufkommen von Fäulen auf, welche sich vor allem vom Wipfel des Baumes (sog. Kienzopf) oder von den Wurzeln her entwickeln und mit zunehmendem Alter immer grösser werden.



**Abb. 4.2:** Zusammenhang zwischen Rohdicke des Holzes und Jahringbreite bei Eichen.

(nach Polge, 1973)

Was nun bei Eiche und Föhre, zwei langlebigen Baumarten mit vollkommener Verkernung zutrifft, gilt aber nicht gezwungenermassen für alle anderen Baumarten. Ganz im Gegenteil: Es gibt einige Baumarten, bei denen die mit der Alterung verbundenen Nachteile derart erheblich sind, dass man möglichst kurze waldbauliche Produktionszeiträume anstrebt. Sie verlangen einen aktiven Waldbau, welcher erlaubt, Holz in angemessenen Dimensionen (BHD über 60 cm) in Zeiträumen von 80 - 90 Jahren zu produzieren. Dies ist z.B. der Fall bei der Esche, wegen ihrer Neigung zur Bildung eines ungünstigen fakultativen Farbkernes (auch Braunkern genannt).

Auch Kirschbaum und Kastanie gehören zu den Baumarten mit kurzer Umtriebszeit. Im ersten Fall wegen dem Risiko von Fäulen und im zweiten (Kastanie) wegen Ringschäle. Schlussendlich ist bei Baumarten wie Nussbaum oder Roteiche die Jahringbreite mit keinen Nachteilen verbunden, so dass kurze Produktionszeiträume auch sinnvoll sind.

### Das Fallbeispiel Buche

Der Fall der Buche ist es wert, besonders erwähnt zu werden: Es besteht eine enge und günstige Beziehung zwischen der Breite der Jahrringe und der Verringerung von Spannungen im Holz. Diese Spannungen sind im wesentlichen ein Phänomen der Alterung, weil sich mit zunehmendem Alter die Holzfasern immer mehr verkürzen, so dass im Zentrum des Stammes eine Druckzone entsteht, während sich an der Peripherie eine Zugzone bildet. Solche Spannungsunterschiede neigen dazu, sich beim Zuschnitt und weil Buchenholz eine hohe Spaltbarkeit aufweist, auszugleichen. Es bilden sich dann oft bei Ablängen von liegenden Stämmen gravierende Schäden des Aufreissens. Dies gilt besonders für Buchenholz aus Beständen, welche lange Zeit sehr dicht gehalten wurden.

Darüber hinaus besteht ein Zusammenhang zwischen breiten Jahrringen und Verringerung der Drehwüchsigkeit und Verbesserung der Schlagfestigkeit. So wurde eine klare Korrelation zwischen Kronendimensionen und hohen Holzspannungen von (Polge, 1973, 1980, 1981 und Ferrand, 1982) festgestellt, obwohl diese Autoren auch andere Faktoren wie Standort und Genetik auf die Bildung von Spannungen vermuten bzw. ausweisen. Allerdings konnten Lenz et al. (1959) in einer schweizerischen Studie über das Aufreissen von Buchenklötzen die These des positiven Einflusses der Kronengrösse nicht bestätigen.

Darüber hinaus ist bei der Buche die Bildung eines fakultativen Farbkerns ein allgemein bekannter, sehr häufig auftretender Holzfehler, der auch mit den Phänomenen der Alterung verbunden ist. In der Tat nimmt das Risiko der Farbkernentwicklung ab Alter 120 sehr deutlich zu (Knoke und Schulz-Wenderoth 2001).

Von den Qualitätsfaktoren gehören die Holzspannungen wahrscheinlich zu den schwerwiegendsten Fehlern mit den grössten ökonomischen Konsequenzen. Farbkernbildung ist für die Praxis die offensichtlichste und weitverbreitetste Erscheinung. Sie ist aber im Grunde nicht als echter Fehler anzusehen, weil es zu keinen Veränderungen der Holzeigenschaften führt (von Büren, 1997). Sie bringt wohl Deklassierungen und entsprechende Ertragsverminderungen. Ihre Bedeutung muss aber relativiert werden.

Bezüglich Rotkernbildung und Kronenarchitektur bestehen widersprüchliche Aussagen. Praktische Beobachtungen, dass im Mittelwaldbetrieb erzogene grosse Buchen auch völlig weiss bleiben, widersprechen anderen Feststellungen, dass Mittelwaldbuchen besonders häufig verfärbt sind (Becker et al. 1989, Höwecke und Mahler, 1991). Um diese für die Festlegung unserer Durchforstungsstrategien entscheidende Frage zu beantworten, müssen wir das Phänomen der Rotkernbildung etwas differenziert analysieren. Wenn man weiss, dass Rotkern sowohl vom Wurzelsystem stammaufwärts (sog. Nasskern oder abnorme Kern nach Seeling, 1992) vordringen kann, wie von Astbrüchen ausgehend in der umgekehrten Richtung (sog. trockener Rotkern nach von Büren, 1997) ist der Schluss naheliegend, zumindest für den Trockenrotkern, dass zu mächtig entwickelte Kronen zu grösseren Astbruchrisiken und somit zu vermehrtem Farbkern führen können.

Die Ergebnisse der breit ausgelegten Untersuchungen von Susanne von Büren bestätigen den Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die Verminderung des Rotkerns, indem gut bekronte Buchen tendenziell weniger Rotkern aufweisen. Die Ausprägung dieses Faktors ist aber eher schwach und wird von vielen anderen Faktoren überlagert. Die Ergebnisse zeigen auch, dass die Schaffform einen mitwirkenden Einfluss ausübt, indem wipfelschäftige Buchen signifikant weniger Rotkern aufweisen als Zwieselschäftige. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt Knoke (2002) für Bayern. Das Farbkernrisiko ist im Alter 100 3,7 mal grösser für zwieselschäftige Buchen gegenüber wipfelschäftigen, bei ansonsten gleicher Faktorenkonstellation.

Alles in allem bleibt festzuhalten, dass der Hauptfaktor für die Verkernung in der Alterung bzw. den starken Dimensionen zu suchen ist. Kurz formuliert haben wir bei der Buche Interesse daran, in Bezug auf die Förderung ausgezeichneten technologischen Eigenschaften, den guten Kompromiss zu finden zwischen Erzeugung von jungen und möglichst genügend dicken Buchen. Heute werden z.T. sehr aktive Waldbaukonzepte vorgeschlagen, welche darauf hinarbeiten, die Produktionsziele in einem Zeitraum von 120 Jahren zu erreichen (Pardé und Venet, 1981).

### **Heutige und zukünftige Bedeutung der Starkhölzer**

Neuerdings wird die Kritik seitens der Holzverarbeitende Kreise, insbesondere der Sägereiindustrie, an der Zukunft von Starkhölzern immer lauter (BUWAL, 1999). Dies gilt interessanterweise für in der Qualität mässige und niederwertige Nadelhölzer und in keiner Weise für die Laubholzproduktion. Als Starkholz werden hier Sortimenten mit einem Zopfdurchmesser von mehr als 45 cm oder einer BHD von mehr als 52 cm definiert. Begründet wird diese Kritik mit der Tendenz in der Holzverarbeitung zur Herstellung von standardisierten Produkten aus Rekombination und Verleimung von kurzen Holzelementen statt Massivholz (Bretter); sowie mit neuen Tendenzen in der Holz Trocknung. Darüber hinaus ist die Holzverarbeitende Industrie auf neue Verarbeitungsprozesse angewiesen, welche eine hohe Schnitt- oder Hobelgeschwind-

igkeit erlauben. Die Tendenzen gehen diesbezüglich weg von Massivholz und Einzelstückverarbeitung hin zu Normprodukte und Holzrekombination.

Auch wenn die Konzentration der Produktion auf starke Dimensionen nach wie vor wirtschaftliche Vorteile hat (dank Massen-Stück-Verhältnis), zumindest bis zur Sägerei, und damit die Produktion-, Nutzungs- und Gewinnungskosten entsprechend wesentlich günstiger anfallen, werden sich in Zukunft die Preisrelationen zwischen mittleren und starken Nadelholzsportimenten zu Ungunsten allzu starker Hölzer ändern. Dies hat insofern einen Einfluss auf die Produktionskonzepte für Nadelhölzer, als die bisherigen Produktionsmodelle von einem grösseren Einfluss der Dimensionen als der Qualität auf die Preisabstufung ausgegangen sind. So dürften in Zukunft sowohl die Wirkung der Durchforstung wie auch die Verjüngungszeitpunkte (oder die Produktionsdauer) in Rücksicht auf die neuen Preisgegebenheiten zu revidieren sein.

#### 4.2.2 Betriebssicherheit

Die Betrachtung der Ausfallrisiken ist ein wichtiger produktionsbestimmender Faktor. Ausfälle von Z-Bäumen, wenn einmal die Auslese getroffen ist, führen auch zu Produktionsverlusten. Es gilt insbesondere, wenn mit zunehmender Statur der Bäume es keinen Platz für allfällige Ersatzbäume (Reservisten) mehr gibt. Darüber hinaus führen flächige Ausfälle infolge von Windstürmen, wie sie z.B. Anfang 1990 (Sturm Viviane) bzw. um Weihnachten 1999 vorkamen (Sturm Lothar), zu verheerenden wirtschaftlichen Einbussen, umso mehr als sie noch nicht hiebsreife Bestockungen treffen.

Hauptgründe für solche unerwünschten Ausfälle sind:

- Schneeschäden (Gipfel- und Stammbrüche),
- Sturmwirkung (Stammbrüche und Würfe),
- Krankheiten,
- Folgewirkungen der Holzgewinnung (Ernteschäden).

Die Berücksichtigung der Stabilität der Bestände und die Art und Weise, wie man sie durch angemessene Massnahmen beeinflussen kann, ist konzeptbestimmend. Bei den besonders empfindlichen Koniferen steht die **Förderung der Stabilität**, neben der Bildung von **astfreiem Holz** als wahrscheinlich wichtigstes Ziel im Vordergrund. Eine gute Bestandesstabilität ist aber ebenfalls auch bei der späteren Einleitung der Verjüngung ein wichtiger Faktor.

#### Stabilität als Ressource

Selbstverständlich hat die Bestandesstabilität in **Wäldern mit einer vorrangigen Schutzfunktion** evidente Bedeutung. So darf die Stabilität in einer solchen Situation als eigene Ressource bezeichnet werden. In solchen Fällen sind die Kriterien der Stabilität wichtiger als jene der Holzeigenschaften. Diese Schutzwälder befinden sich hauptsächlich im Gebirge, und damit meist auch in der natürlichen Zone der Nadelwälder.

Für solche Verhältnisse ist gerade der **Plenterwald** eine ideale Bestandesform und damit auch, wo überall möglich, ein generell langfristig anzustrebendes Ziel. Dies ist umso mehr begründet, als die Plenterform in idealer Weise eine optimale Verbindung der Schutzleistungen mit Qualitätsholzproduktion sowie der meisten anderen Leistungen aus dem Walde gewährt. Sehr oft ist aber die Struktur dieser Berg- und Gebirgswälder, namentlich bei reinen Fichtenformationen, weit von derjenigen eines Plenterwaldes entfernt, weil sich in den meisten Fällen sehr gleichförmige Strukturen bilden, ausser in der subalpinen Stufe. So neigen sie in den

Altersphasen zu grossflächigen Zusammenbrüchen (Korpel, 1982, 1995). Das Problem der Stabilität in den gleichförmigen Wäldern verdient also die volle Aufmerksamkeit.

### Ausmass der zufälligen Ausfälle

Nicht nur bei Schutzwäldern gehören die Risiken zu wichtigen Produktionsfaktoren. Wie eine Statistik für Süddeutschland zeigt (Tab. 4.3), bilden die unvorhergesehenen Nutzungen oder sog. **Zwangsnutzungen** einen nicht unbedeutenden Anteil, welcher geschätzt etwa ein Viertel des Hiebsatzes beträgt. In den Bergregionen mit erhöhten Risiken (namentlich in den Föhntälern) kann dieser Anteil 50 % oder sogar deutlich mehr betragen. In solchen Fällen bleibt dem Waldbauer nicht mehr viel Handlungsfreiheit. Angegeben sind in der Tabelle 4.3 die Anteile der Zwangsnutzungen im Verhältnis zum vorgesehenen periodischen Holzeinschlag (sog. Hiebsatz). Die Werte sind Mittelwerte, bezogen auf eine Dauer von 30 Jahren. In Jahren mit schweren Katastrophen kann das Ausmass der Zwangsnutzungen ein Mehrfaches des normalen Hiebsatzes betragen. Nach dem Windsturm Lothar (26. Dezember 1999) wurde in der Schweiz 2 % der Waldfläche, bzw. 3 % des stehenden Holzvolumens betroffen. Das entspricht in etwa 2 bis 3 mal dem normalen Hiebsatz. Lokal lagen bei besonders stark betroffenen Forstbetrieben das 10- bis 25-fache der normalen Jahresnutzung am Boden.

**Tabelle 4.3** : Ursachen der Zwangsnutzungen in süddeutschen Staatswäldern

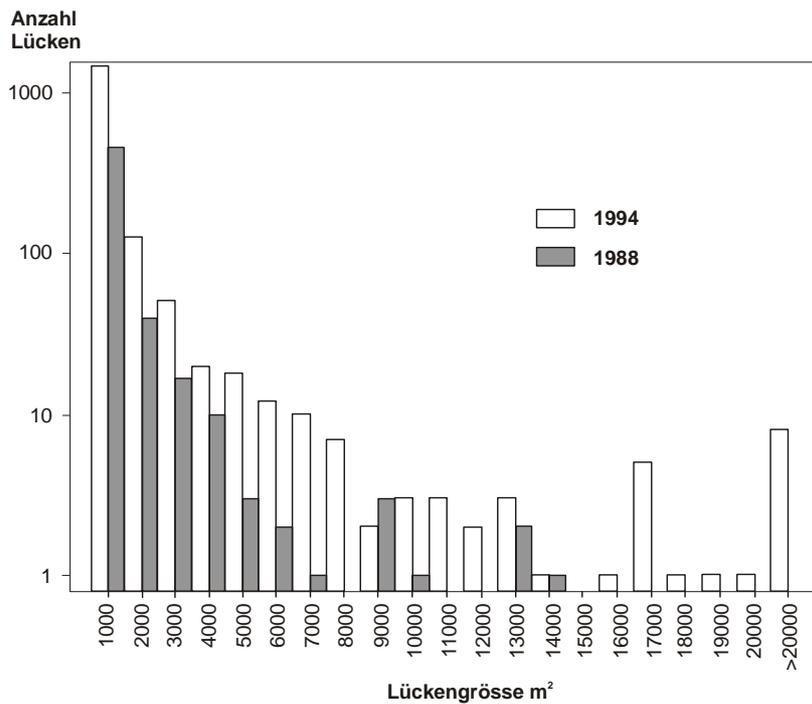
Sturmschäden (Windwürfe)	13 - 16 %
Nassschneeschäden	5 - 9 %
Andere	6 - 8 %

Gilt für Staatswälder Süddeutschland (Baden-Württemberg und Bayern)  
(nach Rottmann, 1985)

Die Zwangsnutzungen stellen für die Forstbetriebe in mehrfacher Hinsicht Nachteile dar. Einerseits sind das direkte Verluste des liegenden und stehenden Holzes bzw. Verluste für die vorzeitigen Nutzungen. Auch sind Verluste wegen der erschwerten Ernte miteinzurechnen. Die Erntekosten von Zwangsnutzungen sind oft doppelt so hoch wie diejenigen von normalen Nutzungen. Gründe dafür sind z.B. die Verteilung der Bäume oder allgemein der zerstreute Anfall der Zwangsnutzungen sowie die Verschachtelung der einzelnen Bäume.

Mässige Stürme führen zu Streuschäden. Sie führen dann nur zu einigermaßen noch tragbaren Einzelverlusten. Unter Umständen ist ihre Wirkung nicht einmal als negativ zu bewerten, wenn sie zu Auflockerung der Bestockung führt, und so ähnlich wie eine Durchforstung eine gewisse Strukturierung im Kronenraum erzeugt, allerdings ist die Wirkung im Gegensatz zur Durchforstung neutral, d.h. ohne den Vorteil der Auslese.

Bei Überschreitung einer kritischen Grenze kann die Bestockung derart aufgelöst sein, dass ihre Stabilität mittelfristig nicht mehr gewährleistet ist. Bei noch stärkeren Schäden (in der Regel bei heftigen Stürmen) entstehen Lücken unterschiedlicher Grösse, welche später Angriffspunkte für Wirbelbildung von Folgestürmen bilden können und somit zu einer Prädisposition für Sekundärschäden, ja sogar zu einer Labilisierung führen. So zeigen Quine und Bell (1998) für besonders häufig von heftigen Stürmen heimgesuchte Regionen in Europa (Schottland), dass Stürme (mit Windgeschwindigkeiten von zw. 30 und 60 m s<sup>-1</sup>; d.h. zw. 108 und 216 st km<sup>-1</sup>) in der Regel zur Bildung von mittleren Bestandeslöchern (10 bis 30 Aren) führen (siehe Abb. 4.4). Grosse Flächen entstehen auch, aber seltener.



**Abb. 4.4:** Verteilung der infolge starker Windstürme entstandenen Lochgrössen

Nach Quine und Bell (1998)

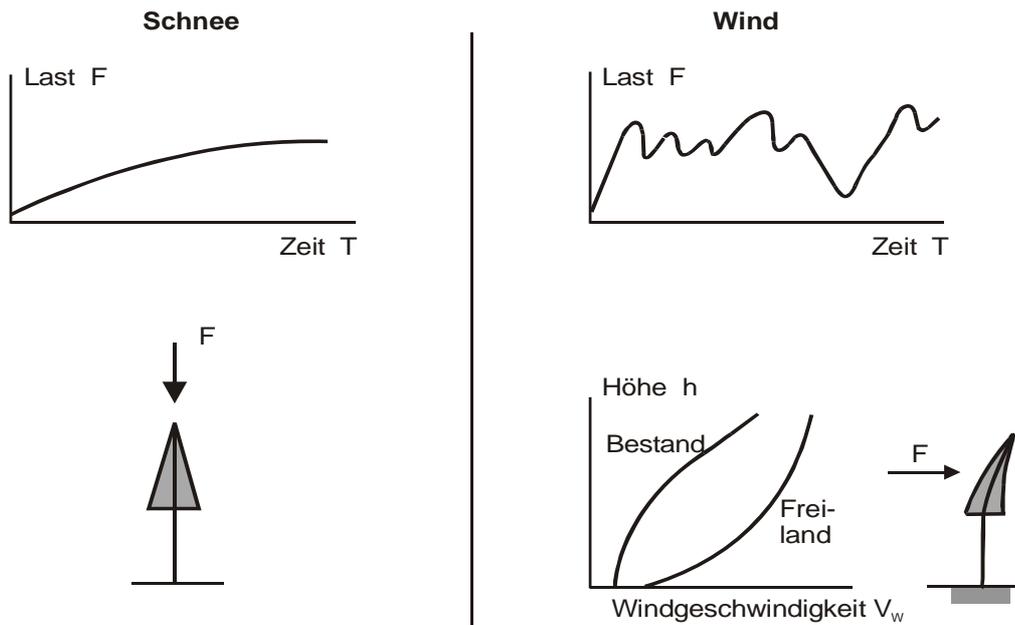
Gilt für 8 sturmexponierte Standorte in Grossbritannien und Sturmereignisse mit Windgeschwindigkeit von zw. 30 und 60 ms<sup>-1</sup>

### Wirkungsweise von Schnee und Stürmen

Grundsätzlich bestehen zwischen den zwei Schadengefahren Stürme oder schwerer Schnee in der Ursache und Wirkung relevante Unterschiede, nämlich:

- Schnees Schäden:
- wirken durch vertikale statische Kräfte. Bäume sind durch Biegungskräfte (ev. Knickung) beansprucht (siehe Abb. 4.5). Die Schlankheit der Stämme (sog. h:d Quotient) gilt als wichtiger Indikator der Empfindlichkeit.
  - betreffen Jungbestockungen in der Phase des höchsten Höhenwuchs (Stangenholzphase).
  - Es gibt klare prädisponierende Faktoren: Baumarten, Höhenlagen, Exposition.
  - So sind Schäden prognostizierbar, bzw. durch vorbeugende Pflege kontrollierbar.

Nassschneeereignisse ziehen vor allem Bestände aus Nadelbäumen in Mitleidenschaft. Besonders anfällig sind Bestände der Waldföhre, deren buschförmige Nadeln einen grossen Anteil des Schnees zurückhalten, sowie Fichtenbestände. Die gefährdete Höhenzone besteht im Bereich, wo Nassschneefälle am häufigsten leicht unter den Gefrierpunkt fallen. Solange die Temperatur nicht über den Gefrierpunkt steigt, gibt es keine Entladung der interzipierten Schneemasse (Stadler et al., 1998). Der grösste Gefährdungsbereich ist in den Regionen nördlich der Alpen um 500 und 700 m ü. M.. In diesen Höhenbereichen kann der mit Wasser gesättigte Schnee, der ein spezifisch hohes Gewicht aufweist, das dreimal so hoch ist wie dasjenige von trockenem, kaltem und leichtem Schnee, schwerwiegende Schädigungen verursachen.



**Abb. 4.5:** Unterschiede in der Belastung zwischen Schneedruck und Windstürmen nach Marsch (1989)

#### Sturmschäden:

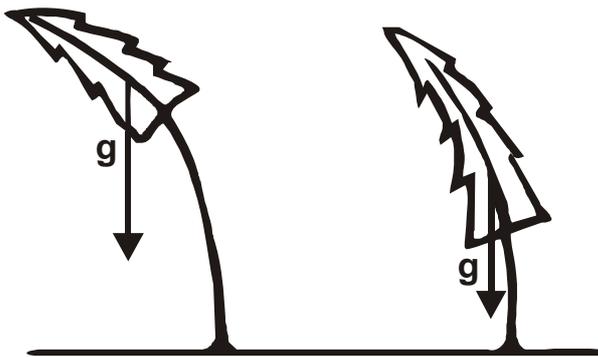
- wirken durch seitliche Kräfte mit hoher dynamischer Beanspruchung. Unter pulsierenden Windstößen (Böen) schwingen die Bäume in kurzen intermittierenden Perioden von einigen Sekunden;
- Ältere Bestände aus wintergrünen Nadelhölzern sind betroffen, weil die Windstärke über dem Walddach von oben abnimmt und auch die Wirkung (Biegemoment) mit der Baumhöhe und Kronendichte zunimmt;
- Die Stabilität beruht auf unterschiedlichen Komponenten: mechanische Festigkeit des Stammes (Bruch) und Verankerung (Wurf);
- weniger der  $h:d$  Quotient ist als Indikator massgebend, sondern der Gesundheitszustand des Wurzelsystems, die Bodeneigenschaften und die Rauhigkeit des Waldgefüges ;
- die lokale Wirkung der Stürme ist sehr zufällig und also kaum voraussehbar.

### Schadenbilder und Empfindlichkeiten

#### Schnee:

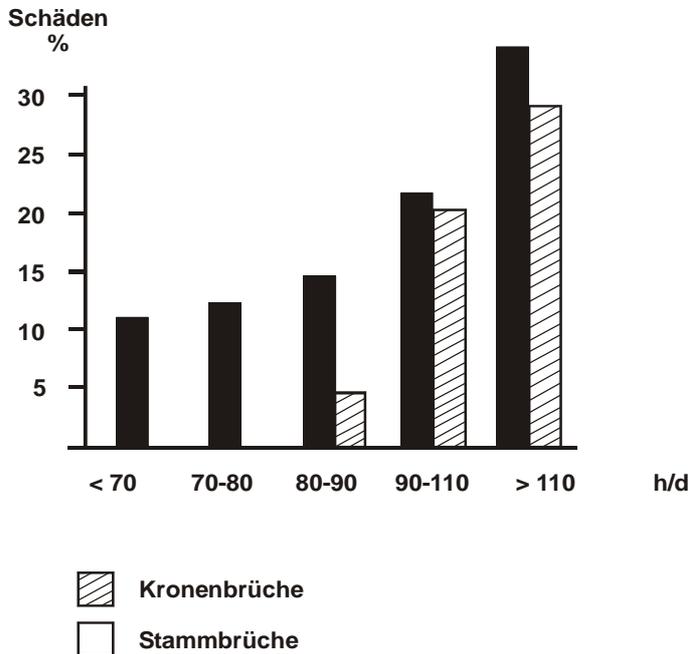
Mechanisch betrachtet führt die Schneebelastung dazu, dass der Baum durch Beugung seitlich nachgibt, wodurch im Stamm entsprechende Zug- und Druckkräfte entstehen. Die Schneelasten verursachen mechanisch betrachtet nicht das Knicken, sondern Bieungsbeanspruchungen (Rottmann, 1985). Je nach Schadensereignis entstehen Kronenbrüche oder Stammbrüche. Die Basis der Baumkrone ist ebenfalls eine bevorzugte Bruchstelle. Statistisch gesehen stellt man vor allem Brüche an der Kronenbasis, andererseits aber auch Brüche im untersten Viertel oder im untersten Drittel des Stammes (Rottmann, 1985) fest. Letztere Schäden weisen die schwerwiegendsten Folgen auf, weil die betroffenen Bäume logischerweise nicht überleben, im Gegenteil zu Kronenbrüchen, bei welchen die Bäume oft überleben, wenn ein genügend grosser Anteil der belaubten bzw. benadelten Krone bestehen bleibt.

Die Empfindlichkeit gegenüber Schäden hängt einerseits von den statischen Eigenschaften der einzelnen Bäume ab, also von der Stammform, andererseits ist entscheidend, wie weit das kollektive Gefüge ein seitliches Schwanken der Einzelglieder zulässt. Von der Last- und Kräfteverteilung her gesehen ist die Anfälligkeit auf Brüche abhängig von der Höhe des Kronenansatzes und der Kronenlänge, da durch diese zwei Größen der Schwerpunkt der Last massgeblich bestimmt wird (siehe Abb. 4.6). Je kürzer eine Krone ist und je höher ab Boden ihr Ansatzpunkt liegt, desto wichtiger wird das Biegemoment, womit das Bruchrisiko ansteigt.



**Abb. 4.6:** Beanspruchung der Bäume durch die Schneelast.

Rottmann hat durch seine systematischen Aufnahmen von Schneebruchschäden im Lehrwald der forstlichen Fakultät der Universität München gezeigt, dass eine enge Abhängigkeit zwischen den Schäden und dem mittleren Schlankheitsgrad (oder das Verhältnis  $h/d$ ) eines Bestandes besteht (siehe dazu Abb. 4.7).

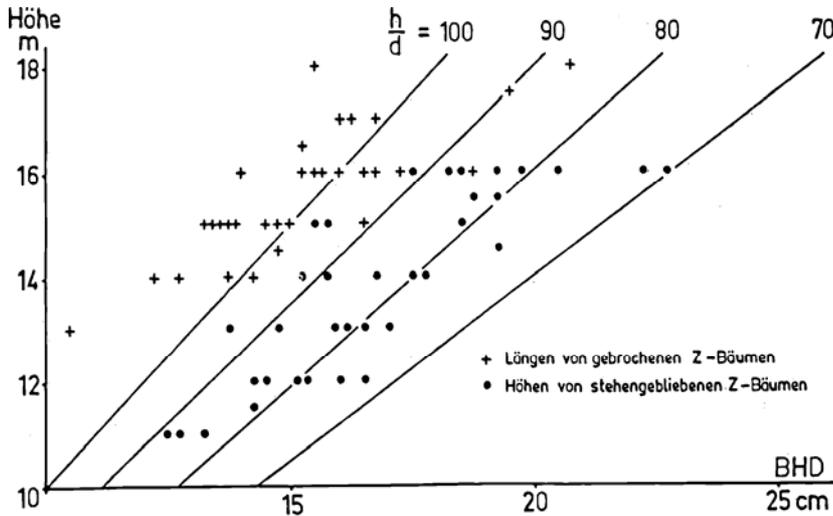


**Abb. 4.7:** Schneedruckschäden und Schlankheitsgrad im Lehrwald von Landshut der forstlichen Fakultät München.

(nach Rottmann, 1985)

Die Schäden steigen merklich an, wenn der mittlere Schlankheitsgrad **einen Wert von 85** übersteigt, und sie nehmen leicht ein kritisches Ausmass an, wenn die Grenze von 100 überschritten wird. Auch innerhalb eines Bestandes werden die Überschlanken mehr betroffen als die herrschenden, wie dies die Beobachtung der Schneedruckschäden von Merkel (1975) in einem 48-jährigen Fichtenbestand in Baden-Württemberg zeigen (Abb. 4.8). Bei winterkahlen

Laubhölzern liegt die kritische Grenze bei wesentlich höheren  $h/d$ -Werten, nämlich bei  **$h/d$  von 140 für die Buche** (nach Kodrik, 1991).



**Abb. 4.8:** Zusammenhang zwischen Schlankheitsgrad und Schneedruckschäden in einem 48-jährigen Fichtenbestand; Fläche Kandern Baden-Württemberg

(nach Merkel, 1975)

Im Bestandesalter des Stangenholzes ist die Phase mit der höchsten Anfälligkeit gegenüber Schneeschäden, weil sie auch diejenige mit der grössten Zunahme des Wettbewerbes, d.h. die Phase des stärksten Höhenwachstums ist.

In der Tat zeigen die Beobachtungen von Rottmann für die empfindlichen Baumarten (Fi, Fö) ein Maximum an Schäden in den Stangenhölzern mit gleichförmiger, homogener Struktur und Bestandesalter zwischen 20 und 50 Jahren (Tab. 4.9). Dabei treten solche Schäden in jungen Bestockungen zuerst konzentriert, d.h. in flächiger Form auf. Mit zunehmender Bestandesentwicklung dagegen werden die Schäden eher zerstreuter.

**Tabelle 4.9:** Empfindlichkeit der Baumarten gegenüber Schneeschäden

<p><b>Nadelbäume</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- sehr empfindlich:</li> <li>- empfindlich:</li> <li>- wenig empfindlich</li> <li>- unempfindlich:</li> </ul>	<p>Waldföhre, Schwarzföhre, Fichte Douglasie, Weymouthsföhre Bergföhre, Arve Lärche</p>
<p><b>Laubbäume</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- sehr empfindlich:</li> <li>- empfindlich:</li> <li>- wenig empfindlich:</li> </ul>	<p>bei <b>frühzeitigen Schneefällen</b>, solange die Bäume noch in <b>belaubtem Zustand</b> sind: Esche, Birke, Pappel, Erle, Linde, Weide, Robinie Baumarten, welche auch im laublosen Zustand eine <b>dichte Verzweigung</b> aufweisen: Pappel, Weide, Birke unter normalen Bedingungen: Linde, Esche, Robinie, Edelkastanie</p>

Von Schneeschäden besonders betroffen sind also vor allem Stangenhölzer, wo auch vor allem Stammbrüche vorkommen. Mit zunehmendem Bestandesalter verschieben sich die bevorzugten Bruchstellen nach oben, d.h. in den Bereich der Baumkronen, was vermehrt zu Beschädigungen innerhalb der Kronen führt. Eine solche Verschiebung der Schäden vom

unteren Stamm- in der Kronenbereich zeigt sich ebenfalls als Ergebnis der Erhöhung der Durchforstungsstärke.

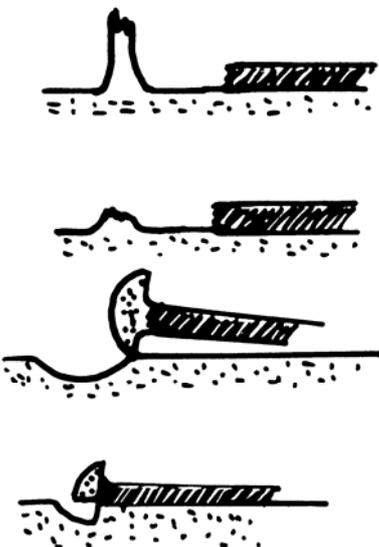
Die Faktoren, welche die Anfälligkeit eines Baumes bzw. eines Bestandes gegenüber Schneeschäden bestimmen, sind neben der Baumart und der Höhe über Meer auch die Bestandesdichte und das Bestandesalter, der Schlankheitsgrad, die Kronenlänge, die Unregelmässigkeit der Kronenform, die Länge der Internodien (Stammabschnitt zwischen Astquirlen) in der Krone (Möhring, 1981) und eventuell genetische Faktoren, ferner die topographische Lage und letztendlich die Exposition eines Bestandes.

### Stürme:

Nach Oehler (1967) resultieren bereits ab Windgeschwindigkeiten um  $17 \text{ ms}^{-1}$  ( $62 \text{ kmh}^{-1}$ ) zerstreute Schäden im Wald. Bei Windgeschwindigkeiten ab  $30 \text{ ms}^{-1}$  ( $108 \text{ kmh}^{-1}$ ) entstehen flächige Schäden, mit lokaler Auflösung in kleinen Löchern unterschiedlicher Ausdehnung von meistens zwischen 7 und 10 Aren (Quine und Bell, 1988). Bei sehr starken Stürmen oder sogar Orkanen können grossflächige Schäden entstehen, sehr oft sind die Schäden auf lange Streifen (Windgassen) konzentriert.

Es lassen sich folgende Schäden unterscheiden (siehe Abb. 4.10):

- Brüche
  - Stammbruch (Höhe 2-10 m)
  - Stockbruch
- Wurf
  - Wurzelbruch (Wurzelteller am Stammfuss als Scharnier)
  - mit dem ganzen Wurzelteller
- Torsion



**Abb. 4.10:** Art der Sturmschäden.

Im Grossen und Ganzen werden die Bäume nach heftigen Stürmen sowohl gebrochen als auch geworfen. Empfindliche Koniferen (z.B. Fichte) werden eher gebrochen. Winterkahle Laubhölzer werden tendenziell eher geworfen. Bodeneigenschaften und -zustand (z.B. Wassersättigung) spielen hier eine entscheidende Rolle. Primär sind die höchsten Bäume betroffen, weil die Windgeschwindigkeit gegen den Boden zu stark abnimmt und wegen dem grössten Drehmoment bzw. Schwingungsamplitude.

Es scheint, dass die Kräfte (bzw. das Drehmoment), welche zu Bruch oder zu Wurf führen, ähnlich gross sind (Worrell, 1981; in: Dunham und Cameron, 2000). So dürften kleine Materialschwächen im Fall des Bruches sowie der Querschnitt und Winkel der Hauptwurzeln

bzw. ihr Gesundheitszustand sowie die Tiefe der Wurzelballe im Fall des Wurfes für die Schadenart schlussendlich entscheidend sein.

Bei Stammbrüchen variiert die Höhe des Bruches zwischen 2 – 8 m, obwohl der Biegemoment an der Stammbasis maximal wäre. Betrachtet man das Schwingen der Bäume, würde man die Bruchstelle bei 0,5 m der Schaftlänge erwarten, weil dort beim 1. harmonischen Knotenpunkt die grösste Stammdeflexion stattfindet (Fournier et al. 1993; Eutener, 1970). Schlussendlich scheinen Unterschiede im Holzmaterial wie Äste, Buchs (Dunham und Cameron, 2000) oder breite Jahrringe eine nicht unerhebliche Rolle zu spielen.

Torsionsschäden (eher selten) können entstehen, wenn Bäume während dem Bruch durch rotierende Kräfte beeinflusst sind. Dies kann geschehen, wenn die Krone asymmetrisch ist oder wenn der Baum durch Nachbarn einseitig eingeklemmt wird.

### Prädisposition bzw. Empfindlichkeiten

Wintergrüne Nadelbäume sind in der Regel 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 4 mal mehr von Schäden betroffen waren als Laubhölzer (Buwal, 2001). Unter diesen scheint die Buche empfindlicher zu sein als Eiche, Ahorn und Esche.

Die Nadelbäume weisen eindeutig die stärkste Anfälligkeit gegenüber Sturmschäden auf, offensichtlich wegen der Anfälligkeit des Wurzelsystems gegenüber Fäulebefall. Dies gilt besonders auf Böden mit einer schlechten Durchlüftung. Damit sind also die Ausprägung sowie der aktuelle Gesundheitszustand des Hauptwurzelsystems (als Verankerungssystem) für die Sturmfestigkeit eines bestimmten Baumes mindestens so wichtig wie die mechanischen Eigenschaften des Stammholzes.

Ist die Verankerung von Bedeutung (bei Laubholzarten), sind die Unterschiede sowohl zwischen den Baumarten als auch den Bodenbeschaffenheiten zu betrachten. Als Faktoren spielen hier:

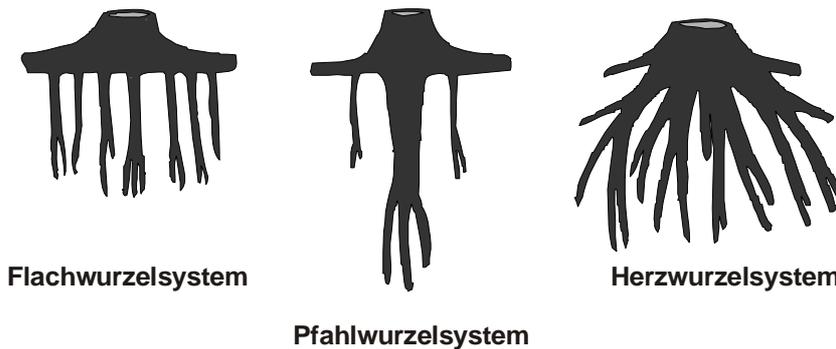
- Typen der Wurzelsysteme (Flach, Pfahl, Herz) sowie die Vernetzung des Bodens durch die Feinwurzeln
- Dimensionen der Wurzellballe (Breite und Tiefe)
- Bodeneigenschaften, welche auf die Entwicklung der Bewurzelungstiefe wirken.

Von den drei Wurzelsystemen (siehe Abb. 4.11) ist das Herzwurzelsystem als am günstigsten zu betrachten, weil es sowohl die Tiefe wie die Breite bevorzugt. Das Flachwurzelsystem ist nicht so ungünstig wie üblicherweise angenommen, da es zu einer bezüglich seitlicher Verankerung günstigen Entwicklung der Hauptwurzeln führt. Die Bewurzelungstiefe ist von Senkerwurzeln gesteuert. Die Wurzelsysteme sind sehr stark von der Bodenbeschaffenheit, insbesondere von der physiologischen Gründigkeit, überlagert, sodass auch Baumarten mit Pfahlwurzeltendenz ein flachgründiges System entwickeln können und umgekehrt. Die Art der Pflanzenbegründung bzw. der Bodenbearbeitung scheint keinen wesentlichen Einfluss auf die Entwicklung des erwachsenen Wurzelsystems zu haben (Coutts, 1983).

In der Tat ist weniger die absolute Tiefe des Hauptwurzelsystems der entscheidende Faktor der Widerstandskraft gegenüber Stürmen, sondern eher die schräge Durchwurzelung des Bodens sowie die Dichte des Feinwurzelsystems. Letztere erlaubt nämlich, einen mehr oder weniger grossen Ballen an Bodenmasse zu fixieren. In Wirklichkeit ist der Halt bzw. die Standfestigkeit eines Baumes im Boden auch eher durch das Gewicht des Erdballens begründet als durch die

Wirkung einer direkten Verankerung, welche dank einigen starken Seitenwurzeln in und gegen der Windrichtung erfolgt. Das Gewicht der Wurzelballe liegt ungefähr acht mal über demjenigen des Baumes.

Bouchon (1987) gibt für Frankreich, zumindest für die Nadelbäume, die Sturmempfindlichkeit in folgender abnehmender Reihenfolge an: Fichte, Waldföhre, Tanne, Douglasie, Schwarzföhre, Lärche. Von den drei nach Biebelriether (1966) definierten Wurzelsystemen, nämlich dem Flach-, dem Pfahl- und dem Herzwurzelsystem (siehe Abb. 4.11), verschafft offensichtlich nicht das Pfahlwurzelsystem, sondern das Herzwurzelsystem (Douglasie, Lärche usw.) die beste Stabilität gegenüber Stürmen.



**Abb. 4.11:** Die drei Wurzelsysteme der Bäume.

(nach Biebelriether, 1966)

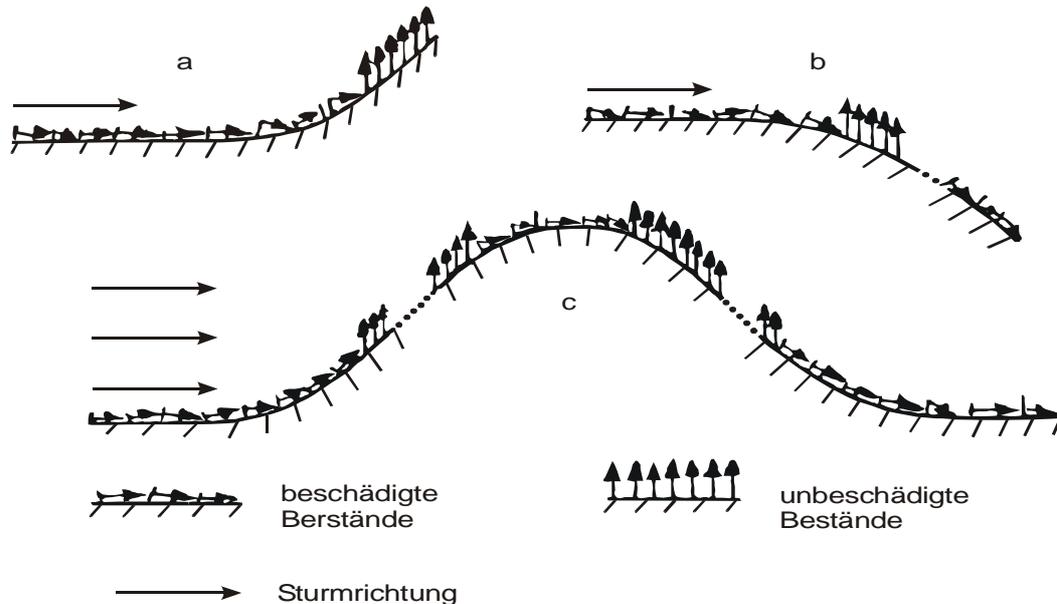
Die Sturmanfälligkeit der verschiedenen Baumarten zeigt Tab. 4.12.

**Tabelle 4.12:** Sturmempfindlichkeit der verschiedenen Baumarten

sehr empfindlich:	Fichte, Tanne (71 bzw. 66 %)
empfindlich:	Birke, Eiche, Buche, Föhre (37 - 43 %)
wenig empfindlich:	Ahorn, Lärche, Esche, Douglasie, Hagebuche und andere

(nach Bazzigher und Schmid, 1969)

Die Geländeform kann einen Einfluss ausüben. Schon Hütte (1967) wies auf eine besondere Schadenskonzentration in luvorientierten Hängen, Hügelscheiteln, Hügelrückseiten bzw. – seiten hin. Dies steht offensichtlich in Zusammenhang mit der Düsenwirkung und Bildung von Turbulenzen (siehe Abb. 4.13). Quine und Gardiner (1998) haben für Schottland ein Gelände-Prognosemodell für die Bestimmung der speziellen Risikenprädisposition entwickelt.



**Abb. 4.13:** Einfluss der Geländeform auf die Sturmschädenempfindlichkeit  
Nach Hütte (1967)

### Strategien:

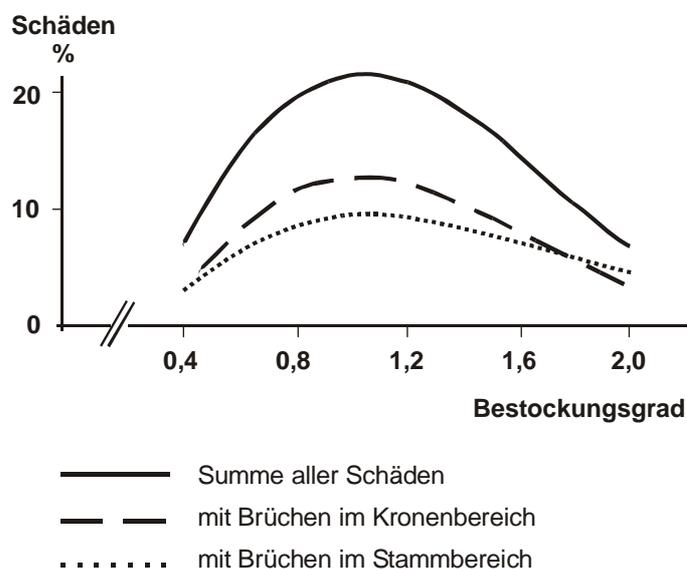
Schnee und Sturmschäden haben unterschiedliche Bedeutung für die Nutzungskonzepte. Grundsätzlich ist primär das Problem nach dem Prinzip der Vorsorge über die **Baumartenwahl** zu regeln, allenfalls über Mischungen. Dies gilt besonders für prädisponierende Lagen.

Schnee stellt in der Phase der Auslese (Stangenholzphase) einen wichtigen Faktor dar. Weil in dieser Phase auch das intensivste Höhenwachstum stattfindet, ist sie auch die Phase mit der grössten Zunahme des Wettbewerbes und in der die Bäume die maximalen hohen Schlankheitsgrade ( $h:d$  Quotient) aufweisen und somit die grösste Prädisposition zu Schneedruckschäden darstellt. Weil die Durchforstung die Stammform positiv beeinflussen kann, stellt sie zumindest mittelfristig auch den wichtigsten Wirkungsfaktor zur Stabilisierung dar. Allerdings muss zwischen Stärke der Durchforstung und mittelfristiger Verbesserung der Einzelbaumeigenschaften ein Kompromiss gefunden werden, da unmittelbar nach einer Durchforstung das Risiko einer Destabilisierung zunimmt. Die Angst vor Fehlentscheidungen und deren Folgen führt oft zu einer Lähmung der forstlichen Handlungsbereitschaft. Diese Zurückhaltung bewirkt letztendlich, dass man in der Praxis mehr Bestände mit Stabilitätsproblemen findet als solche, die angemessen behandelt wurden. Als Folge davon müssen die Eingriffe immer wieder zu einem Zeitpunkt vorgenommen werden, in dem die Bedingungen eigentlich nicht mehr günstig sind. Diese Fragen des Einflusses der Durchforstung auf die Stabilität werden im Abschnitt 6.3 detailliert behandelt.

Um das Problem der mechanischen Stabilität genau verstehen zu können, muss man auch zwischen der individuellen Stabilität der Bäume und der kollektiven Stabilität der Bestockung unterscheiden. Bei der Betrachtung der **individuellen Stabilität** sind v.a. diejenigen Bäume wichtig, welche das Gerüst eines Bestandes bilden; wobei es sich meistens um die sozial herrschenden und vorherrschenden Individuen handelt. Die **kollektive Stabilität** hingegen beruht auf einem Effekt der Bestockung als Block. In diesem Fall stützen sich die Bäume gegenseitig und verhindern dadurch ein übermässiges Hin- und Herschwanke der Einzelglieder. Solange ein Bestand, auch wenn er hauptsächlich aus schwachen, schlanken

und deshalb bruchgefährdeten Einzelgliedern besteht, noch völlig kompakt und dicht ist, besitzt er eine genügende hohe kollektive Stabilität. Damit ist auch ein solcher Bestand gegenüber wind- oder schneebedingten mechanischen Einwirkungen noch einigermaßen widerstandsfähig.

Die Wirkung einer hohen kollektiven Stabilität beruht auf der geringen seitlichen Bewegungsfreiheit der einzelnen Bäume. Die kollektive Stabilität ist somit von der Bestandesdichte und vom Bestandesschluss abhängig. In dichten Beständen verhindern die Baumkronen die Schwankungen der einzelnen Bäume und üben somit einen stabilisierenden Effekt aus. Beobachtungen des Schadenausmasses im Lehrwald der forstlichen Fakultät der Universität München von unterschiedlich dichten Beständen zeigt Abb. 4.14. Die Schneeschäden fallen aufgrund der kollektiven Stabilität geringer aus in sehr dichten Beständen, sowie auch in lichten Beständen, wo die Stabilität der Einzelbäume gut ist. Die Bestände mit einer mittleren Bestockungsdichte hingegen werden durch die Schneeschäden am meisten betroffen.



**Abb. 4.14:** Schneedruckschäden und Bestockungsdichte.

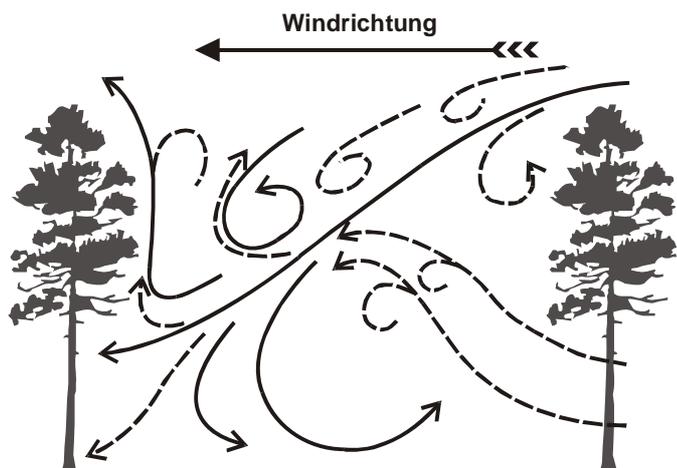
(nach Rottmann, 1985)

Beim Sturm, der ältere Bestockungen betrifft, drehen sich die Fragen weniger um Verlust durch vorzeitiges Ausscheiden bzw. Ausfall von Wertträgern und damit von Wertschöpfungspotential als um Probleme der Labilisierung betroffener aufgelöster Bestände. Selbstverständlich spielt die Baumartenwahl wie im Fall der Schneegefahr eine übergeordnete Rolle.

Mittlere Stürme mit Einzelwürfen wirken wie vorzeitiges Ernten und sind somit vom konzeptionellen Standpunkt aus betrachtet nicht so gravierend. Bei Überschreitung einer gewissen Windgeschwindigkeit konzentrieren sich die Schäden, und damit entstehen erhebliche Gefahren von späteren Folgeschäden durch Bestandesauflösung bzw. Labilisierung. Tatsächlich nimmt das Risiko der Bildung von Turbulenzen zu, sobald mittlere Löcher in einer alten Bestockung geschaffen werden (siehe Abb. 4.15 nach Krecmer, 1967).

So betrachtet sind eher die (seltenen) starken Stürme für Nutzungskonzepte zu betrachten. Es lässt sich dann überlegen, in welcher Weise sie unausweichlich sind (Naturgewalt), bzw. ob es waldbauliche Mittel gibt, um ihre Wirkung zu reduzieren. Dies entspricht zwei grundlegend anderen Formen der Umgehungsstrategien nämlich:

- Strategie des Ausweichen (Avoidance), z.B. durch Anpassung der Umtriebszeiten an die Wiederkehrzeit (oder Rekurrenzzeit) der Ereignisse;
- Strategie des Widerstehens (Resistance) durch Förderung der Stabilität.



**Abb. 4.15:** Luftströmungen in einer Bestandeslücke.

(nach Krecmer, 1967)

Die erste Strategie steht in Zusammenhang mit der Frage der Wiederkehrperiode von Stürmen. Weil Stürme ein sehr stochastischen Charakter aufweisen, gibt es beim gleichen Ereignis lokal grosse Unterschiede im Windfeld. Die Windgeschwindigkeit und die Böigkeit können lokal sehr stark wechseln, mit Windgeschwindigkeitsunterschieden um das Doppelte. Entsprechend konzentrieren sich auch die zu beobachteten Schäden meistens längs Streifen. Ihr Verlauf und ihre Position ist völlig unvorausehbar.

So ist grossräumig zwischen einem Sturmereignis und seinem lokalen Impact zu unterscheiden. Eine Schätzung der Wiederkehrzeit eines Ereignisses wie Lothar nach der Extremstatistik ergibt eine Rekurrenzzeit von etwa 12 Jahren. Dies gilt für die Ebene des Landes oder einer Grossregion. Weil auch lokal grosse Unterschiede bestehen, ist die Schätzung der Wiederkehr von letalen Schäden (d.h. flächige Schäden) auf der Ebene des Bestandes völlig anders. Auch nach einem Extremsturm wie Lothar sind nur 2 bis 3 % der Wälder flach gelegt. Auf Bestandesebene betrachtet steht also das Risiko in einem Verhältnis von 33 bis 50 mal niedriger als auf Regionesebene. Der bestandesbezogene Wiederkehrwert eines Orkanes wie Lothar liegt entsprechend zw. rund 400 und 600 Jahren. Sogar für eine Region wie Schottland, welche besonders oft von Stürmen heimgesucht wird, zeigen Gardiner und Quine (2000) Flächenschäden von zwischen 2 und 8 % und errechnen eine lokale Wiederkehr in der Grössenordnung von 70 Jahren für besonders exponierte Partien und 150 Jahre für die anderen.

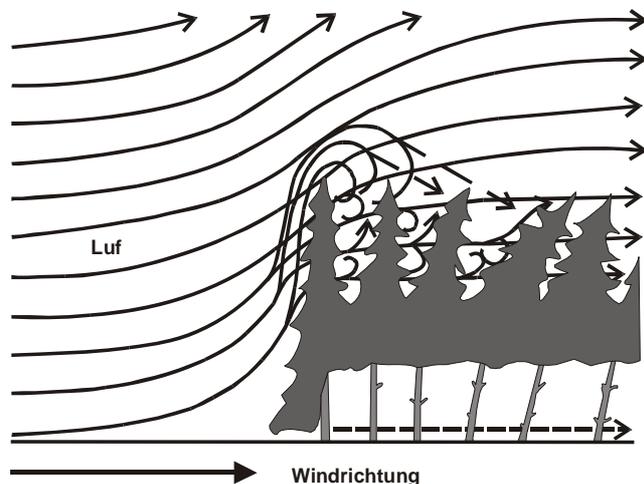
Fragen des Ausweichens durch Einflussnahme auf die Umtriebszeit, die ja waldbaulich auf Bestandesebene gilt, scheinen nicht von besonders relevanter Bedeutung sein, ausgenommen vielleicht für besonders prädisponierende Regionen oder Standorte. Auf Betriebsebene hingegen sind die Folgen von wiederkehrenden Stürmen mit relativ kurzer Rekurrenzperiode natürlich im Kauf zu nehmen.

Im Sinne der Widerstandsstrategie lassen sich Überlegungen heranziehen, ob und inwieweit waldbauliche Mittel in der Lage sind, die Stabilität so zu fördern (siehe Abschnitt 6.3).

### **Bedeutung des Waldrandes**

Man muss ebenfalls wissen, dass sich die am meisten sturmgefährdete Zone eines geschlossenen Bestandes nach Mitscherlich (1974) in demjenigen Bereich befindet, welcher unmittelbar hinter jenem Waldrand liegt (siehe Abb. 4.16). Das ist somit jene Stelle, wo der

Wind, der auf das dichte Hindernis des Waldrandes stösst, eine Stauung bildet und damit die Luftströme über die Bestockung hinwegleitet. Dadurch können im Bereich unmittelbar hinter dem Waldrand starke Turbulenzen entstehen, welche zu dementsprechenden Schäden führen können. Das ist der Grund, weshalb nach Stürmen sehr oft nur noch die Waldränder bzw. die Waldrandbäume stehen bleiben.



**Abb. 4.16:** Wirkung des Windes auf den Waldrand.

(nach Mitscherlich, 1974)

Als Konsequenz dieser Erkenntnis ist es also wichtig, durchlässige Waldränder, welche hauptsächlich aus Laubbäumen bestehen, zu schaffen. Solche Waldränder erlauben aufgrund ihres unbelaubten Zustandes besonders in der Jahreszeit der erhöhten Sturmrisiken einen besseren bzw. teilweisen Abfluss der Luftströmungen ins Innere des Bestandes. Noch besser ist die Vorlagerung von offenen Baumstrukturen, welche eine Wirbelbildung vor dem geschlossenen Wald schaffen und somit das Windfeld günstig beeinflussen. Stufige Waldränder, wie sie heute aus der Sicht des Naturschutzes verlangt werden, können die Schutzwirkung positiv beeinflussen, wenn sie nicht zu dicht gestaltet sind, da sie sonst zu einer Düsenwirkung führen, welche die Windgeschwindigkeit vergrössert und die Wirbelbildung hinausverschiebt.

### 4.3 DIE PFLEGEEFFEKTE

Die Mittel, um die Entwicklung der Wälder zu beeinflussen und zu lenken sind eher von biologischer als von technischer Natur. Man arbeitet mit pflanzlichem, lebendem und v.a. langlebigem Material, das in grundsätzlich natürlichen Rahmenbedingungen wächst, welches nur relativ schwierig zu beeinflussen ist.

Es lassen sich vier wichtige biologischen Pflegeeffekte hervorheben, nebst weiteren waldbaulichen Massnahmen mehr technischer Art. Die waldbaulichen Pflegeeffekte sind:

- die **Erziehung**
- die **Auslese**
- die Förderung der **Stabilität**
- die **Wuchsförderung oder Produktionsregelung**

Daneben sind weitere technische Massnahmen zu erwähnen wie:

- Schutzmassnahmen (direkt und prophylaktisch)
- Organisatorische Massnahmen (Schaffung von Pflege- bzw. Rückegassen)
- beiläufige Massnahmen wie Steilrandkorrektur

## Definition der Waldpflege

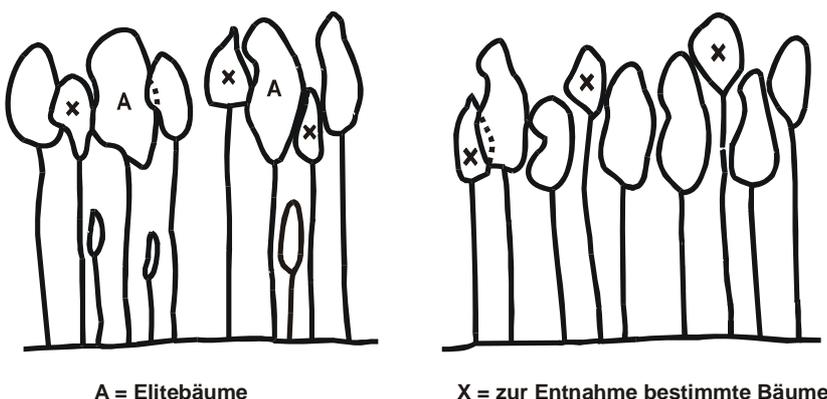
Unter Waldpflege versteht man die Gesamtheit der waldbaulichen Eingriffe und Massnahmen während der Lebensphase eines Waldes zwischen der Bestandesbegründung und den ersten Verjüngungseingriffen. Es geht bei den Pflegemassnahmen darum, die Entwicklung der Bestände so zu lenken, dass die gesteckten Ziele auf rationelle Art und Weise, d.h. mit möglichst geringem Aufwand erreicht werden. Alle operativen Eingriffsarten der Waldpflege müssen in ganzheitlichem Zusammenhang gesehen werden. Für die Festlegung ihrer Wirksamkeit sind dabei einerseits die waldbaulichen Zielsetzungen und andererseits die Auswirkungen der verschiedenen Eingriffe in ihrem effektiven Ausmass auf der ganzen Produktionsdauer, die man auch **Umtriebszeit** nennt, zu berücksichtigen.

### 4.3.1 Die Erziehung

Unter Erziehung versteht man, die begünstigenden Einflüsse von der Umgebung zu benutzen bzw. zu fördern, damit die guten Veranlagungen der Individuen sich entfalten können bzw. die schlechten Eigenschaften in Grenzen gehalten werden.

Ein isoliert stehender Baum entwickelt in der Regel ein grobes Astwerk und hat oft die Tendenz, sich allzu breitzumachen. Die Belassung der Bäume in einem mehr oder weniger dichten Kollektiv erlaubt die Bildung einer sog. Waldform, welche eine effiziente Raumausnutzung durch Bildung einer nicht allzu ausladenden Krone (sog. Apfelbaumtyp) erlaubt. Dies führt auch zur Bildung von relativ feinen Ästen, welche unter günstigen Umständen eine weitgehende, spätere, natürliche Astreinigung erlauben. Die erzieherischen Massnahmen spielen v.a. in derjenigen Phase eine sehr wichtige Rolle, in welcher der Hauptteil der Stammachse der Bäume gebildet wird. Dies ist in der Dickungsstufe der Fall.

Man muss zwischen einer **kollektiven** und einer **individuellen Erziehung** unterscheiden (siehe Abb. 4.17): Die **kollektive** Erziehung beruht auf dem Prinzip der Erreichung von günstiger Wirkung durch die Gestaltung der Bestockung als Kollektiv. Im Falle der **individuellen Erziehung** beziehen sich die Massnahmen auf ausgewählte Bäume, z.B. die Zukunftsträger.



**Abb. 4.17:** Die zwei Formen der Erziehung: die individuelle und die kollektive.

Individuelle Erziehung  
Gezielte Förderung der Umgebung  
um ausgewählte Bäume  
(Ausleseebäume Oder Z-Bäume)

Kollektive Erziehung  
Regelmässige Gestaltung der ganzen  
Bestockung

Dies ist bei gezielter Begünstigung gewünschter Eigenschaften der Ausleseebäume der Fall, z.B. bei der künstlichen **Wertastung** oder der Förderung eines Nebenbestandes. Obwohl letzterer

grundsätzlich flächig erfolgt, dient er auch dazu, die Stämme der Ausleseebäume einzupacken und zu schützen. Die individuelle Erziehung ist also eng mit einer positiven Auslese verbunden.

In der Regel erfolgt die Erziehung durch die Regelung des Wettbewerbes. In der Phase der Schaffung der für die Wertschöpfung wichtigen untersten 10 m Schaftteiles (also bis Ende der Dichtung) strebt man eher eine genügend hohe Bestockungsdichte an. Man kann von einer **Kompressionsphase** sprechen. Bei gemischter Bestockung ist es wichtig, darauf zu achten, dass wettbewerbsschwächere Baumarten entsprechend gefördert werden.

Unter technischen Erziehungsmassnahmen sind Schaftkorrekturen in der Frühjugend vorzustellen (sog. Kronenschnitt) und die bezüglich Wertschöpfung bei den totasterhaltenden Baumarten (im wesentlichen den Koniferen) weitaus wirksamste Massnahme der künstlichen **Wertastung**. Diese Massnahme wird weiter unten detailliert dargestellt.

### **Kronenschnitt**

Unter Kronenschnitt (oder Formschnitt) versteht man den direkten Eingriff, um die Form von sehr jungen Bäumen (d.h. in direkt erreichbarer Höhe) zu verbessern im Sinne der Bildung einer durchgehenden Achse (Hubert und Courraud, 1987). Dies geschieht durch die Entfernung von Zwieseln, durch die Korrektur von Fehlern an der Baumspitze (besonders am Endtrieb) oder durch die Entfernung von grossen, zu dominanten Seitenästen, deren Durchmesser 2,5 cm übersteigt. Der Kronenschnitt ist verwandt mit Techniken der Baumgärtnerei. Im Waldbau wird er hauptsächlich in der frühen Dichtungsstufe, mit der Absicht, die Entwicklung einer durchgehenden Achse zu begünstigen, durchgeführt. Da solche Eingriffe hauptsächlich aus der Entfernung von dominanten Zwieseln bestehen, spricht man in diesem Zusammenhang oft auch von **Entzwieselung**.

Über die Zweckmässigkeit solcher Eingriffe gehen die Meinungen auseinander. Bei Baumarten, bei welcher die Zwieselstendenzen erblich bedingt sind (Buche, Eiche, Linde z.B.) resultiert aus dem Kronenschnitt die virtuelle Verbesserung der Form, aber nicht des Genotyps. In diesem Sinne ist ein solcher Eingriff grundsätzlich abzulehnen (Schädelin, 1934), ausser für ganz spezielle Fälle, wo extrem wenige brauchbare Kandidaten vorhanden sind. Die Entzwieselung (bzw. Entgabelung), bei welcher der kürzere Ast unmittelbar am Stamm entfernt wird, kann vor allem bei Esche, Linde und Ulme, die zum Teil äusserst ausgiebig verzweigen, als allenfalls gerechtfertigte Massnahme bezeichnet werden.

Im Falle von Pflanzungen mit weiten Pflanzabständen wird der Kronenschnitt angebracht, insbesondere bei Baumarten, welche dazu tendieren dicke, kräftige Äste zu bilden, namentlich beim Kirschbaum im Sinne einer vorgezogenen Wertastung. Diese Eingriffsart darf aber nicht mit einer Vorastung um die Bewegungsfreiheit in einer Dichtung zu gewährleisten, verwechselt werden, wie sie vor allem in Nadelholzdichtungen ausgeführt wird. Bei einer solchen Vorastung werden die Bäume nicht gezielt individuell, sondern eher systematisch oder gar schematisch (z.B. alle Bäume oder je 2 Pflanzreihen) bis auf eine Höhe von 2 bis 2,5 m aufgestastet. Für eine Auswahl der Elitebäume ist es zu diesem Zeitpunkt i.d.R. noch zu früh. Aus heutiger Sicht der hohen Arbeitskosten ist eine solche Massnahme ohnehin nicht mehr zu rechtfertigen.

Der Kronenschnitt kommt systematisch zur Anwendung in einer speziellen Form individueller Wertholzerziehung in Hecken, entlang von Flurwegen oder Gewässern, wie sie in gewissen Regionen Frankreichs (z.B. Picardie) zur Anwendung kommt, insbesondere als winterliche Beschäftigung in landwirtschaftlichen Betrieben unter der Bezeichnung des **baumweisen Waldbaus** (sylviculture d'arbres). Es geht dabei darum, mit intensiver Pflege praktisch einzeln stehende Werthölzer (Nussbaum, Kirschbaum, Esche, Roteiche u.a.m.) auf einer minimalsten vom Boden erreichbaren Stammhöhe von 3 bis maximal 4 m regelrecht mit der Schere

(allenfalls gestielte Flachscheren) auszuschaffen und nachher praktisch allein wachsen zu lassen.

Der Kronenschnitt erfolgt im allgemeinen mit gestielten oder ungestielten Baumscheren mit einer flachen Schneide. Die Abtrennung der Äste bzw. der Kronenteile soll direkt am Astansatz, d.h. unmittelbar am Stamm erfolgen. Um eine rasche und günstige Überwallung zu ermöglichen, muss darauf geachtet werden, dass die Rinde vorsichtig angeschnitten wird. Bei den Laubbäumen wird der Eingriff vorzugsweise zwischen Ende Juli und Anfang August ausgeführt, da zu diesem Zeitpunkt das Risiko der nachträglichen Bildung von Wasserreisern am wenigsten hoch ist (Wignall et al. 1987). Er kann aber auch zu anderen Jahreszeiten erfolgen. Zeitpunkte, in denen die proleptischen Triebe gebildet werden, die Periode, in der der Saft aufsteigt sowie Frostperioden sind dabei aber zu meiden. Gipfeltriebe, die zufällig bzw. aufgrund exogener Einflüsse beschädigt wurden, sind bis auf die Höhe eines Ersatzastes oder oberhalb einer kräftigen, gut entwickelten Achselknospe (Seitenknospe) zurückzuschneiden. Dicke und schwere Seitenäste sind in zwei Schnitten zu entfernen: Um ein Aufreißen der Rinde am Stamm zu vermeiden, wird der Ast zuerst in einem Abstand von 30 - 40 cm vom Stamm abgetrennt. Anschliessend wird der noch verbleibende Aststummel an seinem Ansatz sauber abgeschnitten.

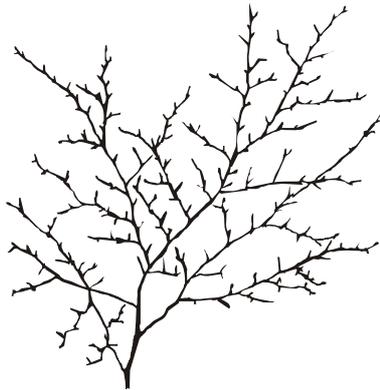
Beim Schneiden von Bäumen besteht auch eine gewisse Infektionsgefahr. Diese bezieht sich namentlich auf Krankheiten wie den Bakterien-Krebs der Pappel (*Xanthomonas populi* Ridé & Ridé), den Eschenkrebs (*Pseudomonas syringae* subsp. *savastanoi* pv. *fraxini* Janse), den Buchenkrebs (*Nectria ditissima* Tul.) oder auch die Phomopsis-Krankheit der Douglasie (*Phomopsis pseudotsugae* Wilson). Es ist deshalb empfehlenswert, die Werkzeuge regelmässig zu desinfizieren, was z.B. mit Alkohol erfolgen kann. Bei gravierendem Befall ist das befallene Astmaterial zu verbrennen.

Ein ähnlicher Eingriff, der jedoch nicht einen erzieherischen, sondern einen phytosanitären Charakter aufweist, ist die Entfernung von Ästen, welche erste Anzeichen eines Krebsbefalles aufweisen (z.B. in Form von kugelförmigen Anschwellungen). Dies ist besonders beim Lärchenkrebs (*Lachnellula willkommii* Dennis) und beim Hexenbesen bzw. Astkrebs des Tannenkrebses (*Melampsorella caryophyllacearum* Schroeter) von praktischer Bedeutung.

### **Erziehung durch Schatten**

Neben Erziehung durch Einpacken durch Nachbarn im Bestand, bzw. direkten Korrekturen, besteht die Möglichkeit, die Beschattung als erzieherischen Faktor zu berücksichtigen. Diese Form der Erziehung kommt im Plenterwald weitestgehend zur Anwendung. Bei Lichtbaumarten und Baumarten mit sympodischen Tendenzen (Buche) wirkt die Beschattung in der Regel ungünstig, zuerst durch starke Reduzierung des Wuchses, aber auch durch Förderung von Kurztrieben, was, wenn die Beschattung lang dauert, zum Verlust des aufrechten Wuchses oder zum Schrägwuchs (sog. Plagiotropie, siehe Abb. 4.18) führt. Eine mässige Beschattung von empfindlichen Baumarten (z.B. Buche) führt in der Phase, in der die Schaftformbildung von Bedeutung ist (Jungwuchs-Dickung), zur Ausprägung einer guten Schaftachse und feinem Geäst und ist somit trotz Reduzierung des Höhenwuchses, zumindest in dieser Phase, zu empfehlen. So zeigen Morel und Planchais (2000), dass die weitständige Pflanzung von Buchen in Bestandesgassen (relativer Lichtgenuss von 50 bis 60 %) einen guten Kompromiss zwischen Form und Wachstum aufweist.

Bei Koniferen reduziert der Schatten wohl die Höhenwuchsleistung, aber keineswegs die Fähigkeit, aufrecht zu wachsen. Schattenertragende Jungkoniferen (Fichte, Tanne) können während erheblich langer Dauer die Beschattung ertragen (Schütz, 1969). Gleichzeitig bewirkt die Beschattung eine deutliche Reduzierung des Dickenwachstums der Äste. Das ist der Grund, warum Plenterjungbäume, auch wenn sie vereinzelt vorkommen, dünne Äste entwickeln.



**Abb. 4.18:** Plagiotroper Wuchs mit Verlust des aufrechten Wuchses bei zu stark und zu lang beschatteten Buchen.

(nach Kurth, 1946)

Dieses Prinzip der Zurückhaltung der Astentwicklung kann auch für eine Halblichtbaumart wie die Föhre, die auf guten Standorten gerne grobastig wird, angewendet werden (Schöpf, 1954). Die Waldföhre erweist sich hinsichtlich der Beschattung in der Jugend noch als ziemlich tolerant. Die Erziehung der Föhre am Halbschatten wird sowohl in der Schweiz (Vögeli, 1961) wie auch im Ausland (Beninde, 1943) schon seit langem mit Erfolg praktiziert. Sie verlangt aber ziemlich viel waldbauliches Fingerspitzengefühl und Geduld. Die Überschirmung der Folgegeneration kann 20 bis 30 oder sogar noch mehr Jahre andauern. Um dabei aber dem Anstieg der Lichtbedürfnisse mit zunehmendem Alter der Föhren Rechnung zu tragen, muss die Dichte der Überschirmung nach und nach reduziert werden.

Die Schwierigkeit bei der Schattenerziehung besteht darin, dass durch die Beschattung wohl feine Äste gebildet werden, aber leider auch überschlänke Stammformen. Die Schattenerziehung führt zu einer Erhöhung der Empfindlichkeit gegenüber Schneeschäden. Dies ist insbesondere bei der vollständigen Entfernung des Altbestandes problematisch. Immerhin hat sich die Schattenerziehung für eine zur Grobastigkeit neigenden Baumart wie der Föhre und trotz der damit verbundenen Schwierigkeit als erfolgreichere Methode zur Eindämmung des Astbildung als diejenige der Förderung überdichter Bestockungen bewährt. Wie die Untersuchungen von Abetz (1970) und später auch von Ganther (1983) in sehr dichten Föhrendickungen gezeigt haben, besteht ab einer gewissen Dichte von ungefähr 15'000 Pflanzen pro Hektare kein Zusammenhang mehr zwischen der Anzahl Bäume und dem Durchmesser ihrer Äste. Hingegen muss man bei so hohen Bestockungsdichten mit entsprechenden Stabilitätsproblemen rechnen, weil die zu stark bedrängten Individuen zu sehr hohen Schlankheitsgrad tendieren, gekrümmte Stammformen bilden, wie wenn sie nicht einmal mehr in der Lage wären, ihr eigenes Gewicht zu ertragen.

### 4.3.2 Die Auslese

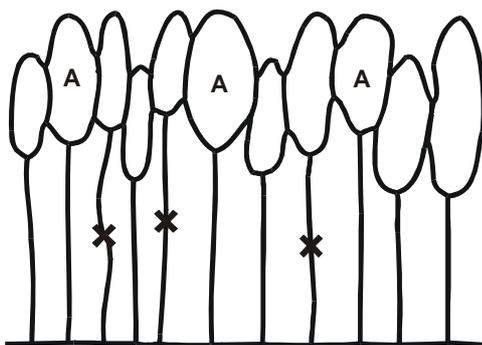
Die Konzentration der Produktion auf die bestveranlagten Individuen eines Kollektivs stellt eine der bedeutendsten wertschöpfende Möglichkeit dar. Man konzentriert sich dabei auf diejenigen Bäume mit den besten Stammqualität, ein gutes Wachstum und eine hohe Vitalität. Damit weist die eigentliche **Auslese** eine der am stärksten begünstigende Wirkung aller Pflegemassnahmen auf.

Das Prinzip der Auslese leitet sich von der grossen genetisch bedingten individuellen Vielfältigkeit der Formen und des Wuchses innerhalb einer Nachkommenschaft. Diese Vielfalt verleiht den natürlichen Beständen einen grossen ökologischen Vorteil, nämlich eine gute

Anpassungsfähigkeit gegenüber verschiedenen Störungen und Risiken, welche einen Bestand während seiner ganzen Lebensdauer heimsuchen können. Waldbauliche Auslese ist grundsätzlich eine **phänotypische Auslese**, d.h. nach dem Erscheinungsbild, welches das Ergebnis der Veranlagung und seine Expressivität im Kontext der wirkenden Umgebungsfaktoren ist.

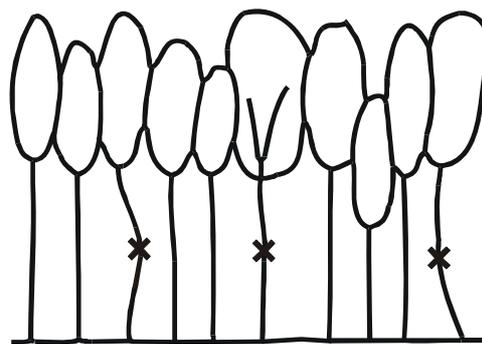
Der Waldbauer benutzt nun die natürliche Formmannigfaltigkeit gezielt zur Erreichung der Ziele einer bestmöglichen Wertschöpfung. Dies ist bezüglich der Erhaltung des genetischen Pools unproblematisch, sofern die Wahlkriterien auf genügenden adaptiven Genen basieren. Die früher kontroversierte Frage, ob die Pflegeeingriffe die genetische Struktur einengen, ist mittlerweile geklärt, zumindest für den Charakter Wachstumsfreudigkeit, deren Förderung wie Lauber et al. (1997) bzw. Geburek et al. (1993) gezeigt haben, zu keiner genetischen Verarmung führt, weil Wuchskraft mit Heterozygotenanteil korreliert ist, so dass die zu fördernden Anwarter auch diejenigen mit der günstigen Rekombinationschancen der Gene sind. In der Natur übrigens sind es auch diese Heterozygoten, in der Regel die kräftigsten Bäume, welche sich durchsetzen. Dabei gibt es offensichtlich gewisse Ausnahmen (Weisstanne, nach Hussendörfer, 2001). Ob es auch für die Stammqualität gilt, ist noch nicht genügend geklärt. Hinweise deuten darauf hin, dass Phänomene wie rhythmisches Wachstum auch mit Überhang an Heterozygoten verbunden ist (Hussendörfer et al., 1996).

Grundsätzlich kann die Auslese nach negativen oder positiven Gesichtspunkten erfolgen. Die **negative Auslese** erfolgt, indem man hauptsächlich die schlechtveranlagten Individuen eliminiert. Bei einer **positiven Auslese** hingegen begünstigt und fördert man gezielt die bestveranlagten und bestausgebildeten Individuen eines Kollektivs (siehe dazu Abb. 4.19). Die positive Auslese ist auch wirksamer als die negative Auslese. Sie erlaubt eine bessere Konzentration der Pflege und dies ist bezüglich der Kosten günstig. In den noch sehr jungen Beständen jedoch, wenn die Qualitätseigenschaften im allgemeinen noch nicht genügend stark ausgeprägt sind, während hingegen die Mängel und die fehlerhaften Eigenschaften noch immer leichter zu erkennen sind, weist die negative Auslese Vorteile auf.



A = Elitebäume

Positive Auslese  
Förderung von ausgewählten Bäumen  
durch Entnahme ihrer direkten  
Konkurrenten



X = Elimination

Negative Auslese  
Eliminierung der Schlechtgeformten

**Abb. 4.19:** Die zwei Grundformen der Auslese: die positive und die negative Auslese.

Die Auslesekriterien richten sich nach den Produktionszielen. Es kann grundsätzlich sowohl Stammqualitätseigenschaften wie **Wuchsleistung**, **Stabilität** oder **Gesundheit** sein. Weil die Natur selbst nach Wuchseigenschaften differenziert, ist die mit waldbaulichen Massnahmen zu verbindende Auslese meistens für die Erreichung einer hohen Wertschöpfung angebracht, allenfalls für die Förderung von Stabilitätseigenschaften.

Der Zeitpunkt der Auslese richtet sich nach der Einschätzung der natürlichen unplanbaren Störungsrisiken (sog. **stochastische Faktoren**, wie Frost, Bruch usw.) sowie der Ausprägung der auszuwählenden Eigenschaften. Das Ziel besteht darin, eine gute Wertschöpfung in der Schaffung eines qualitativ wertvollen unteren Schafts von ca. 10 m zu erreichen. Eine der Kernfrage dabei ist, wie früh die Auslese erfolgen soll. Sind die unvorhersehbaren **Risiken hoch** (z.B. infolge traumatischer Verzwieselung), soll eher zugewartet werden, bis die untersten 10 m gebildet sind. So erfolgt die Auslese im Normalfall erst richtig in der **Stangenhholzphase**, wenn eine genügend interessante Schaftlänge ausgebildet ist.

Sind die **Risiken klein** für Baumarten, deren Eigenschaften weniger abhängig von den Umweltereignissen sind (d.h. auch mehr aus der Veranlagung hervorkommen) und die Ausprägung von Qualitätsunterschiede gross, soll eher **früh ausgelesen** werden, so dass die guten Anwärter mehr Durchsetzungschancen erhalten im Konkurrenzkampf. Dies ist der Fall für Baumarten mit grossen genetisch veranlagten Qualitätsunterschieden sowie früh erkennbaren Eigenschaften (wie z.B. bei Buche, Eiche, Linde). Dann kann die Auslese früher, nämlich in der **Dickungsphase**, erfolgen.

Weil die Akquisition der Formeigenschaften und die Reaktion der Bestockungen auf den Kollektivwettbewerb unterschiedlich sind, unterscheidet man bezüglich Zeitpunkt und Schwerpunkte der Auslese die folgenden drei grossen Kategorien von Baumarten:

- Die **Nadelbäume**, bei welchen Probleme der Stabilität und Astreinigung im Vordergrund stehen
- Die **Laubbaumarten mit obligatorischer monopodischer** Schaftachsenbildung, die aber eine Neigung zu traumatischer Verzwieselung vorweisen, also etwa Esche/Ahorn, die sonst eine gute Selbstdifferenzierung haben. Bei dieser Gruppe steht die Bildung eines genügend langen Schaftes von etwa 10 m (evt. mehr) im Vordergrund
- Die Baumarten mit **sympodischen Tendenzen**, also Buche/Eiche/Linde, bei welchen die frühzeitige Auslese nach dem Phänotyp der Wipfelschäftigkeit entscheidend ist.

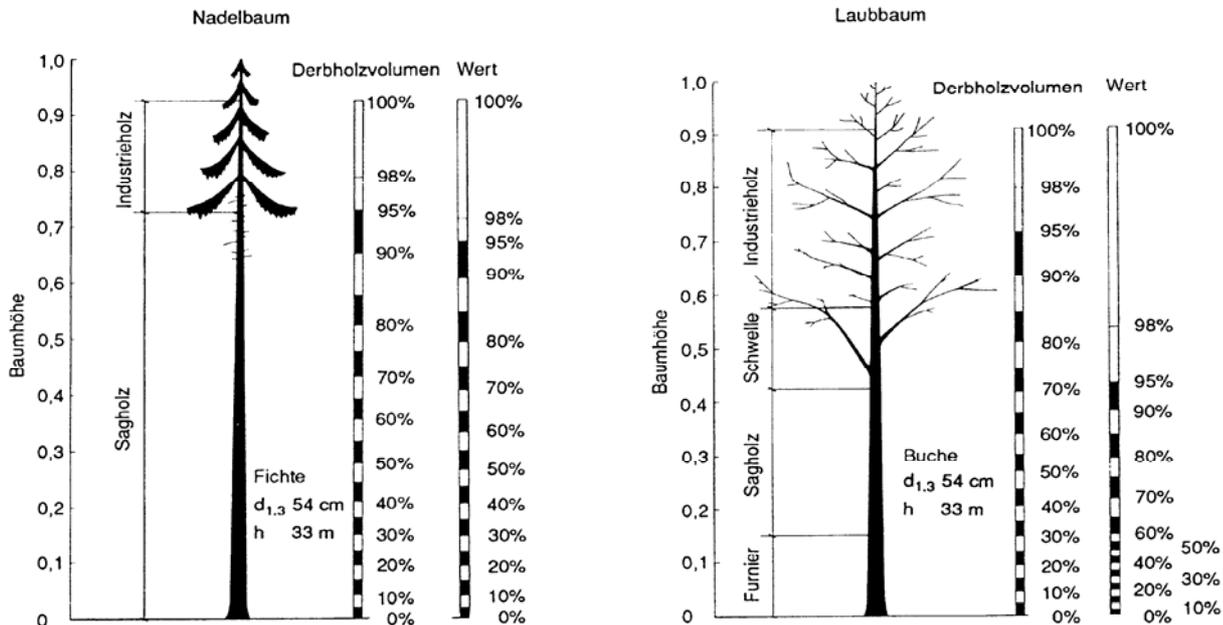
### Die Qualitätskriterien

Bei Hiebsreife liegt der grösste Anteil des Holzwertes im unteren Stammteil. Dies gilt in ausgesprochener Weise für Laubhölzer. Wie Abb. 4.20 zeigt, sind die Wertrelationen zwischen Stammholz (als Rundholz oder Nutzholz verwertbare untere Stammteil) und Wert bei Koniferen und Laubholz ähnlich. Circa 90 % des Wertes wird vom unteren Stammteil produziert. Für den unternehmerischen Erfolg interessiert uns heute nur dieser Teil, da die Industriesortimente kaum kostendeckend gewonnen werden können.

Der Unterschied zwischen Nadelhölzern und Laubhölzern liegt im restlichen schlecht verwertbaren Anteil an Koppelprodukten (Industrie- oder Energieholz). Dieser Teil macht massenmässig etwa 15 bis 20 %, bei Koniferen 30 bis unter Umständen 50 % der anfallenden Masse bei Laubhölzern aus.

Für Bäume, die nur mittlere oder gar schlechte Qualität erreichen, lohnen sich teurere wertschöpfende Waldbaumassnahmen nicht, wenn einmal die Phase der Auslesemöglichkeiten verpasst wurde. Darum ist es einerseits relevant zu wissen, welche die gewünschten Qualitäts-

eigenschaften sind und andererseits, welche von der waldbaulichen Behandlung beeinflusst werden können.



**Abb. 4.20:** Verteilung von Volumen und Wert in einem hiebsreifen Nadel- bzw. Laubbaum. (nach Bachmann, 1990)

Grundsätzlich unterscheiden wir bezüglich Qualitätskriterien zwischen:

- phänischen Eigenschaften (also äusserlich sichtbaren). Es geht hier primär um die Schaffung des untersten Schaftteils sowie um die Astreinigung,
- innere Eigenschaften (Holzbeschaffung),
- unerträgliche Fehler, die sobald erkennbar als negative Auslese Kriterien gelten können.

Gewiss ist es zum heutigen Zeitpunkt nicht möglich zu versichern, dass die heute geltenden Qualitätskriterien der Holzsortimente bis zum Zeitpunkt ihrer Ernte und ihres Verkaufs in 80 bis 100 Jahren noch die gleichen sein werden. Es gibt aber trotzdem allgemeingültige Holzeigenschaften, welche generell für Qualitätsholz einigermaßen auch langfristig gültig bleiben. Das gilt zum Beispiel für die Regelmässigkeit des Holzkörperbaus (Jahrringe, zentrischer Wuchs, gerade Faser, Astfreiheit usw.) oder für die Erreichung von genügenden Dimensionen. Wobei dieser letzte Punkt beginnt für Koniferen umstritten zu werden.

Für die Auslese kann man sich grundsätzlich in erster Linie auf solche allgemein gültigen Eigenschaften stützen. Daneben gibt es aber auch Qualitätskriterien, die sich je nach dem Stand des technologischen Fortschritts und je nach den wechselnden Modeströmungen und Bedürfnissen der Konsumenten verändern.

Die allgemein anzustrebenden Stammqualitätseigenschaften für das Kollektiv der Wertträger sind die folgenden:

- Ein unterstes Stammstück mit einer Länge von mindestens 10 m (allenfalls mehr)
- BHD von mindestens 60 cm (bei Nadelhölzern mässiger Qualität in Zukunft evtl. weniger)

- gerade und lotrechte Schaftachse
- ein runder Stammquerschnitt
- ab Entwicklungsstufe des schwachen Stangenholzes astfrei
- weder bedeutende Fehler, Krankheiten oder irgendwelche Verletzungen

### **Bedeutung der Astigkeit**

**Astfreies Holz** – ist das überhaupt erste anzustrebende Qualitätskriterium. Weil die Baumartengruppen bezüglich natürlicher Astreinigung auch unterschiedliche Reaktionsmuster aufweisen, muss man auch die Werteigenschaften unterschiedlich gewichten. Die Erreichung des Zieles, einen grossen Anteil an astfreiem Holz zu produzieren, ist in sehr hohem Mass von der Lebensdauer der Äste abhängig und von der Zeit, um die Astabbruchstellen zu überwallen. Nach Schulz (1961) sollte für eine Produktion von Holz mit Spitzenqualität ein einwandfreies unterstes Stammstück angestrebt werden, das mindestens 50 % astfreies Holz enthält. Um dieses Ziel zu erreichen, darf der zentrale astige Kern des Stammes einen Drittel des gesamten Durchmessers nicht übersteigen. Das bedeutet, dass bei den Auslesebäumen die Äste zumindest bis auf eine Höhe von vier Metern verschwunden sein bzw. entfernt werden müssen, was bei Nadelbäumen bei einem Brusthöhendurchmesser (BHD) von 12 cm, bei Laubbäumen bei einem BHD von 15 cm der Fall zu sein bzw. zu geschehen hat.

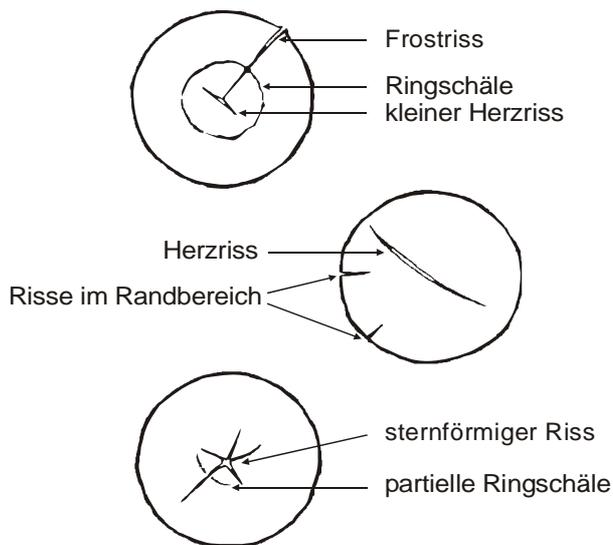
Die Beobachtungen von Schulz (1959) über die Lebensdauer von Ästen und die Überwachungsdauer von Astabbruchstellen bei der Buche, der Eiche, der Waldföhre und der Fichte zeigen, dass bei Buche und Eiche, aufgrund einer Lebensdauer und einer anschliessenden Überwachungsdauer der Äste von je etwa 10 Jahren, das oben formulierte Postulat bezüglich der Qualität auf natürliche Weise erfüllbar ist. Bei der Föhre dagegen, welche die Äste etwa 15 - 25 Jahre lang behält und zusätzlich noch etwa 30 - 40 Jahre für deren Überwachung benötigt, ist dieses Kriterium nicht mehr erfüllbar. In diesem Fall kann nur durch eine künstliche Asteliminierung das Ziel erreicht werden. Bei der Fichte, welche die abgestorbenen Äste noch länger als die Föhre behält, erlaubt die natürliche Astreinigung niemals den gewünschten Anteil an astfreiem Holz zu produzieren. Somit steht fest dass bei Totasterhalter die Wertastung die wichtigste Wertschöpfungsmassnahme überhaupt darstellt.

### **Andere Fehler: Drehwuchs und Holzrisse**

Die Drehwüchsigkeit stellt einen schwerwiegenden Holzfehler dar, den es frühzeitig zu erkennen gilt. Dabei ist das grösste Problem, dass der Drehsinn der Holzfasern im Laufe des Lebens eines Baumes wechseln kann. Eine Drehwüchsigkeit, die auf die Jugendphase eines Baumes beschränkt ist, betrifft nur den zentralen Teil des Stammes und ist nicht als so schwerwiegend zu betrachten. Im Vergleich dazu ist eine Drehwüchsigkeit, die sich über das ganze Leben eines Baumes hinzieht, insbesondere wenn sie immer denselben Drehsinn aufweist, als schwerwiegenderen Fehler einzustufen.

Die Vorstellung, dass sich die Drehwüchsigkeit von aussen, z.B. anhand des Rindenbildes, gut erkennen lässt, trügt. Die Rinde ist ein Abbild des Jugendkambiums. Inzwischen hat sich der Drehsinn korrigieren können, ohne dass man es von aussen merkt. Eine Drehwüchsigkeit ist dann als schwerwiegend zu betrachten, wenn auch der Faserverlauf der äusseren Holzpartien gedreht ist. Sofern man nicht bereit ist, einen Baum absichtlich zu verletzen, lässt sich diese Erscheinung erst an geschlagenem Holz wirklich überprüfen.

Nach Schulz (1959) kann ein Drehwuchs von 10 - 15 cm/m' für eine Klassierung als normale Qualität zulässig sein und ein Drehwuchs von 6 - 8 cm/m' für eine Klassierung als fehlerfreie Qualität taxiert werden. Drehwuchs hat ebenfalls Auswirkungen auf verschiedene Arten von Holzrissen (siehe Abb. 4.21) Unterschiedliche Risse haben auch nicht die gleiche Bedeutung

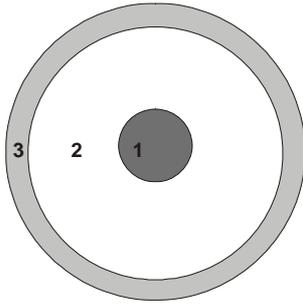


**Abb. 4.21:** Verschiedene Holzrisse.

So sind z.B. kleine Herzrisse und kleine Risse an der Peripherie durchaus noch als tolerierbare Holzfehler zu bezeichnen. Frostrisse treten besonders bei der Tanne, der Eiche, der Ulme, der Edelkastanie, dem Nussbaum, und etwas weniger auch beim Kirschbaum, der Esche und sogar auch der Buche auf. Frostrisse können, sogar wenn sie relativ stark geöffnet sind, wie übrigens auch die Trockenrisse bei der Fichte, noch für eine Klassierung als normale Qualität toleriert werden, wenn die Spaltfläche des Risses vollkommen gerade bzw. eben ist. Wenn sich die Spaltfläche des Risses aber auch nur leicht dreht, so stellt dieser einen schwerwiegenden Holzfehler dar. Sternförmige Risse und Ringschalen sind, selbst wenn sie sich nur in der Kernzone befinden, als ins Gewicht fallende Holzfehler zu betrachten. Mit Ausnahme einer richtigen Baumartenwahl hat man kaum Möglichkeiten, diese Erscheinung wirksam zu beeinflussen.

### Krankheiten

Im Vergleich zur Astigkeit sind die Folgeschäden von Krankheiten und Verletzungen von sekundärer Bedeutung. Es ist jedoch offensichtlich, dass für Qualitätsholz ein gerades, zentriert gewachsenes und nicht zu abholziges unteres Schaftstück auf einer Länge von mindestens 10 m vorhanden sein muss. Während das Kriterium der Abholzigkeit nicht so bedeutend ist, sind Kriterien wie Reaktionsholz (oder Druckholz, sog. Buchsholz), Verletzungen oder schwerwiegende Krankheiten wie Fäulen, Schleimfluss oder Krebsen erschwerend. Noch entscheidender als die eigentliche Art eines Holzfehlers ist seine Lage im Stamm bzw. im Holzkörper. Wie man auf einem Stammquerschnitt sehen kann (siehe Abb. 4.22), unterscheidet man diesbezüglich drei Zonen unterschiedlicher Bedeutung. Die in der Kernzone vorkommenden Holzfehler (wie etwa Mondringe oder Verletzungen) haben keine allzu schwerwiegenden Konsequenzen, sofern sie nicht allzu breit ist. Dies gilt ebenfalls für die Randzone (3), da dieser Teil des Stammes bei der Verarbeitung v.a. Abfälle wie etwa Schwarten liefert. Dies ist der Grund, warum das Auftreten von Klebästen, (etwa bei Eiche, Ulme, Linde und Tanne) nicht als katastrophal zu betrachten ist, sofern es nicht um alte Klebäste geht.



**Abb. 4.22:** Zonen unterschiedlicher Bedeutung der Holzfehler:

In Zone 1 auftretende Fehler haben volumenmässig keine Bedeutung.

In Zone 2 sind die Konsequenzen schwerwiegend.

In Zone 3, welches meistens Abfallholz gibt, sind die Konsequenzen geringer.

### **Gewichtung der Qualitätsmerkmale für die Baumartengruppen**

Es ist also möglich, die Hauptqualitätsmerkmale nach den drei Holzartengruppen, die wir bei der Diskussion der Akquisition der Schafteigenschaften gebildet haben, zu gewichten.

#### **Koniferen:**

Die Astigkeit steht im Vordergrund. Dieser Faktor kann nur effizient durch eine rechtzeitige künstliche Wertastung gesteuert werden. Andere Eigenschaften sind Vermeidung von Fäulen. Sie sind schwierig vorzusehen und stehen in Zusammenhang mit Nutzungsfolgen (siehe dazu die Diskussion im Abschnitt 6.4). Drehwüchsigkeit ist teilweise früherkennbar und gilt als wichtiges Merkmal einer negativen Auslese.

#### **Esche und andere monopodisch aufgebaute Baumarten mit traumatischen Verzweiselungsrisiken:**

Im wesentlichen geht es um Vermeidung von tiefem Zwiesel (tiefer als 10 m) und Vermeidung von altersbedingter Farbkernbildung durch intensive Kronenbefreiung ab Stangenholzstufe.

#### **Sympodisch neigende Baumarten (Buche, Eiche):**

Die Schaffung eines unverzweiselten Schaftes von zirka 10 m steht in Vordergrund. Die Hauptmassnahme ist also eine frühzeitige Auslese nach diesem Kriterium. Weitere Eigenschaften in Zusammenhang mit Jahrringbildung und Produktionszeit wurden am Fallbeispiel der Buche in Absatz 4.2.1 dargestellt.

### **Das Problem der Reserven**

Auch wenn im Sinne der Risikoabwägung die definitive Auslese erst dann sinnvollerweise erfolgt, wenn eine genügend hohe Stammachse gebildet ist (10 m), besteht auch später die Gefahr von stockastischen (unfreiwilligen) Ausfällen. Dieses Dilemma kann in der Praxis dadurch gelöst werden, indem man nicht nur die Wertträger des Endkollektivs auswählt, sondern eine gewisse Anzahl zusätzlicher Anwärtler (sog. Reservisten). Heute strebt man aus Gründen der Kostenwirksamkeit eher das Prinzip des Ersatzes an, d.h. erst, wenn Bäume nicht mehr taugen, sie als Ausleseebäume an Ort zu ersetzen. Früher galt das Prinzip der Ausscheidung eines Mehrfachen an Ausleseebäumen als schlussendlich nötig. Wir werden diese Frage im wesentlichen im Abschnitt 5.4.1-2 in Zusammenhang mit der Frage der Raumausnutzungsgeometrie angehen.

### 4.3.3 Die Stabilisierung

Das Problem der Stabilität geht im Prinzip mit dem der Auslese einher. Sie wird normalerweise durch Regelung der Bestockungsdichte kontrolliert. Die Stabilität ist somit normalerweise in Verbindung mit Massnahmen der Auslese oder der Wachsförderung zu konzipieren bzw. gleichzeitig umzusetzen, wobei in der Regel der Stabilitätsgedanke dem der Auslese unterstellt ist, weil sich die Frage einer allfälligen Destabilisierung erst stellt, wenn eingegriffen wird. Die Wirkung der Pflegeeingriffe auf die Stabilität wird im Abschnitt 5.3 . besonders behandelt.

Ist die Stabilität allein im Spiel bei Vorrang der Schutzfunktion oder steht man vor einem Problem der kritischen Stabilität bei verpassten rechtzeitigen Waldbaueingriffen, wird etwas differenziert vorgegangen. Es ist also prinzipiell zwischen der normalen (optimalen) Berücksichtigung der Stabilität in Zusammenhang mit Wertschöpfungsmassnahmen und dem Verhalten vor vernachlässigte Beständen bzw. verpassten rechtzeitigen Waldbaueingriffe zu unterscheiden.

### 4.3.4 Die Wachsförderung

Die Wirkung der Auslese hat nur insoweit einen Sinn, wie erstens die Konzentration der Produktion auf eine beschränkte Anzahl Bäume mit bemerkenswerten Eigenschaften erfolgt und zweitens die Auslese von Massnahmen begleitet wird, die optimale Entwicklung der positiven Eigenschaften der Ausleseebäume anstrebt, z.B. gute und regelmässige Bekronung und genügende Stabilität.

Ist die eigentliche Auslese einmal getroffen und sichergestellt, geht es darum, die positive Entwicklung der Ausleseebäume bis zur Vollendung ihrer Produktion weiterzulenken. Dies geschieht im wesentlichen durch Massnahmen zur Kronenförderung. Die Wachsförderung kann mit der positiven Auslese beginnen, unter Umständen kann sie zeitlich verschoben eintreten. Das ist neuerdings in Zeiten der hohen Aufwendungen für Jungwaldpflege immer mehr eine zu berücksichtigende Möglichkeit. Ist die Auslese einmal abgeschlossen wenn die Ausleseebäume in endgültiger Anzahl stehen, so wird die Wachsförderung zur alleinigen Kriterium für die Ausrichtung der Eingriffe.

## 4.4 MASSNAHMEN DER PFLEEGEEINGRIFFE

Einer der wichtigsten Massnahme bei der Realisierung der Pflegeeffekte ist die periodisch wiederkehrende Entnahme von Bäumen. Wir bezeichnen sie als **Stammzahlreduktion**, wenn sie während der Entwicklungsstufen des Jungwuchses und der Dickung erfolgen. Ab dem Stangenholz spricht man von **Durchforstungen**. Die grosse Kunst der Waldpflege, besteht nun darin, im geeignetsten Moment und mit der richtigen Stärke einzugreifen, d.h. zu jenem Zeitpunkt, wenn der Bestand am besten reagieren kann, sowie neuerdings auch in Rücksicht auf ein optimales Verhältnis der Kosten-Gesamtwirkung.

Geht man in einer **situativen** und differenzierten Betrachtung der Bäume im Bestand nach, ergibt sich eine heutigen etwas abgeänderten Ausrichtung der Durchforstungseingriffe als früher. Die grosse Neuorientierung in der Durchforstung ist, dass die Massnahmen nicht mehr wie früher als flächendeckende Eingriffe ausgerichtet werden, sondern als gezielt um bestimmte Baumgruppen (Gerüst- oder Ausleseebäume). Wir sprechen hier von situativen Eingriffen. Damit wird der Ausdruck situativ in zweifacher Hinsicht gemeint, bezüglich der Zielvorgabe (Z-Bäume oder nicht) einerseits sowie bezüglich der Tatsache dass die Befreiung je nach soziale Position und Bekronungsgrad anders ausfallen.

Was die Eingriffsstärke und auch Wiederkehr betrifft, muss die richtige Dosierung gefunden werden, um zur Erreichung der gewünschten Effekte d.h. der Anzahl zu eliminierenden Bäume und gleichzeitig eine günstig wirkende Umgebung zu schaffen.

### **Alternativmöglichkeit zur Baumentnahmen: Devitalisierung**

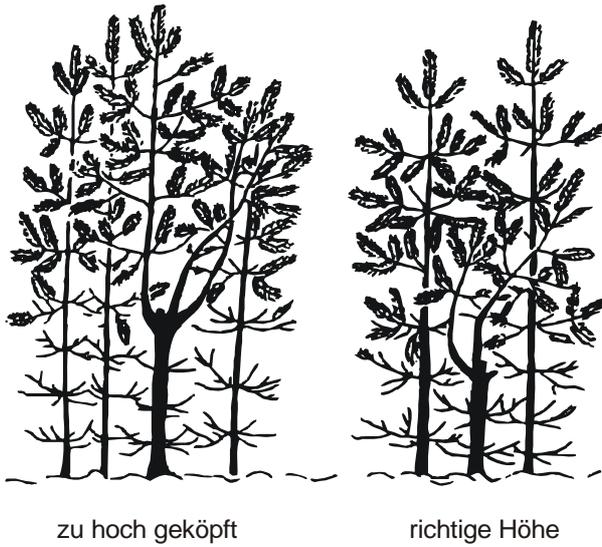
Es lassen sich auch heute Pflegekonzepte überlegen, bei welchen die Befreiung der ausgewählten Wertholzträger ohne physische Eliminierung ihrer Konkurrenten erfolgt, etwa durch Nutzung der Differenzierungskraft von geeigneten Baumartenmischungen mit kooperativ wirkenden Baumarten (z.B. Birke, Aspe, Vogelbeere), oder auch durch Reduzierung der Vitalität der Nachbarn z.B. durch **Ringelung**, und dies ohne Anwendung chemischer Mittel (Arboricide). Früher wurden insbesondere bei Pflege von sehr jungen Bestockungen (Jungwüchse und Dickungen) solche chemische Devitalisierung verschiedentlich erprobt. Weil aus gesamtökologischer Sicht das übergeordnete Ziel darin besteht, dem Waldökosystem eine **Senke für chemische Einwirkung** zu erhalten, sind heute nur noch Methoden angebracht, welche ohne Phytozide zum Ziel führen.

Unter **Ringeln** versteht man verschiedene, mechanische, den ganzen Stammumfang umfassende Eingriffe zur mehr oder weniger starken Behinderung oder gar gänzlichen Unterbrechung des Saftstromes. Eine der bekanntesten Methoden ist die vollständige Entfernung der Rinde (des Bastes) und des Kambiums und dadurch die Freilegung des Splintholzes auf einem Ring von mehreren Zentimetern Breite. Die Devitalisierung geht von der Überlegung aus, dass ein langsames Absterben der sich konkurrenzierenden Bäume dem verbleibenden Bestand erlaubt, sich zu erholen bzw. genügend schnell auf den Eingriff zu reagieren, ohne unter einer eigentlichen Destabilisierung leiden zu müssen.

Entsprechende Versuche für durchforstungslose Förderung des Jungwaldes, insbesondere mit Ringelungen, und zwar ohne Verwendung von chemischen Arboriziden, oder auch Strangulierungen, wurden seit einigen Jahren im Lehr- und Forschungswald der ETH am Uetliberg unternommen. Sie zeigen bezüglich der Wirksamkeit der Massnahme ermunternde Ergebnisse. Sie erlauben nämlich eine recht frühzeitige, kostengünstige Förderung der Werträger zu verwirklichen, und dies praktisch in einem einzigen und d.h. auch recht kräftigen Eingriff. Dies ist auch ohne nachteilige Wirkung bezüglich Bestandesstabilität oder Folgeschäden (Klebäste, Sonnenbrand) möglich, weil die behandelten Konkurrenten langsam absterben. Auch wenn sie stehend dürr verbleiben, üben sie einen gewissen Seitenschutz aus, zumindest gegen pralle Sonne. Das Ganze soll zu einem Zeitpunkt erfolgen, in dem stehend dürre Bäume von ihren Dimensionen her gesehen keine Gefahr für Spaziergänger darstellen. Ringelung können für Ersteingriffe in schwachen Stangenhölzer empfohlen werden.

### **Das Köpfen in dichten Jungbestockungen**

In Dickungen, welche lange Zeit sehr dicht geblieben sind, und besonders dort, wo die Entfernung von vorherrschenden Protzen zu einer Destabilisierung der Bestockung führen kann, ist es empfehlenswert, die ausscheidenden Stämme nicht gänzlich, d.h. bodeneben zu entfernen, sondern nur zu köpfen. Dabei soll so hoch geköpft werden, dass der verbleibende Stamm weiterhin noch eine Zeit lang als Stütze dienen kann. Gleichzeitig muss aber auch genügend tief geköpft werden, um zu verhindern, dass die abgeschnittenen Individuen, welche oft ein sehr kräftiges Wiederausschlagspotential besitzen, erneut in die obere Kronenschicht einwachsen (siehe Abb. 4.23). Das Köpfen bleibt aber eine Vorgehensweise, um verpasste oder zu schwache Eingriffe nachzuholen. Es handelt sich also eher um eine Notlösung, welche im Normalfall, d.h. wenn die vorhergehenden Pflegeeingriffe korrekt durchgeführt worden wären, eigentlich nicht notwendig sein sollte.



**Abb. 4.23:** Das Köpfen als Massnahme der Stammzahlentnahme in der Dickungsstufe in Rücksicht auf die Destabilisierungsgefahr.

Als weitere pflegerische Massnahmen kommen verschiedene andere flankierende und technische Massnahmen zur Anwendung. Es geht z.B. um Kronenschnitte, Wertastungen, direkte oder präventive Schutzmassnahmen, Steilrandkorrekturen usw.

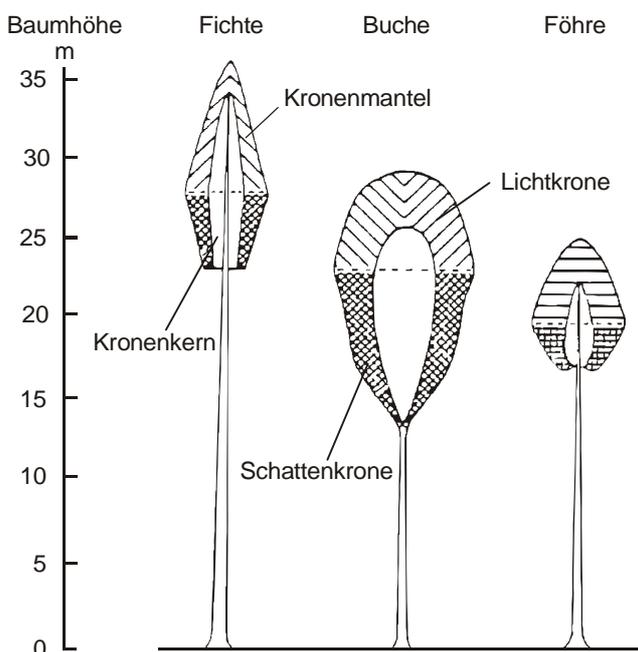
## 5. STEUERUNG DES WUCHSPROZESSES

Um den Wirkungsmechanismus der Durchforstung zu verstehen und um die verschiedenen Möglichkeiten der Durchforstung definieren zu können, muss man wissen, wie das System der photosynthetischen Produktion der Bäume funktioniert und wie es auf die Eingriffe reagiert. Ferner ist der Einfluss der Eingriffe auf die ökophysiologischen Faktoren im ganzen Bestand sowie auf die Stabilität auch wichtig.

### 5.1 PHOTOSYNTHESEAPPARAT

#### 5.1.1 Die allgemeine Form der Baumkronen und ihre Charakteristiken

Nach den grundlegenden Arbeiten von Burger (1939) und Badoux (1939, 1946) lassen sich die Baumkronen der Hauptbaumarten Fichte, Buche und Föhre in drei Zonen unterschiedlicher photosynthetischer Produktion unterscheiden (siehe Abb. 5.1). An erster Stelle steht die **Lichtkrone**. Es handelt sich dabei um den belaubten Teil der Krone oberhalb ihrer grössten Breite. In diesem Teil findet der wesentliche Anteil der photosynthetischen Assimilation statt. Darunter befindet sich die **Schattenkrone**. Dort wird das Licht zum limitierenden Faktor für die Photosynthese, indem der grösste Teil der brutto Assimilation durch die nächtliche Atmung verbraucht wird. Der Baum weist in dieser Zone eine Schattenbelaubung auf. Im Zentrum befindet sich der **Kronenkern**, welcher kaum belaubt ist und deshalb aus der Sicht der photosynthetischen Produktion nicht sehr aktiv ist. Je breiter dieser Kronenkernbereich ist, desto weniger effizient ist die Raumausnutzung des Baumes. Dies gilt insbesondere für das Fallbeispiel der Buche. Daraus ist ersichtlich, dass lange, spindelförmige Kronen den Kronenraum effizienter ausnützen als Bäume mit breiten ausladenden Kronenformen.



**Abb. 5.1:** Kronenformen bei Fichte, Buche und Föhre.

nach Burger (1939) ; Badoux (1939)

Zwischen den verschiedenen Baumarten (und insbesondere zwischen den Nadel- und Laubhölzern) stellt man bemerkenswerte Unterschiede der Kronenform fest.

Die Fichte wie die Tanne, oder auch die Douglasie, besitzen schlanke Kronen. Ihre Lichtkrone machen normalerweise zwei Drittel der Kronenlänge und 50 % des Volumens aus. Bei sozial niedrigen Individuen ist die Kronenform etwas plumper und die Lichtkrone macht nur einen Drittel der gesamten Kronenlänge und 30 % des gesamten Kronenvolumens aus. Der Kronenkern beträgt ungefähr 15 % des Kronenvolumens.

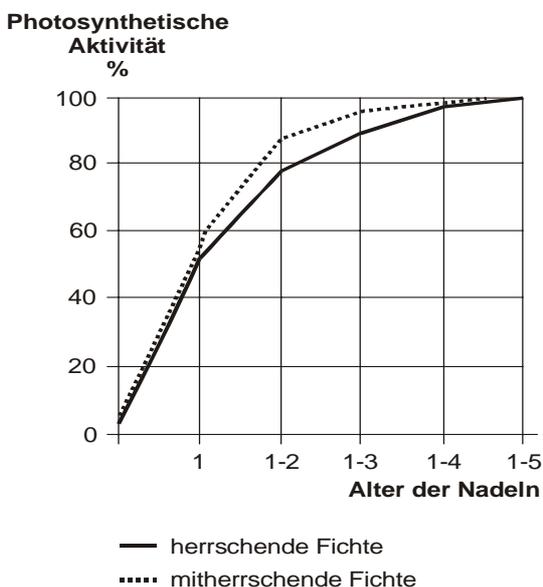
Im Gegensatz zu den erwähnten Nadelhölzern ist bei der Schattenbaumart Buche die Krone massiger, breiter und rundlicher. Das Verhältnis zwischen der Licht- und der Schattenkrone ist hier, im Vergleich zur Fichte, gerade umgekehrt; sie steht nämlich in der Größenordnung von 1/3 zu 2/3. Die Buchen brauchen also mehr Platz als die Fichten.

Die Kronenform ist ferner auch von der waldbaulichen Behandlung abhängig. So befindet sich die Stelle mit der grössten Kronenbreite in hochdurchforsteten Beständen tiefer als in Beständen, die niederdurchforstet wurden. Bei der Lichtbaumart Föhre, ist die gesamte Krone kleiner als bei den anderen erwähnten Baumarten. Die Durchforstungstätigkeit hat auch einen deutlichen Einfluss auf die Länge der Krone (siehe Abb. 5.23).

## 5.1.2 Produktivität der verschiedenen Bestandteile der Krone

### Die Bedeutung des Nadelalters

Schon die Arbeiten von Ladefoged (1946) haben gezeigt, dass, je nach dem Alter der Nadeln, beträchtliche Unterschiede in der photosynthetischen Brutto-Produktivität bestehen. Die Leistungsfähigkeit der Nadeln wird dabei mit zunehmendem Alter immer geringer. Bei der Fichte zum Beispiel fällt 50 bis 60 % der totalen Assimilation auf die jüngsten Nadeln, d.h. auf diejenigen des laufenden Jahres an (siehe Abb. 5.2). Nimmt man auch noch die Nadeln des letzten Jahres hinzu, so leisten diese letzten zwei Nadeljahrgänge zusammen 80 bis 85 % der gesamten Assimilation. Ähnliche Ergebnisse liefert Woodmann (1971) für die Douglasie: Sie zeigen, dass die einjährigen Nadeln nur noch 72 % der Leistung der neuesten Nadeln erbringen. Bei den zweijährigen Nadeln beträgt es noch 50 %, bei den dreijährigen noch 30 % und bei den vierjährigen gerade nur noch 15 %. Nach Künstle und Mitscherlich (1975) zeigt sich der Produktionsvorteil der neugebildeten Nadeln gegenüber den älteren Nadeln bereits ab dem Monat Juni.



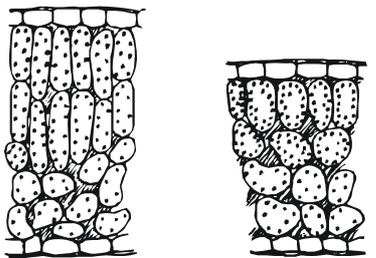
**Abb. 5.2:** Zusammenhang zwischen Nadelalter und photosynthetischer Leistung am Beispiel von zwei Fichten (Alter 21, Höhen 11 und 9 m) unterschiedlicher sozialen Stellung.

nach Ladefoged (1946)

Dies bedeutet, dass im wesentlichen die **Peripherie der Krone** eines Nadelbaumes wirklich **effizient assimilieren** kann und erlaubt die Schlussfolgerung, dass die Reaktion einer Krone auf einen Durchforstungseingriff umso stärker und damit besser sein wird, je grösser das aktuelle Höhenwachstum des Baumes ist. In der Tat erlaubt ein rasches Höhenwachstum dem Baum seine Blattoberfläche in der Lichtkrone, und damit in jenem Teil, der für die Photosynthese am günstigsten ist, rasch zu vergrössern.

### Die verschiedenen Arten von Nadeln und Blättern und deren Produktivität

Der morphologische Unterschied zwischen den Licht- und Schattenblättern liegt vor allem darin, dass die Lichtblätter auf ihrer Blattoberseite ein Palisadengewebe aufweisen, das sie vor oberflächlicher Austrocknung schützt (siehe Abb. 5.3). Es bestehen aber auch Unterschiede im morphologischen Aufbau der Chloroplasten (Lichtenthaler et al., 1981). Ein Lichtblatt ist also, im Verhältnis zu seiner Oberfläche, schwerer als ein Schattenblatt. Je nachdem, ob man das Assimilationspotential in Abhängigkeit der Blattmasse oder der Blattoberfläche bezieht, erhält man entgegengesetzte Ergebnisse. Nach Ducrey (1981) assimilieren auf die Volumeneinheit bezogen, die Licht- und die Schattenblätter ungefähr gleich viel.



Lichtblatt

Schattenblatt

**Abb. 5.3:** Morphologische Unterschiede zwischen Licht- und Schattenblättern.

nach Matile (1981)

Gemäss Künstle und Mitscherlich (1975) vermag bei konstantem Licht ein Schattenblatt, bei gleichem Blattgewicht, sogar etwas mehr zu assimilieren als ein Lichtblatt. Weil die Lichtbedingungen unterschiedlich sind, produziert aber die Schattenkrone unter natürlichen Bedingungen weniger als die Lichtkrone. Eine Ausnahme bildet hier lediglich die Belaubung der Buche zum Zeitpunkt des Austreibens (siehe Tab. 5.4).

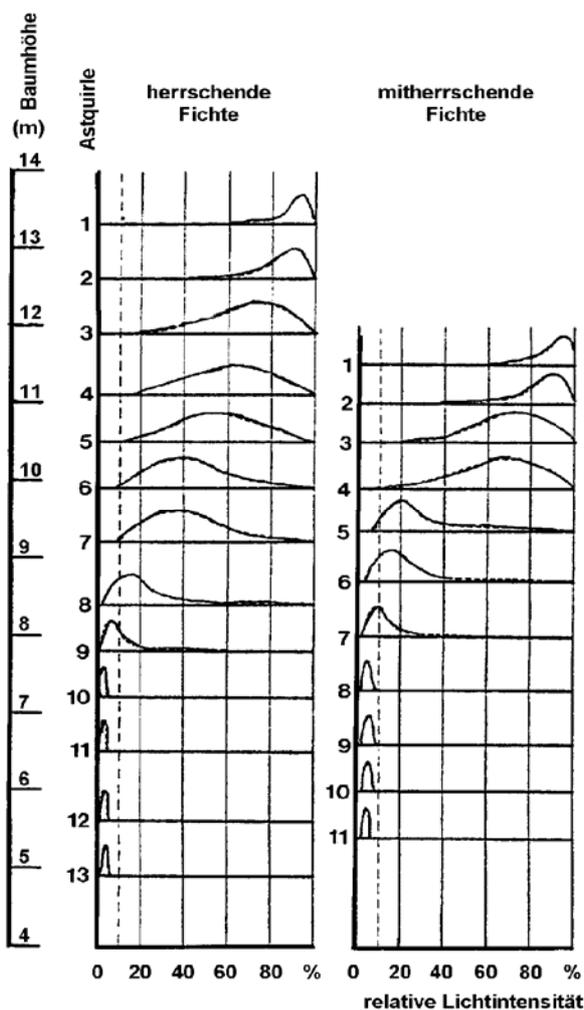
**Tabelle 5.4:** Photosynthetische Produktion der Schattenkrone im Verhältnis zur Lichtkrone (Beobachtungen zu verschiedenen Jahreszeiten)

Baumart	Anteile		Anteile		Anteile	
	Zeitpunkt	Zeitpunkt	Zeitpunkt	Zeitpunkt	Zeitpunkt	Zeitpunkt
Douglasie	21 %	Juli	15 %	Sept.	23 %	Okt.
Waldföhre	53 %	Juni	8 %	Aug.	9 %	Okt.
Buche	108 %	Mai	38 %	Juli	34 %	Sept.
Birke	29 %	Juni	14 %	Aug.		

nach Künstle und Mitscherlich (1975)

Gemäss diesen Ergebnissen macht die Schattenkrone bei der Douglasie während der ganzen Vegetationsperiode z.B. nur 20 % der Gesamtproduktion aus. Bei der Buche hingegen beträgt dieser Anteil 50 %, bei der Birke nur 15 % und bei der Föhre 23 % .

In Wirklichkeit ist es die Intensität des verfügbaren Lichtes, welche auf die Photosynthese den entscheidenden Einfluss ausübt. Die Helligkeit nimmt vom Wipfel des Baumes gegen die Basis der Krone hin rasch ab. Dies verdeutlichen die Messergebnisse von Ladefoged (1946) in der Abb. 5.5 dargestellt. So kann man (hier am Beispiel einer herrschenden Fichte) feststellen, dass ab dem viertobersten Astquirl eine deutliche Abnahme der Helligkeit stattfindet. Unterhalb des achten Astquirls des herrschenden (bzw. unterhalb des sechsten Quirls des mitherrschenden Baumes) nähern sich die Lichtbedingungen dem photosynthetischen Kompensationspunkt. Dieser Punkt liegt ungefähr bei einer relativen Helligkeit von 10 %. In Wirklichkeit gibt es schon bei relativer Helligkeit von ungefähr 15 % eine beträchtliche Abnahme der Assimilation.



**Abb. 5.5:** Veränderung der Belichtung in den Kronenkompartimenten einer herrschenden und einer mitherrschenden Fichte (Alter 25 J.).

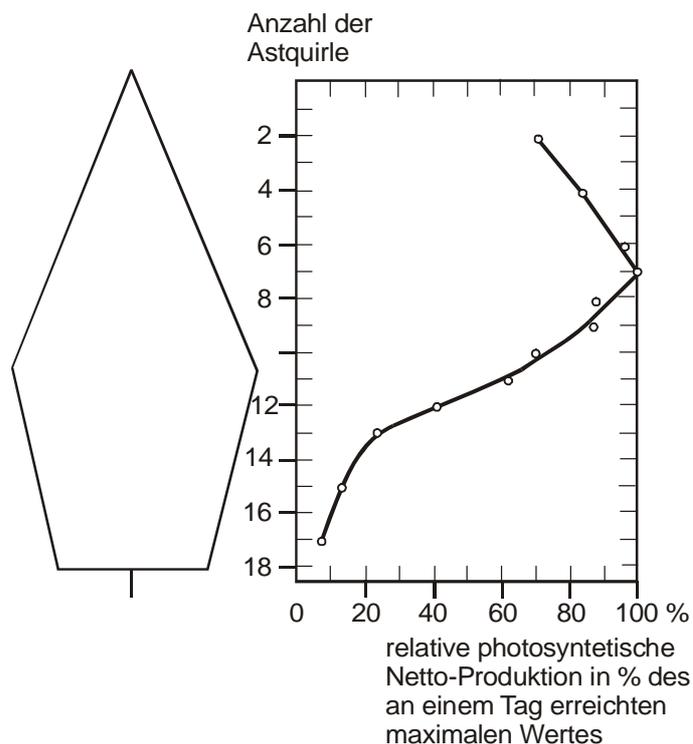
nach Ladefoged (1964)

### Die relative photosynthetische Produktivität in den verschiedenen Kronenbereichen

Um die effektive photosynthetische Leistung der Bäume zu erfassen, muss man neben den unterschiedlichen Lichtbedingungen auch die unterschiedliche Luftfeuchtigkeit in den verschiedenen jeweiligen Kronenbereichen berücksichtigen. Wie die in Abb. 5.6 gezeigten Ergebnissen von Woodmann (1971) für die Douglasie, ist die photosynthetische Leistung nicht im obersten Wipfelbereich der Baumkrone am grössten, obwohl die Lichtbedingungen dort optimal wären.

Der Grund liegt darin, dass in der Sonne voll ausgesetzte Partien die Spaltöffnungen sich schon gegen Ende des Vormittags wegen der ausgetrockneten Luft zu schliessen beginnen. Hingegen sind zum selben Zeitpunkt die Spaltöffnungen der nur wenig tiefer liegenden Äste noch vollständig geöffnet. Das Öffnungs- und Schliessverhalten der Spaltöffnungen erklärt ebenfalls, warum die photosynthetische Leistung an einem bedeckten Tag höher ist als an einem sonnigen.

Der Verlauf der relativen Produktivität in den verschiedenen Kronenbereichen zeigt, dass die Lichtkrone effizient leistet, und dabei besonders in ihrem mittleren Bereich. Unterhalb der grössten Kronenbreite nimmt sie aufgrund der sichtbar schlechter werdenden Lichtverhältnisse deutlich ab. Wobei die Abnahme im Übergangsbereich von der Licht- zur Schattenkrone besonders stark ist.

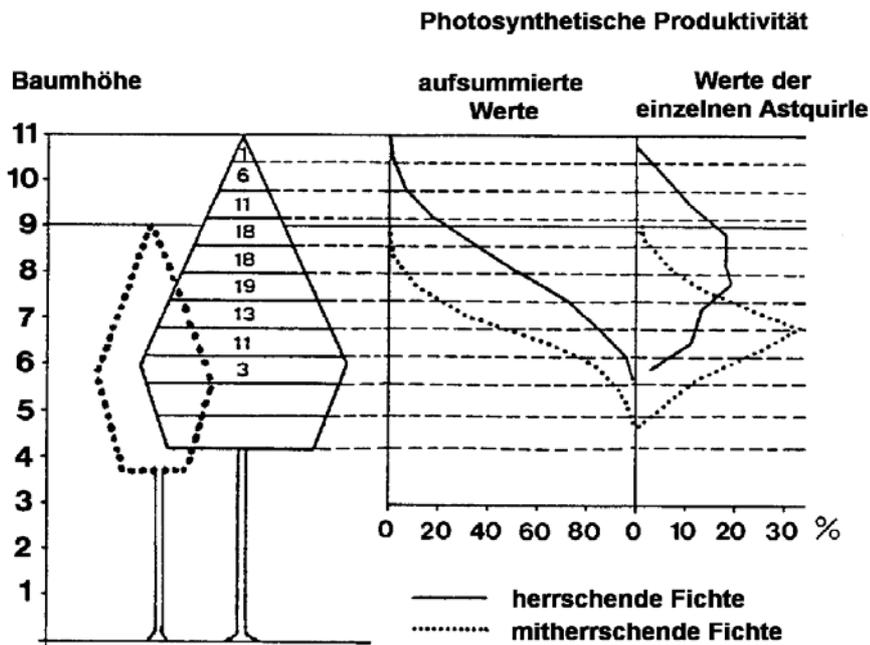


**Abb. 5.6:** Relative photosynthetische Leistung der Kronenkomponenten einer mitherrschenden Douglasie (Alter 28 J, Höhe 27 m). Das photosynthetische Potential ist in % der maximal leistenden Astquirl angegeben.

nach Woodmann (1971)

### Die effektive photosynthetische Leistung der verschiedenen Kronenbereiche

Weil die Masse bzw. die Oberfläche der Belaubung in den verschiedenen Kronenbereichen nicht gleich gross ist, sondern, zumindest innerhalb des Bereiches der Lichtkrone, vom Gipfel gegen die Basis hin zunimmt, unterscheidet sich die photosynthetische Leistung in absoluten Werten betrachtet von der relativen. Ladefoged (1946) hat die absolute photosynthetische Produktion von einzelnen Astquirlen auf grund Laborergebnisse gerechnet. Abb. 5.7 zeigt den Verlauf der effektiven Produktion bei einer herrschenden Fichte von 25 Jahren. Das Maximum befindet sich zwischen dem viert- und dem sechstobersten Astquirl, d.h. im mittleren Drittel der Lichtkrone. Bei der mitherrschenden Fichte liegen die günstigen Werte näher beieinander und sie nehmen gegen die Basis der Krone viel stärker ab. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Schulze (1970) und Ducrey (1981) für die Buche und Schulze et al. (1977) für die Fichte. Dies erlaubt, den hier dargestellten Ergebnissen in gewissem Masse eine allgemeine Gültigkeit zuzuerkennen.



**Abb. 5.7:** Verteilung der effektiven  $\text{CO}_2$ -Aufnahme in unterschiedlichen Teilen der Krone einer herrschenden und einer mitherrschenden Fi (Alter 25 J).

nach Ladefoged (1946)

## 5.2 DIE DURCHFÖRSTUNG

Mit dem Begriff Durchforstung verstehen wir waldbaulich angeordnete Baumentnahmen, um die Bestände in der gewünschten Richtung zu steuern. Die Bezeichnung Durchforstung gilt streng genommen für Eingriffe **ab der Stangenholzstufe**. Sie schließt die Eingriffe zur Walderneuerung aus, welche wir semantisch in die Gruppe der Verjüngungshiebe einordnen. Gegenüber den in früheren Stadien notwendigen Stammzahlreduktionen (z.B. bei Dickungspflege) liegt der Unterschied in der Bedeutung des entnommenen Materials und selbstverständlich in der Art der Nutzung.

Wie Delvaux (1981) sehr richtig formuliert, bringt die Auslese nur dann wirklich den erwünschten nützlichen Effekt, wenn dadurch gleichzeitig die Produktion begünstigt wird, indem der Zuwachs möglichst effizient auf die dafür ausgewählten Bäume übertragen wird. Durchforstungseingriffe führen zur Verlagerung des Holzzuwachses auf die übrigbleibenden wenigen Bäume. Ob dabei bezüglich Gesamtzuwachs die Kompensation vollständig ist, bleibt zu analysieren. Sie hängt von der Anzahl der eliminierten Bäume sowie von der Art und der Stärke des Eingriffes ab. In modernen Pflegekonzepten dienen allerdings Baumentnahmen nicht allein der Wachsförderung, sie streben darüber hinaus eine möglichst optimale Wirkung durch den Ausleseeffekt sowie günstige Einflüsse auf das Ökosystem an. Interessant ist, ob dadurch schlussendlich eine Steigerung der Wertleistung erfolgt.

Bei der Beurteilung der Auswirkungen von Durchforstungseingriffen geht es nicht nur darum, die unmittelbaren, kurzfristigen Effekte von verschiedenen Durchforstungsarten und Durchforstungsstärken miteinander zu vergleichen, sondern auch darum, die unterschiedliche Reaktion von Beständen von unterschiedlicher Entwicklungsstufe zu berücksichtigen. Um nun einen Bestand optimal behandeln zu können, müssen aber noch weitere wichtige Aspekte, wie etwa die standörtlichen Bedingungen (Ertragsniveau, Bonität), die bisherige bzw. frühere waldbauliche Behandlung und der Gesundheitszustand der Bestockung berücksichtigt werden.

### **Art, Grad und Stärke der Durchforstung**

Bevor auf die zahlreichen Formen der Durchforstung eingegangen wird, soll zuerst eine begriffliche Präzisierung festgehalten werden.

Die **Durchforstungsart** bezieht sich auf die Wirkungsweise des Eingriffes auf den Bestand, insbesondere in Bezug auf soziale Ebenen, in welche eingegriffen wird, bezüglich Bestockungsreaktion (d.h. Alter) und waldbauliche Effekte (z.B. Auslese). Abb. 5.9 zeigt die verschiedenen gängigen Arten der Durchforstungen.

Unter der **Durchforstungsstärke** eines Eingriffes versteht man hier das Volumen des geschlagenen Holzes in Prozent des Holzvorrates des Bestandes vor der Durchforstung. Diese Grösse gilt für einen bestimmten Eingriff. Man kann einen solchen Prozentsatz allerdings auch durch die entsprechenden Werte der Grundfläche angeben, was übrigens in der Anwendung wesentlich einfacher ist. Die Werte, die man durch die Verwendung dieser beiden Grössen (Volumen oder Grundfläche) erhält, sind einander sehr ähnlich. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn sich die Formzahl der geernteten Durchforstungsprodukte (auch ausscheidender Bestand genannt) nicht stark von der Formzahl der verbleibenden Bäume unterscheidet.

Bei sehr situativ orientierten Durchforstungseingriffen interessiert vielmehr die Wirkung des Eingriffes in Bezug auf die Wertträger (Z-Bäume) als auf den ganzen Bestand. So wird neuerdings die Stärke der Durchforstung mit dem Grad des Eingriffes um die Auslesebäume gemessen, in Anzahl Konkurrenten pro Auslesebaum (im Durchschnitt), allenfalls in Grundflächenprozenten pro Auslesebaum.

Unter dem **Durchforstungsgrad** wird hier eine Grösse der Eingriffstärke verstanden, welche sich nicht auf einen einzigen Eingriff bezieht, sondern auf eine ganze Abfolge von mehreren wiederholten Eingriffen derselben Art und Stärke. Man misst diese Grösse in der Regel anhand der **mittleren relativen Grundflächenhaltung**. Sie ermittelt sich aus dem Durchschnitt der Grundflächenwerte der einzelnen Perioden und zwar relativ zur Grundfläche einer Referenz-eingriffsart (in der Regel natürliche nicht behandelte Bestockungen oder schwach durchforstete). Eine mittlere relative Grundflächenhaltung von 0,80 bedeutet, dass die betrachtete Durchforstung einer über den ganzen Beobachtungszeitraum gemittelten Bestockungsdichte von 80% von natürlicher Bestockung entspricht.

Es ist nicht immer einfach, gutachtlich den Grad der Durchforstung zu definieren, weil es auch eine Reihe von Zwischenformen von Durchforstungen gibt. Für eine objektive Bestimmung der Durchforstungsart verwendet man im allgemeinen den **Koeffizient k nach Hiley** (1959) oder Decourt (1972). Nach Pardé (1978) wird dieser Koeffizient durch den Quotienten definiert, der aus dem Mitteldurchmesser der entnommenen Bäume und dem Mitteldurchmesser des verbleibenden Bestandes gebildet wird. Im Falle einer Hochdurchforstung liegt der Wert dieses Durchforstungskoeffizienten nahe bei 1, während Niederdurchforstungen durch einen k-Wert zwischen 0,7 und 0,8, oder gar noch weniger charakterisiert werden. Ähnlicher Koeffizient arbeitet mit den entsprechenden Grundflächen.

Unter **Turnus** (oder Wiederkehrperiode) wird hier die Zeitspanne verstanden, die zwischen zwei Eingriffen liegt, wobei durch die mehrmalige Wiederholung einer bestimmten Wiederkehrdauer die **Periodizität** der Eingriffe definiert wird.

Die **Durchforstungsintensität** ist eine Grösse, die sich sowohl durch die Stärke, wie auch durch den Turnus der Eingriffe ergibt. So erreicht man mit mässigen, dafür häufigen Eingriffen ebenso hohe Durchforstungsintensitäten, wie mit kräftigen, dafür zeitlich weit auseinander-

liegenden Eingriffen. Allerdings sind im ersten Fall die Risiken einer Bestandesdestabilisierung wesentlich geringer. Der ganze Erfolg eines Durchforstungsprogramms liegt nun in der Kunst, die Stärke und die Periodizität der Eingriffe auf vernünftige Weise aneinander anzupassen bzw. aufeinander abzustimmen.

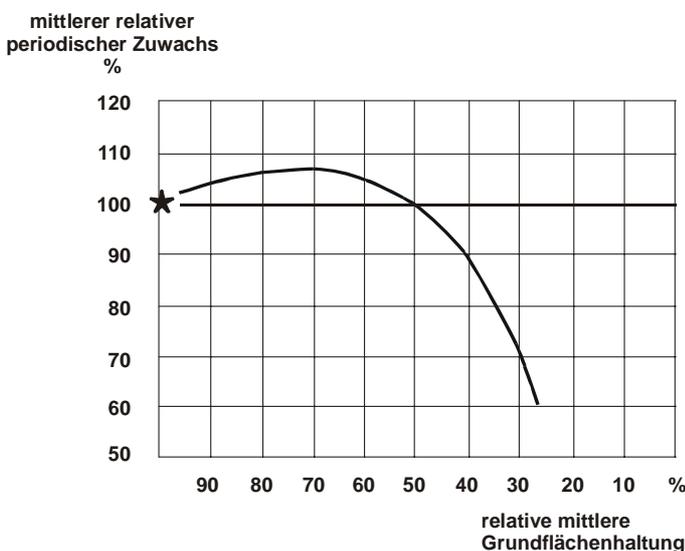
Aus biologischer Sicht und vor allem aus der Sicht des geringsten Risikos wäre es fast immer am idealsten, wenn man mit einer mässigen Durchforstungsstärke, dafür häufig eingreifen könnte oder mit einer um wenigen Gerüstbäume orientierten punktuellen Eingriffe. In Wirklichkeit ist man aber aus unternehmungstechnischen bzw. betriebswirtschaftlichen Gründen, wie z.B. der Arbeitsorganisation bzw. der hohen Eingriffskosten, dazu gezwungen, Kompromisslösungen zu finden.

Die Bezeichnung der Eingriffscharakteristiken (Art, Grad, Stärke) bezieht sich ursprünglich auf Durchschnittswerte für den ganzen Bestand. Dies kam aus dem historischen Hergang der Durchforstung, nämlich Eingriffe, welche die einigermaßen gleiche Gestaltung der ganzen Bestockung anstrebten. Weil wir heute eindeutig eine mehr situative Betrachtungsweise (auf Wertträgerbäume bezogen) und mit differenzierten Zielvorgaben vorgehen, ergeben sich auch für die Charakterisierung der Wirkungsweise einer Durchforstung andere Indikatoren. Wenn wir in jungen Bestockungen nur um wenige Wertträger eingreifen, auch mit kräftiger Befreiung (und zwischendurch praktisch nichts tun), ergibt sich auf den Bestand bezogen keine hohe Eingriffsstärke, obwohl die Wirkung um die Ausleseebäume einer starken punktuellen Freistellung entspricht.

Weil die Durchforstungsform (Art und Grad) mit der Bestandesentwicklung variieren kann (soll), ist es unter Umständen für die praktische Anwendung angebracht, eine Modulierung der Eingriffe vorzusehen. Ein entsprechendes **Durchforstungsprogramm** betrachtet letztendlich ein solch differenziertes Vorgehen der sich wiederholenden Eingriffe.

### 5.2.1 Geschichtliche Entwicklung der Durchforstung

Ursprünglich ist man (insbesondere im Deutschland im 19. Jahrhundert) davon ausgegangen, dass obgleich die Durchforstungseingriffe und unabhängig davon, ob diese nun stark oder schwach ausfallen, die Volumenleistung auf den gesamten Produktionszeitraum bezogen (sog. Gesamtwuchsleistung) in etwa gleich bleiben würde. Dieser nur in bestimmtem Rahmen und grober Annäherung geltende Grundsatz ist als **Gesetz von Eichhorn** (1904) bekannt geworden.



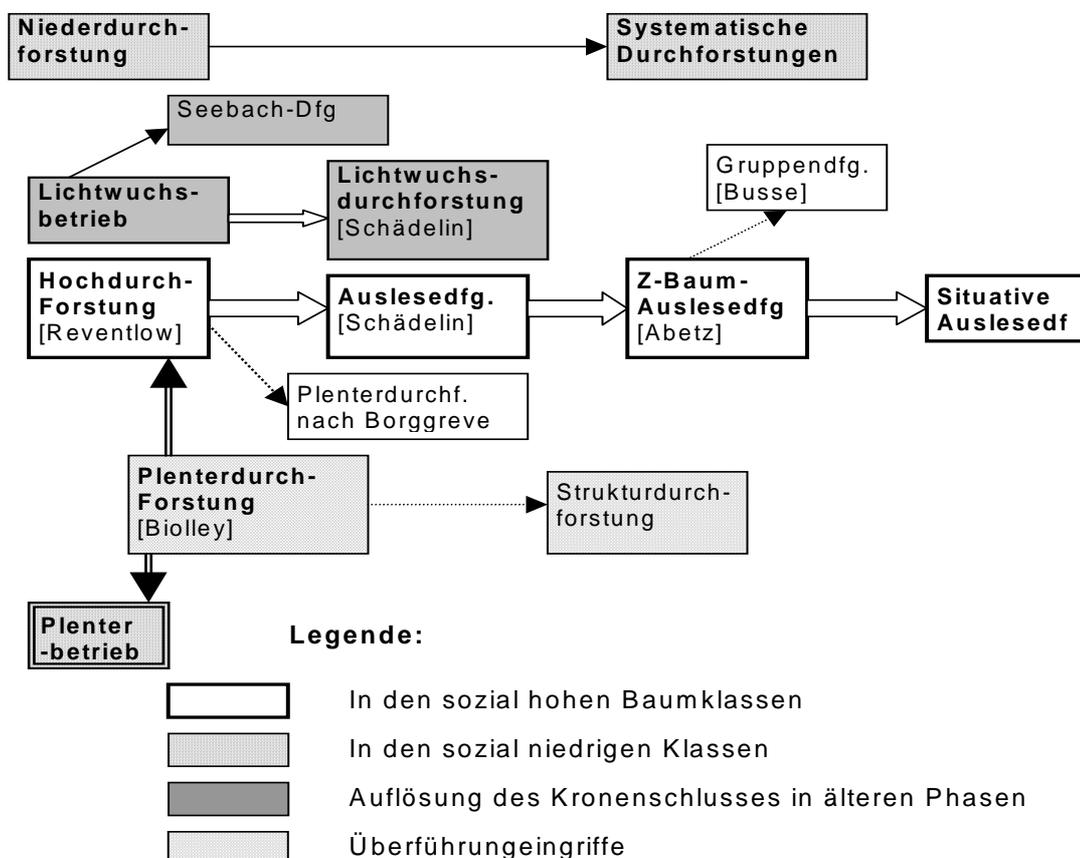
**Abb 5.8:** Zusammenhang zwischen periodischem Holzzuwachs und der Bestockungsdichte.

Sowohl Produktion wie Bestandesdichte sind hier relativ betrachtet und zwar gegenüber natürlichen (d.h. nicht durchforsteten) Bestockungen. Die Bestockungsdichte ist mit der sog. relativen mittleren Grundflächenhaltung dargestellt. D.h. als Mittelwert während der (möglichst langen) Beobachtungszeit der Grundflächenverhältnisse in Prozent.

★ längerfristig nicht durchforstete Bestände

Er wurde ursprünglich von Tannenbestockungen unter sehr schwacher Durchforstungsstärke hergeleitet. Mitscherlich (1953), am Beispiel der Eiche, und Assmann (1954), später Schober (1979) am Beispiel der Fichte, hatten als erste aufgezeigt, dass diese Behauptung nicht ganz stimmt, und dass doch zumindest bezüglich der Volumenleistung mit zunehmender Eingriffsstärke es zuerst eine leichte Steigerung der Produktion (um 5 bis 15%) beim Produktivitätsoptimum und dann eine rapide Reduktion gibt (siehe Abb 5.8) .

Die Durchforstungsfrage hat den Waldbau zutiefst geprägt. Um die Bedeutung der vielfältigen Varianten und Formen von Durchforstungen zu verstehen, muss man das Ganze in einem historischen Kontext analysieren. Abb. 5.9 versucht eine chronologisch verständliche Systematik der Entwicklungen dieser pflegerischen Waldbau eingriffe darzulegen.



**Abb. 5.9:** Geschichtlicher Hergang und Systematik der Entwicklung der Durchforstungsfrage.

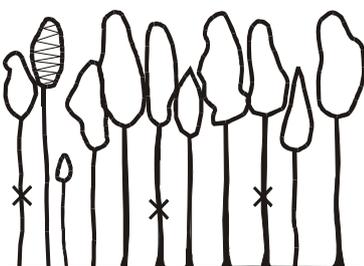
Aus historischer Sicht muss man die Entwicklung der Durchforstung im Lichte der folgenden Tendenz der Polarisation zwischen Nieder- und Hochdurchforstung (oder auch dänische und deutsche Durchforstung) interpretieren. Einerseits war die Vorstellung in Deutschland nach dem Eichhorn'schen Gesetz, dass die Maximierung der Gesamtwuchsleistung sich mit maximaler Bestockungsdichte ergibt. Das wurde im wesentlichen für Koniferenwälder Nordeuropas abgeleitet. So hat sich Ende des 18. Jahrhunderts in Deutschland die Durchforstung als sehr schwacher Eingriff entwickelt. Die Entnahme der sozial abgestiegenen Bäume verstand sich bestenfalls als ihre vorzeitige Nutzung bevor sie abgestorben wären. Aus diesem

Gedanken her ist die sog. **Niederdurchforstung** entstanden. Sie beabsichtigt, eigentlich nicht auf den Produktionsprozess Einfluss zu nehmen, sondern sie stellt nur die sinnvolle Gewinnung bzw. Verwendung der sozial absteigende Bäume bevor sie absterben dar.

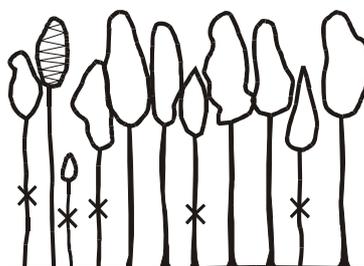
Parallel dazu und eher für Laubholzbestockungen (etwa Buche) galt in Deutschland die Vorstellung, dass die Produktion in erwachsenen Bestockungen durch starke sog. **Lichtwuchseingriffe** gefördert werden kann. Daraus entsteht der sog. **Lichtwuchsbetrieb**, charakterisiert durch kräftige Durchforstungseingriffe. Der Lichtwuchs unterscheidet sich vom sog. **Lichtungsbetrieb** dadurch, dass letztere Eingriffe im wesentlichen die Bestandeseerneuerung anstreben unter langen Überlappung der Generationen, und zwar durch sukzessive, meistens schirmartige Verjüngungshieben erzielt. Der Lichtwuchs hingegen soll nur das Durchmesserwachstum der Altgeneration anregen, was zu einem sog. **Lichtungszuwachseffekt** führt durch Sortimentssprünge. Dies hat zu verschiedenen Durchforstungsvorschlägen geführt, wie der **Seebacher** Lichtungsbetrieb, **Borggreve**, sog. Plenterdurchforstung (die weniger mit der Plenterung zu tun hat als mit Zielstärkenutzung durch systematische Nutzung der Herrschenden).

Die sog. **Hochdurchforstung** entwickelte sich zuerst in Dänemark für Buchen- und Eichenbestände unter Einfluss von Graf Chr. von Reventlow (1801, 1812, 1879) nach genauen Analysen der Wirkung von aktiver Durchforstung auf die Jahrringstruktur, die Umtriebszeit und den finanziellen Ertrag. Sie wurde dann von den Franzosen übernommen, im Wesentlichen für die Behandlung von Eichen- und Buchenjungwäldern. Bagnéris und Broillard (1870) beschreiben diese grundlegend andere Durchforstungsart folgendermassen: "Il est essentiel à tous les âges de dégager la cime du chêne, sans cependant isoler son pied. On ne peut arriver à ce résultat qu'à la condition de faire tomber les hêtres qui dominant ou menacent de dominer les chênes et de conserver au contraire de préférence ceux qui sont dominés".

Eine solche aktive Durchforstungskonzeption wurde nach Ansicht von Perrin (1923, 1954) für Frankreich zuerst von Boppe formuliert. Broillard, (1901) hebt mit Recht hervor, dass diese grundlegend andere Durchforstungskonzeption (siehe Abb. 5.10) versucht, auf die Produktion bzw. Mischung aktiv Einfluss zu nehmen. Sie leitet sich von den unterschiedlichen Eigenschaften der Kronen zwischen Nadelbäumen und Laubbäumen und ihrer Reaktion auf Befreiungseingriffe logisch ab. Er formuliert dies folgendermassen: [Chez les feuillus ]"il est plus facile de desserrer sans interrompre le massif que d'éclaircir des conifères sans les isoler; les cimes de ces derniers restant pyramidale, étroites et aigues ne s'élargissent que lentement et ne s'étalent jamais". Die Hochdurchforstung wurde um 1890 von Schwappach in Deutschland eingeführt, der sie in Frankreich kennen gelernt hatte (Wenk et al., 1990). Sie hat sich aber erst nach den 1970er Jahren durchgesetzt, unter Einfluss von Abetz (1975, 1976).



Hochdurchforstung



Niederdurchforstung

**Abb. 5.10:** Die zwei historischen Urformen der Durchforstungseingriffe: Die Hoch- und Niederdurchforstung.

Die **Niederdurchforstung** entnimmt, je nach Eingriffsgrad, eine verschiedene Anzahl von Bäumen, wobei bei den sozial schwächsten Elementen einer Bestockung begonnen wird. So werden bei der Niederdurchforstung also zuerst die unterdrückten und beherrschten Individuen

entfernt. Ursprünglich war die Niederdurchforstung durch schwache Eingriffe gekennzeichnet. Später, als man doch den günstigen Einfluss der Kronenbefreiung auf den Durchmesserzuwachs erkannte, insbesondere bei Laubbaumarten, wurden unterschiedliche Grade der Niederdurchforstung entwickelt (siehe Tabelle 5.11).

**Tabelle 5.11:** Die unterschiedlichen Durchforstungsarten gemäss internationaler Normen (IUFRO) für Durchforstungsversuche

Typ	Definition der Durchforstungsart
A	überhaupt keine Durchforstungseingriffe
B	mässige Niederdurchforstung
C	starke Niederdurchforstung
D	schwache Hochdurchforstung
E	starke Hochdurchforstung
L	Lichtung

nach Wenk et al. (1990)

Im Gegensatz zur Niederdurchforstung entfernt die **Hochdurchforstung** hauptsächlich Konkurrenz bäume, welche der oberen Kronenschicht angehören. Das heisst aber nicht, dass dies systematisch erfolgt, sondern nur zugunsten von ausgewählten förderungswürdigen Bäumen. Dies bezweckt einen optimalen Wirkungsgrad auf die Entwicklung ihrer Kronen. Weil diese Durchforstungsart insbesondere für die Eichenwirtschaft abgeleitet wurde, ist es auch logisch, dass man die sozial unteren Elemente der Bestockung sorgfältig behält als Stammschutz. Die sozial niedrigeren Bäume werden im Bestand belassen, und auf diese Weise bilden sie einen Nebenbestand.

### Die Durchforstung als Veredlungsmassnahme

Eine deutliche Wende in der Durchforstungsfrage bringt Schädelin (1926, 1934) mit der Formulierung der Prinzipien der pflegerischen Waldbehandlung. Die Durchforstung versteht sich im funktionellen Kontext des ganzen organischen Gebildes der **Bestandeserziehung**. Sie wird zur klaren Steuerung der Waldentwicklung eingesetzt, mit dem Ziel der Erreichung grösstmöglicher Wertschöpfung. Schädelin unterscheidet zwei Phasen in der Bestandespflege, bzw. zwei Durchforstungsarten: die Phase, wo die Auslese im Vordergrund steht, in jüngeren Bestockungen (etwa Stangenholz bis schwaches Baumholz) und die Phase der Veredlung durch Wuchsoptimierung. Für die erste entwickelt er die **Ausleседurchforstung**, für die zweite eine **Lichtwuchsdurchforstung**. Schädelin hat seine Überlegungen am Fallbeispiel der Buche abgeleitet, was ihm ab und zu (zu unrecht) vorgeworfen wurde. In Wirklichkeit verstand er die aufgestellten Pflegeprinzipien als allgemein gültig. Nach Schädelin erfolgt die Auslese in sukzessiven Schritten. Die Anzahl ausgewählter Wertträger (die **Ausleseebäume**) sind am Anfang des Ausleseprozesses in grösserer Zahl als am Schluss notwendig, um das Problem der Reaktion der Bäume auf die Befreiungseingriffe sowie des Ausscheidens von Ausleseebäumen zu berücksichtigen. Wenn einmal die Auslese fertig ist, folgt die Lichtwuchsdurchforstung, die sich im wesentlichen um die Fortführung des Prozesses durch Standortregulierung um die Ausleseebäume konzentriert, um damit eine optimale Wuchsförderung zu erreichen.

Ziel der Ausleседurchforstung ist es, die Ausleseebäume so wirksam wie möglich vom Wettbewerbsdruck der direkten Nachbarsbäume (den Konkurrenten) zu befreien. In diesem

Sinne ist es klar, dass die Auslesedurchforstung im Sinne der Hochdurchforstung einzustufen ist. Allerdings wie Schädelin (1926) so treffend formuliert, gilt dies nur für den Zweck der Hochdurchforstung und nicht in der Methode. Es ist ziemlich naheliegend, dass eine solche Auslesedurchforstung in erster Linie darauf ausgerichtet sein muss, die produktivsten Kronenbereiche, und damit die Lichtkrone der Wertträger möglichst effizient vom Konkurrenzdruck zu befreien. Bei der Lichtwuchsdurchforstung geht die Durchforstung eher tendenziell in der sozialen Auswirkung zurück in Richtung der Niederdurchforstung. Dabei kommt es darauf an, wie stark (und oft) die Ausleseebäume in früheren sukzessiven Auslesedurchforstungen bis dann ausgeschaffen wurden. Und hier gilt auch die Regel, dass die Wirkungseffizienz in Bezug auf das Ziel (Regelung des Wachstumsgangs) massgebend ist.

Mit seiner **Z-Baum-Auslesedurchforstung** ging Abetz (1975, 1976) aus der Vorstellung des Schädelin'schen Konzeptes, den er übrigens als junger Praktikant im Lehr- und Forschungswald der ETH kennen gelernt hatte, hervor. Gegenüber dem Vorschlag von Schädelin ist hier im wesentlichen nur die Anzahl der Wertträger (die sog. Ziel-Bäume oder **Z-Bäume**) anders, indem die Z-Baum-Auslesedurchforstung von Beginn an nur die Bäume als Zukunfts- und Wertträger betrachtet, welche anzahlmässig der Endbestockung entsprechen (sog. Endstammzahlen). Dies erlaubt eine gezieltere und kostengünstige Ausrichtung der Eingriffe, insbesondere in nicht kostendeckenden Dimensionen. Im Konzept von Abetz gibt es keine Lichtwuchsdurchforstung, sondern eine Folge von Auslesedurchforstung, welche am Anfang bezüglich soziale Wirkung den Charakter der Hochdurchforstung und nach einigen Eingriffen der Niederdurchforstung haben. In der Regel soll ab der Lebenshälfte eine Schlagruhe einsetzen. Diese Sicht hat sich in Zusammenhang mit der negativen Folgewirkung der Nutzungen zumindest für Fichtenbestände durchgesetzt, weil die Entwicklung von Kernfäulen, insbesondere ältere Bestockungen besonders befallen.

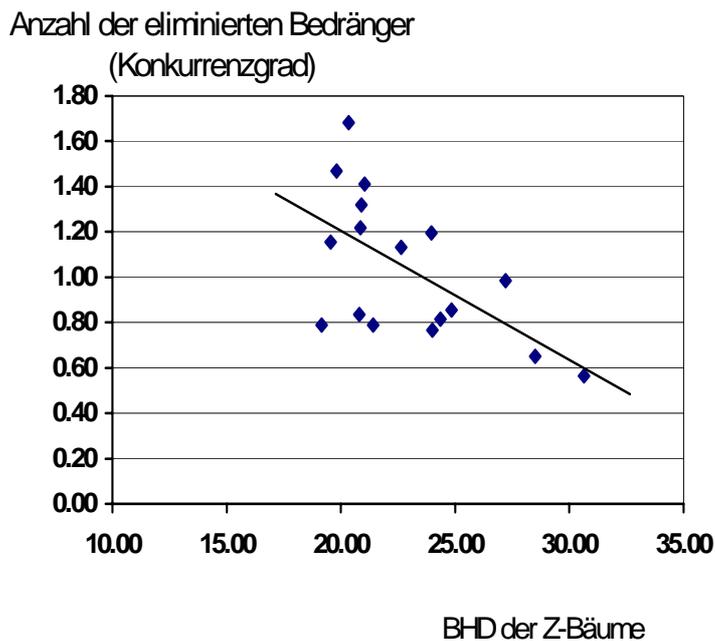
### **Die situative Auslesedurchforstung**

Der letzte Schritt in Vollendung der Auslesedurchforstung erfolgt dadurch, dass nur Bäume mit wirklichem Wertschöpfungspotential zur Förderung kommen, auch wenn sie weniger als die Endstammzahl einer vollen Bestockung ausmachen (Schütz, 1999, 2000). Die übrigen üben z.T. völlig andere Funktionen aus, z.B. ökologische und ästhetische. Immerhin gilt es, prinzipiell bei sog. **situativen Auslesedurchforstungen**, dass die Förderungsmassnahmen sich nicht auf den Bestand als ganzer richten, sondern auf bestimmte Einzelbäume.

Die Kunst effizienter Waldpflege beruht heute auf einem Kompromiss zwischen Selbstentwicklung (Naturautomation) und der Notwendigkeit, rechtzeitig und im richtigen Ausmass in den Prozess einzugreifen. Das Konzentrationsprinzip führt zur Ausrichtung der Massnahmen auf eine möglichst knappe Anzahl von Zukunftsbäumen. Die Verbindung beider Prinzipien (Naturautomation und Konzentration) führt logischerweise zu sog. **situativen Eingriffen**. D.h. es werden bezüglich wertschöpfender Massnahmen **nur** die Z-Bäume betrachtet bzw. nur bei denjenigen eingegriffen, die es benötigen, und zwar differenziert je nach ihrem eigenen Entwicklungspotential.

Situativ, bezogen auf die Pflegeeingriffe, versteht sich sowohl bezüglich Position (Situation) der Z-Bäume (nur die besten) in der Bestockung als bezüglich ihrem Entwicklungspotential (nur soviel Entnahmen wie notwendig). Leitmotiv ist die Konzentration auf das Wesentliche. Bei zeitgemässen situativen Auslesedurchforstungskonzepten ist die Fragestellung sowohl "Was soll belassen werden bzw. was erledigt die Natur selbst?", als auch "Was ist zu entnehmen?" Dies basiert auf der Erkenntnis, dass es in jeder Bestockung eine gewisse Anzahl von supervitalen und selbstherrschenden Bäumen gibt, die keine oder nur eine leichte Kronenraumbefreiung benötigen. Daneben gibt es solche, welche trotz genügender sozialer Position mehr Hilfe durch Kronenraumbefreiung brauchen (siehe Abb. 5.12).

Die Auslesedurchforstung hat sich weitestgehend in West- und Zentraleuropa durchgesetzt, auch in Regionen, die früher eher Anhänger der Niederdurchforstungen waren, wie z.B. in Deutschland. Hier fand das Umdenken ab Ende der 70er Jahre und insbesondere dank der aktiven Vorreiterrolle von Peter Abetz statt. Weil beim Abetz'schen Konzept bei der praktischen Umsetzung Gefahr besteht, dass der vorgeschriebene Endabstand zwischen den Z-Bäumen zu peinlich genau verfolgt wird und dabei Auslesekriterien ungenügend Gewicht gibt, wurde die sog. **Gruppendurchforstung** von Busse (1935), Kato (1973), Kato et al. (1988), Mülder (1996) vorgeschlagen. Sie gibt der Qualität den Vorrang und betrachtet den Respekt vorgeschriebener Distanzen zwischen den Wertträgern als völlig subsidiär, ja sogar überflüssig.



**Abb 5.12:** Konkurrenzgrad der entnommenen Konkurrenten in einer Bestockung. Die bezüglich sozialer Position Besten (Vitalsten und auch Stärksten) bedürfen für eine gute Entwicklung weniger Kronenbefreiung als die knapp Herrschenden oder die Mitherrschenden.

Unter dem Grad der Konkurrenz (auf der Ordinatenachse) versteht man die Anzahl entnommener Konkurrenten (gewichtet mit ihrer Kreisfläche) im Verhältnis zur Kreisfläche des Auslesebaumes. Ein Konkurrenzgrad von 1,0 bedeutet, dass ein mindestens so dicker Konkurrent wie der Auslesebaum

eliminiert wird (oder zwei weniger dicke).

Fi/Ta starkes Stangenholz Hirschthal (Alter 39, Do 27 cm). Nach Schütz (2000)

### Spezielle Formen der Durchforstungen

Von der Niederdurchforstungsidee lassen sich verschiedene Formen der Entnahmen von Durchforstungen, welche neutral wirken bezüglich sozialer Wirkung, ableiten. Es geht um eine Reihe von **systematischen Durchforstungen** mit unterschiedlichem Entnahmemuster. Sie verstehen sich heute meistens als Vorstufe zu weiteren Ausleseeingriffen in stammzahlmäßig sehr dichten Jungbestockungen, oder für maschinelle Nutzungen.

Von der Hochdurchforstung lassen sich vikariierende Eingriffsformen im Sinne systematischer sozialer Entnahmen ableiten. Das ist mit der **Borggreve-Durchforstung** (verwirrenderweise auch Plenterdurchforstung benannt) der Fall, die prinzipiell die sozial herrschenden Elemente entnimmt, damit angeblich die Mitherrschenden und Niedrigeren profitieren können. Ähnlich geht es mit der Zielstärken-Nutzung (Reininger, 1987). Mittlerweile hat sich gezeigt, dass sowohl die Borggreve-Durchforstung (Schober, 1980) wie auch Zielstärke-Nutzung (Spellmann, 1997; Knoke, 1998) zu Produktivitätsverlusten in Volumen und Wert führen.

Mit dem Begriff **Plenterdurchforstung** verstehen wir seit Biolley (1901) eine Eingriffsform, welche für die Überführung von noch nicht im idealen Plenterzustand sich befindlichen Bestockungen gilt (siehe dazu Skript der Plenterwald). Ähnlich geht es mit sog. **Strukturdurchforstungen** (Reininger, 1987; Goltz, 1991).

### 5.2.2 Wirkung der Baumentnahmen

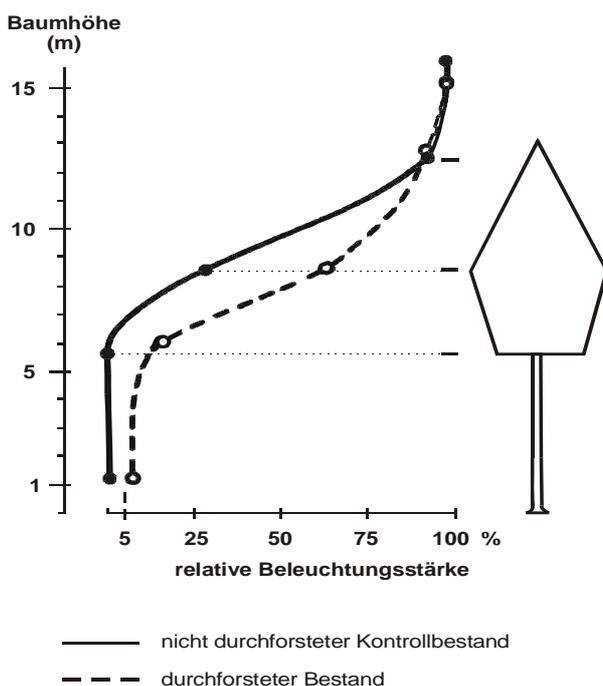
Die ganze waldwachstumskundliche Forschung hat sich während sehr langer Zeit auf die Reaktion der Durchforstung auf den ganzen Bestand fokussiert, und zwar im wesentlichen an Fallbeispielen gleichartiger, gleichaltriger und mehr oder weniger gleichförmiger Bestockungen. Grossräumige Experimentierfreude herrschte seit Ende des 19ten Jahrhunderts in ganz Europa. Erwähnenswert ist z.B., dass die IUFRO (Internationale Organisation des forstlichen Versuchswesens) ursprünglich aus dem Bedarf der Normalisierung solcher Durchforstungsfeldversuchstätigkeit 1892 in Eberswalde (b. Berlin) begründet wurde.

Wenn dieser (wohl etwas reduktionistische) Forschungsansatz sich aus Gründen der wissenschaftlichen Beweisführung, mit entsprechender Uniformisierung der Variation von komplexen Einflussfaktoren rechtfertigen lässt, genügt diese Sicht den heutigen Anforderungen situativer Betrachtung der Bäume im Bestand nicht mehr. Für die Beurteilung der effektiven Wirkung der Durchforstungen soll vermehrt die Zelle bestehend aus den Wertträgern und seinen direkten Konkurrenten berücksichtigt werden. Weil die endgültige Wirkung der Durchforstungen zur Steuerung der Endproduktion konzipiert ist, muss auch die Beurteilung dieser Wirkung auf den ganzen Produktionszeitraum betrachtet und nicht nur in Bezug auf eine kurzen Sequenz der Bestandesentwicklung. So ist die Herausforderung an die Forschung, diese unterschiedlichen Skalen und Integrationsebenen zu berücksichtigen. Darüber hinaus spielen immer Fragen des Standortes eine Rolle bzw. der Entwicklungsstufe oder des Alters der Bestockungen.

#### 5.2.2.1 Wirkung auf ökophysiologische Faktoren

##### Veränderung der Lichtverteilung im Kronenraum

Die Untersuchungen von Aussenac et al. (1984) zeigen ökophysiologische Konsequenzen bei starken Durchforstungseingriffen.



**Abb. 5.13:** Veränderung der Belichtung in der Krone einer 20jährigen Douglasie vor und nach einem starken Durchforstungseingriff (Stärke: 50 %).

Sie stammen aus einem Durchforstungsversuch mit 19jährigen Douglasien, bei dem durch einen systematischen, sehr kräftigen Eingriff 50 % aller Bäume entfernt wurden. Das Ergebnis eines solchen Eingriffes führt in erster Linie zu einer Verbesserung der Lichtbedingungen im ganzen Kronenraum (siehe dazu Abb. 5.13). Die Erhöhung des Lichtangebotes zeigt sich dabei am deutlichsten an der Kronenbasis, welche ja vor der Durchforstung nur relativ wenig Licht erhielt. In diesem

Bereich kann man, schon ein Jahr nach dem Eingriff, eine Zunahme der Blatt- bzw. Nadelmasse um 15 % feststellen.

### **Wirkung auf die Dauer der Produktionsperiode**

Ferner wurde eine unerwartete, bemerkenswerte Veränderung beobachtet; nämlich, dass in der durchforsteten Teilfläche, im Vergleich zur undurchforsteten Vergleichsfläche, eine ganz deutliche Verlängerung der Vegetationsperiode, in der Grössenordnung von 35 Tagen, stattfindet. Es handelt sich dabei nicht nur um ein vorübergehendes Phänomen von kurzer Dauer. Wie die Tabelle 5.14 zeigt, hält diese Verlängerung der Vegetationsperiode über mehrere Jahre an und zeigt sich auch noch fünf Jahre nach dem Eingriff (Aussenac et al., 1988).

**Tabelle 5.14:** Verlängerung der Vegetationsperiode in einem Douglasienstangenholz infolge einer starken Durchforstung (Entfernung von 50 % aller Bäume)

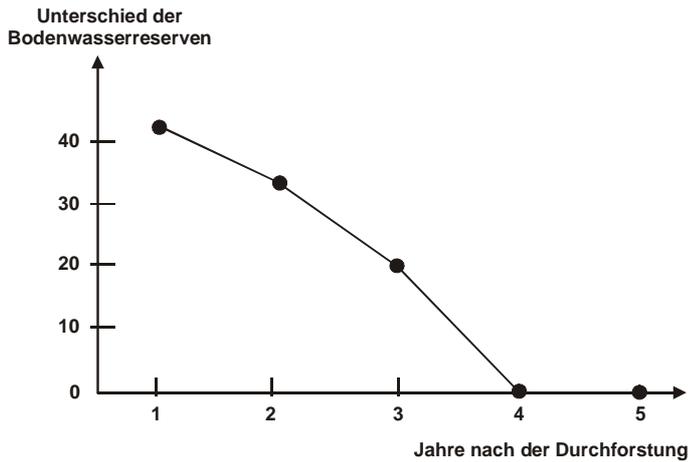
Jahre nach der Durchforstung	Verlängerung der Vegetationsperiode (in Tagen)
1	+ 35
2	+ 44
3	+ 39
4	+ 26
5	+ 49

nach Aussenac et al. (1988)

### **Einfluss auf den Wasserhaushalt**

Die Autoren erklären diesen Anstieg der Dauer der Vegetationsperiode durch die folgenden ökophysiologisch vorteilhafte Wirkung des Eingriffs. So bewirkt eine Durchforstung:

- eine um + 0,4°C Erhöhung der mittleren Temperaturen
- bessere Wasserbilanz (in der Grössenordnung von 50 mm/Jahr). Einerseits wird durch die Durchforstung die Interzeption verringert, so dass mehr Niederschlag auf den Boden gelangt; ferner führt es zu einem Rückgang der Evapotranspiration. Beides erlaubt eine bessere Versorgung der Bodenwasserreserven. Im vorliegenden Versuch beträgt der Rückgang der Evapotranspiration im ersten Jahr nach dem Eingriff ungefähr 17 %. Die Abb. 5.15 zeigt die unterschiedlich hohen Bodenwasserreserven (jeweils zum Zeitpunkt der stärksten Bodenaustrocknung) im durchforsteten Bestand und im undurchforsteten Vergleichsbestand. Das Phänomen der wesentlich günstigeren Bedingungen im durchforsteten Bestand zeigt sich dabei auch noch 3 Jahre nach dem Eingriff.

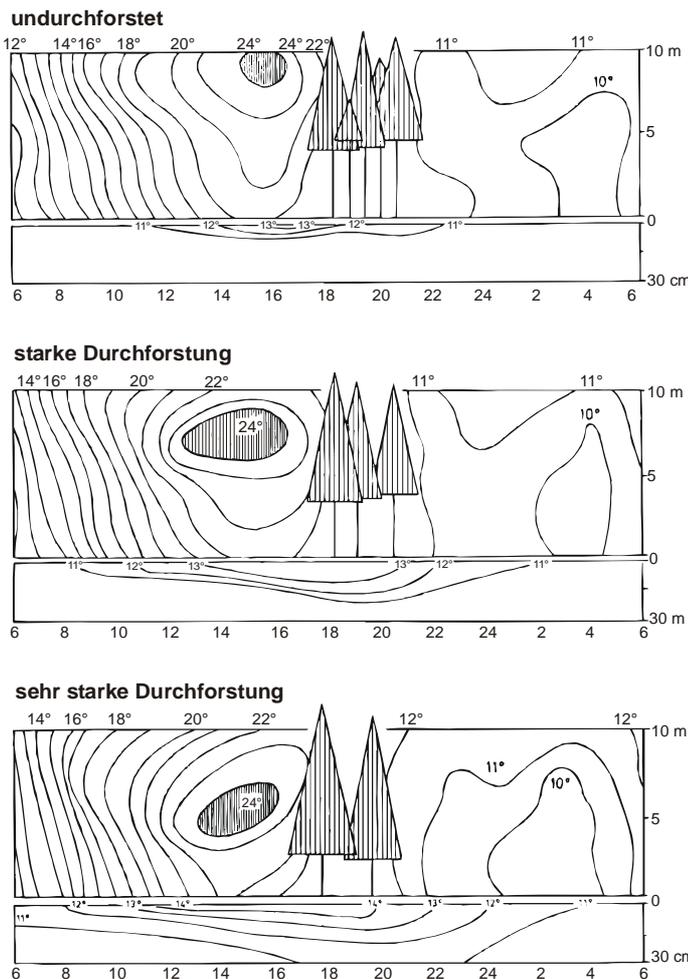


**Abb. 5.15:** Unterschiede in den kapillarisch gebundenen Wasserreserven im Boden während des Hochsommers zwischen stark durchforstetem und nicht durchforstetem Douglasienbestand.

nach Aussenac (1988)

**Einfluss auf den Wärmehaushalt**

Chroust (1965) bestätigt die günstige Veränderung der ökophysiologisch relevanten Faktoren wie Wärmehaushalt und Bodentemperaturen am Beispiel eines Durchforstungsversuchs in einem Fichtenstangenholz von 22 Jahren (siehe Abb. 5.16).



**Abb: 5.16:** Wirkung von starker Durchforstung auf die mittleren Tagestemperaturen der Luft und des Bodens an einem Sommertag. In einem Fichtenbestand von 10 m Höhe an 22 Jahre Alter

nach Chroust (1965)

### 5.2.2.2 Wirkung auf den Standraum und Zuwachs der (Einzel)Bäume

#### Kronenexpansion und Standraumausnützung

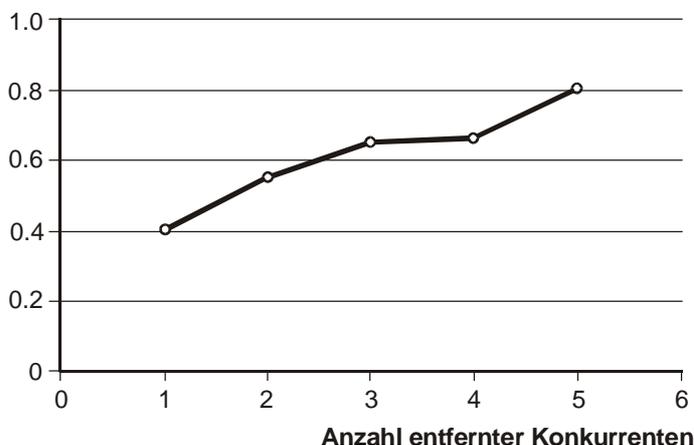
Die unmittelbare Wirkung von Baumentnahmen erlaubt den befreiten Wertträger, den erweiterten zur Verfügung stehenden Standraum durch eine Ausdehnung ihrer Kronen auszunutzen. Dabei ist klar, dass diese Ausdehnung sowohl seitlich wie auch durch Ausstrecken in der Höhe erfolgt. Das Ganze hängt also von im wesentlichen altersbedingten Höhenzuwachs und vom seitlichen Standraum ab. Folgerichtig soll die Reaktion auf Befreiungseingriffe primär vom Alter abhängig sein. Andere Faktoren wie Standortsgüte, Gesundheitszustand und Kronengröße dürften eine Rolle mitspielen.

Es ist auch klar, dass Unterschiede zwischen den Baumarten bestehen. Die Eigenschaften der Kronenausdehnung sind insbesondere zwischen Koniferen und Laubholzarten recht unterschiedlich. Die Koniferen mit spindelförmigen Kronen bevorzugen die Ausdehnung der Krone in die Höhe und reagieren weniger stark seitlich. Umgekehrt ist es bei den Laubholzarten, deren Kronen eher seitlich expandieren. Die Koniferen besitzen dadurch ein günstigeres Standraumausnutzungspotential. Die Konsequenz von zu starker seitlicher Kronenexpansion führt dazu, dass der Anteil des photosynthetisch unwirksamen Kronenkerns zunimmt, was zu einer ungünstigeren Standraumökonomie führt. Untersuchungen von Burger (1939) und Badoux (1939) haben schon seit längerer Zeit für Buchen-, Fichten- und Douglasienbestände gezeigt, dass mitherrschende Bäume eine günstigere Standraumausnutzungseffizienz in Bezug auf den Volumenzuwachs aufweisen als herrschende. Diese Sicht bestätigen Berechnungen der Standraumökonomie der Bäume in Eichen-, Fichten- und Buchenbestände der bayerischen Versuchsflächen von Utschig (2002). Der standraumbezogene Volumenzuwachs von mittel bekronen Bäume ist immer besser als derjenige der grosskronigen Elemente erwachsener Bestockungen.

Auf alle Fälle sind die artenspezifischen Reaktionen bei der Interpretation von Versuchsergebnissen gebührend zu betrachten.

Wie Beobachtungen von Bouchon et al., (1989) zeigen, ist die seitliche Reaktion der Kronen von 50- bis 70jährigen Buchenwertträgern auf Durchforstungseingriffe praktisch linear abhängig von der Anzahl entfernter Konkurrenten (siehe Abb. 5.17). Es ist anzunehmen, dass diese Reaktion bei Koniferen nicht so eindeutig wird.

**Radialzuwachs der Krone  
des befreiten Baumes  
(in m für 5 Jahre)**



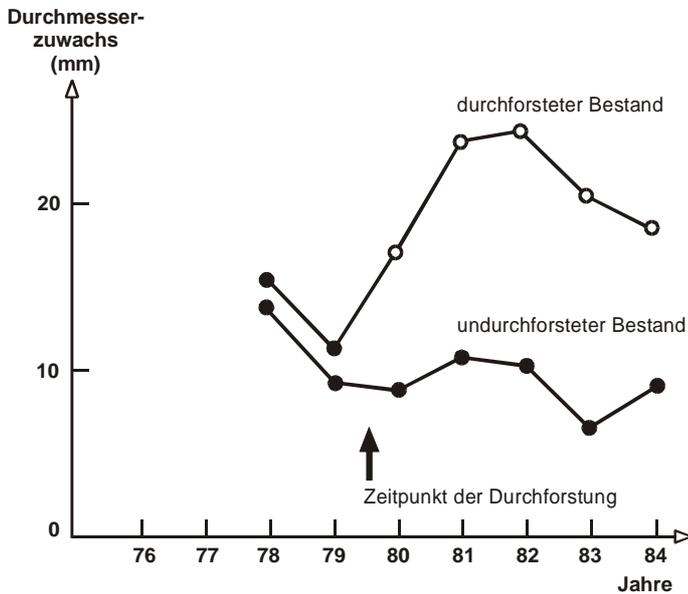
**Abb. 5.17:** Reaktion von Buchenkronen auf die Entfernung von Konkurrenten.

Gilt für Buchenbestände im Altersbereich von 50 bis 70 Jahre.

nach Bouchon et al. (1989)

Daraus zu schliessen, dass immer so kräftig wie möglich zu durchforsten ist, wäre voreilig interpretiert. Bei zu starker Befreiung mag der Baum irgendwann den freien Raum nicht mehr ausnützen.

Abb. 5.18 zeigt, dass die Wirkung einer Durchforstung, gemessen an der Zunahme des Radialzuwachses noch mehrere Jahre nach dem Eingriff deutlich spürbar ist.



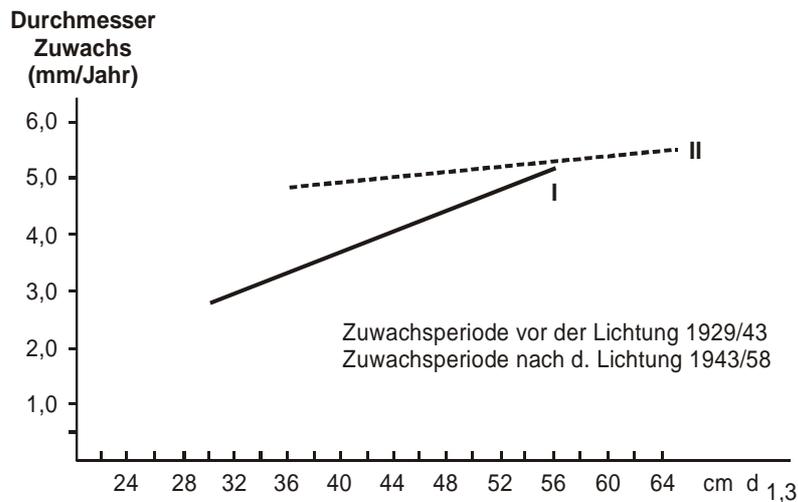
**Abb. 5.18:** Wirkung starker Durchforstung auf den Durchmesserzuwachs. Vergleich des Radialzuwachses in stark durchforstetem und nicht durchforstetem Douglasienbestand (Alter 19 Jahre).

nach Aussenac et al. (1988)

Wie lange (im Bestandesalter) die Reaktionsfähigkeit andauert, ist deshalb von Bedeutung, weil wenn auch logischerweise die optimale Reaktion in jüngeren Beständen zur Zeit des maximalen Höhenzuwachses (im Stangenholzstadium) zu erwarten ist, heute nutzungs-ökonomische Faktoren für eine zeitliche Staffelung der Eingriffe sprechen, nämlich zu einem Zeitpunkt, da die Durchforstungsprodukte kostendeckend (oder annähernd) genutzt werden können (sog. **präkommerzielle Nutzungen**).

Die Buche ist z.B. eine Baumart mit anerkannt gutem Reaktionspotential auf Durchforstungseingriffe auch in hohem Alter. Chollet et al. (1998) weisen sogar darauf hin, dass die Reaktion auf Durchforstung umso besser ist, als der Bestand zuvor dicht gehalten wurde, und dies bis zu recht hohen Höhenlagen (1400 bis 1500 m.ü.M.). Auch ist der Lichtungszuwachs der Buche schon seit längerer Zeit allgemein anerkannt, weil eine der Standraumreduzierung gegenüber überproportionale flächenbezogene Wuchsreaktion (in Volumen) erfolgt (Freist, 1962, Noisette, 1928). Daraus dürfte aber keine allgemeingültige Regel gemacht werden. Gewisse Baumarten reagieren nur in der Jugend gut. Dies gilt insbesondere für Lichtbaumarten wie Esche, Föhre, Lärche. Bei diesen scheint es wichtig, in genügend frühen Stadien einzugreifen.

Wie die Ergebnisse der Veränderung der Belichtung infolge Eingriffstärke gezeigt haben, erfolgt die grösste Veränderung der Belichtung im unteren Teil der Lichtkrone (siehe Abb. 6.12). Davon kann man ausgehen, dass vorher sozial niedrige bzw. konkurrenziierte Bäume besser auf Eingriffe reagieren als Alleinherrschende. Folgerichtig wird dies bedeuten, dass in situativen Eingriffskonzepten die Eingriffe nach sozialen Klassen zu modulieren sind. Ergebnisse von Freist (1962) in älteren Buchenbestockungen zeigen, dass sozial Tiefere im Durchmesserzuwachs wesentlich mehr reagieren als die schon ohnehin Selbstherrschenden (siehe Abb. 5.19). Je sozial niedriger, desto ausgeprägter ist der Lichtungszuwachs. Solche Ergebnisse unterstützen eine sehr differenzierte, opportunistische Eingriffsgestaltung bei der Durchforstungsfrage.



**Abb. 5.19:** Reaktion von älteren Buchenbeständen auf Lichtungseingriffe.

Durchmesserzuwachs vor und nach dem Lichtungseingriff geordnet nach BHD.

nach Freist (1962)

I = Zuwachperiode vor der Lichtung  
II = Zuwachperiode nach der Lichtung

### 5.2.3 Wirkung auf Bestandeszuwachs

Die Durchforstung ist nicht Selbstzweck, sondern strebt die Steuerung der Volumen- und Wertproduktion an. Die Volumenproduktion hängt schlussendlich vom Stück-Volumen-Verhältnis ab oder wie Utschig (2000) sehr treffend nennt der **Mengeneffekt**. Das Suchen optimaler Leistungen ist eine Gratwanderung zwischen Erhaltung dichter Bestockungen und Baumreduktion zur Konzentration des Wachstums auf weniger mit besserem Durchmesserzuwachs, ohne dabei Produktionsverluste zu verursachen. Die Frage der Kompensation der Wuchskräfte steht im Zentrum der Überlegungen. Entscheidend dabei ist also die Frage der Standraumausnützung. Auch wenn heute die Wertschöpfung sich auf nur einen Teil des Baumkollektives (die Wertträger), und sogar Stücke davon (den unteren Stammteil) konzentriert, ist es wichtig, die Gesetzmässigkeit der Bestandesproduktion zu kennen.

### Massen- oder Volumenzuwachs

Zahlreiche Ergebnisse der ertragskundlichen Forschung belegen die Fragen des Einflusses von unterschiedlichen Durchforstungsprogrammen auf die **Produktivität** in Volumen (periodisch bezogene Volumenleistung) oder gar die **Produktion** (auf dem ganzen Produktionszeitraum bezogene Volumenleistung oder **Gesamtwuchsleistung**) eingehend, zumindest für gleichartige und gleichaltrige Bestockungen.

Die von Assmann (1955) gezeigten Zusammenhänge zwischen Durchforstungsregime (Durchforstungsprogramm) und Zuwachsleistung, wie in Abb.5.8 dargestellt, gelten für die Volumenproduktivität von Beständen während unterschiedlichen langandauernden Betrachtungsperioden. Sie sind auf den ganzen Produktionszeitraum zu integrieren, um die endgültige Wirkung von Pflegemassnahmen zu beurteilen. Da die Reaktionsfähigkeit je nach dem Zeitpunkt des Beginns der Durchforstungen sowie je nach Durchforstungsart und Stärke unterschiedlich ausfallen, kann man auch davon ausgehen, dass die kompensatorischen Effekte je nach Faktorenkonstellation zu anderen Ergebnissen führen.

Die Ergebnisse vieler, langfristig angelegter Durchforstungsversuche seit Ende des 19ten Jahrhunderts in ganz Zentraleuropa erlauben folgende Gesetzmässigkeiten zu erkennen. Bei der Interpretation der Ergebnisse von zahlreichen Durchforstungsversuchen in norddeutschen Fichtenbeständen, zieht Schober (1980) folgende Schlussfolgerungen:

- die durchforsteten Bestände leisten mehr (in Volumen) als die nicht durchforsteten Kontrollflächen
- sehr stark durchforstete Flächen sowie Schnellwuchsbetrieb leisten weniger
- der Zeitpunkt des Beginns der Durchforstungen ist wichtig. Der beobachtete Anstieg der Produktivität hätte zweifellos höher sein können, wenn die Eingriffe früher, d.h. ab Beginn der Stangenholzstufe, begonnen hätten. Zwei Resultate mit dem bemerkenswertesten Produktivitätsanstieg in der Grössenordnung von + 33 % und + 48 % bei den sehr starken Durchforstungen des Schnellwuchsbetriebes gelten gerade für diejenigen Versuche, in denen die ersten Eingriffe zu Beginn des Stangenholzes, bei einem Alter von etwa 25 Jahren stattgefunden hatten.

### **Wirkung auf Wertzuwachs**

Weil die Durchforstung eindeutig zur Förderung des Durchmesserwachstums führt, ergeben sich dadurch bezüglich Wertschöpfung zwei bemerkenswerte Konsequenzen:

- die Erreichung stärkerer Dimensionen beeinflusst die Wertleistung günstig. Es ist also zu erwarten, dass Durchforstungsprogramme die Wertleistung wesentlich stärker beeinflussen als die Volumenleistung.
- Weil die Bäume bei Erreichung bestimmter Enddurchmesser optimale Preise Erlösen, werden durchforstete Bäume frühzeitiger hiebsreif als nichtdurchforstete. Dies führt zur Verkürzung der Produktionszeit und somit zu zeitbezogenen Gewinnen.

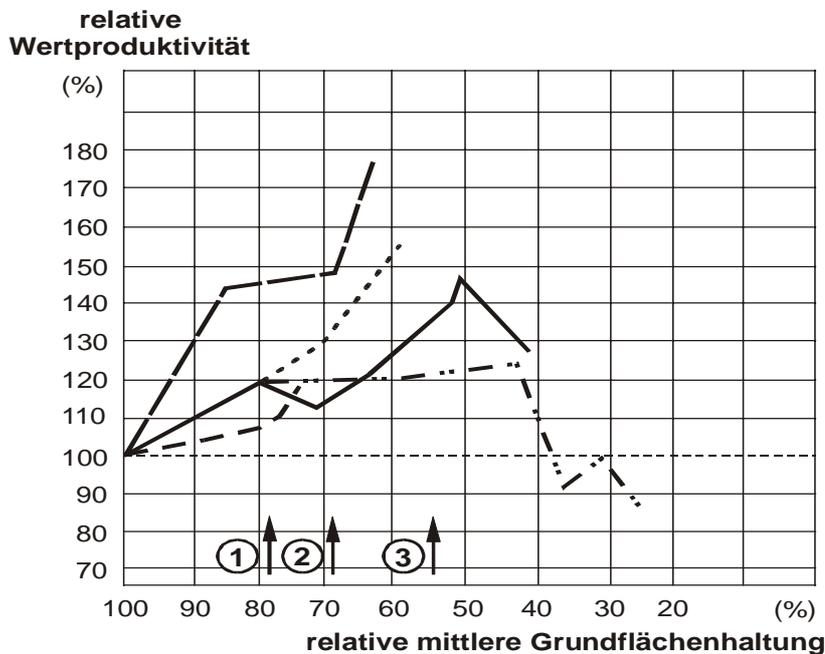
### **Erfassung der Wertproduktion**

Die Wertleistung wird in der Regel kalkulatorisch mit dem erntekostenfreien Erlös zu einem bestimmten Zeitpunkt gerechnet, zu dem dann geltendem Preis und Kostenniveau. Die Fixkosten werden einfachheitshalber nicht in die Kalkulation einbezogen. Weil die Waldproduktion im Vergleich zu normalen anderen Produktionsbetrieben äusserst lang dauert, stellt sich die Frage der Indexation vorzeitiger Nutzungen bzw. Produktionsinvestitionen (z.B. Pflegearbeiten) mit einem entsprechend sinnvollen Zinsfuss. Die Meinungen, ob überhaupt und wenn schon, mit welchem Zinsfuss zu arbeiten ist, gehen auseinander. Das Problem ist grundsätzlich, dass die Holzpreise sich natürlich indexieren. Es ist also nicht mit nominellen Zinsen zu kalkulieren, sondern mit realen d.h. von der Inflation befreiten. Wie dem schlussendlich auch ist, arbeitet man für solche langfristige Entwicklungsprognosen mit tiefen Zinsen im Bereich von 0 bis 1 %. Dieser niedrige Zinssatz wird durch die Feststellung gerechtfertigt, dass, über eine langfristige Zeitdauer hinweg, der Zinssatz von langfristigen Geldanlagen und die Höhe der Geldentwertung (Inflationsrate) praktisch gleich hoch sind (Abegg, 1978).

### **Wertproduktion in Abhängigkeit der Durchforstungstätigkeit**

Abbildung 5.20 zeigt die Resultate der wichtigsten bekannten langfristigen Versuchsreihen für die Baumart Fichte bzw. Buche. Die beiden dargestellten Variablen sind relativ gegenüber den Ergebnissen der Nullvariante (d.h. nicht durchforstete Bestockungen). Als Variable der Bestockungsdichte (oder Durchforstungsstärke) gilt die relative mittlere Grundflächenhaltung. Es ist eindrücklich festzustellen, dass die Wertproduktion sehr deutlich mit zunehmender

Durchforstungsstärke bis zu einem Optimum steigt, um dann abzunehmen. Das Optimum liegt bei sehr kräftigen Durchforstungsstärken; Durchforstungsintensitäten, die zweifellos stärker sind als jene, die in Wirklichkeit je vorkommen. Es liegt bei dementsprechend niedrigen relativen Bestandesdichten, in der Größenordnung von 50 % der jeweiligen maximalen Bestockungsdichte.



- ① Optimum der Volumenproduktion (Fi) nach Assmann und Franz (1963)  
 ② Dichte der Ertragstafel von Badoux (1968), bei Hochdurchforstung  
 ③ Optimum der Wertproduktion für die Versuche vom Sihlwald, Schütz (1987)

- — — Fichte: Mittelwerte aus norddeutschen Versuchsflächen, Schober (1989)  
 ————— Fichte: Versuch von Gludsted, Dänemark, (41-72 Jahre), Bryndum (1967)  
 — — — Fichte: Versuch von Bowmont, GB, (0-64 Jahre), Hamilton (1976), Kramer (1978)  
 - · - · - Buche: Versuch von Totterup, Dänemark, (19-68 Jahre), Bryndum (1987)  
 - - - - - Buche: Versuch vom Sihlwald (43-74 Jahre), Leibundgut et al. (1971)

**Abb. 5.20:** Wertleistung bei den bekanntesten langfristigen Durchforstungsversuchen mit den Baumarten Fichte und Buche.

Bei Fichte: mehrere norddeutsche Durchforstungsversuche nach Schober (1980); Durchforstungsversuch Gludsted in Dänemark (Bryndum, 1969); Durchforstungsversuch Bowmont (Hamilton, 1976; Kramer 1978)

Bei Buche: Durchforstungsversuch im Sihlwald (Leibundgut, 1971); Durchforstungsversuch Totterup, Dänemark (Bryndum, 1980, 1987)

In den norddeutschen Fichten-Durchforstungsversuchen von Schwappach und Wiedemann, erhöht die Durchforstung den Werttertrag in der Größenordnung von mindestens 20 % (Schober, 1980) mit Extremergebnissen von 33 und 48 % in den früh eingeleiteten starken Durchforstungen. Im Fichten-Durchforstungsversuch von Gludsted in Dänemark liegt die Erhöhung der Wertproduktivität sogar um die 40 % (Bryndum, 1969). Im berühmten englischen Durchforstungsversuch von Bowmont konnte eine Erhöhung der Wertproduktivität von 80 % nachgewiesen werden (Hamilton, 1976; Kramer, 1978).

Bei der Buche liefert Bryndum (1987) am Beispiel des Versuches von Totterup in Dänemark Ergebnisse, die in derselben Grössenordnung liegen wie bei der Fichte in Norddeutschland. In den Auslesedurchforstungsversuchen, welche 1930 von Schädelin im Sihlwald angelegt wurden, ist die Mehrwertleistung gar 85 % (Leibundgut et al., 1971). Ehrlichkeitshalber muss gesagt werden, dass die hohen positiven Auswirkungen der kräftigen Durchforstungen zum Teil auf eine günstigere Baumartenzusammensetzung zurückzuführen sind. Im Falle der sehr starken Durchforstungen konnten wertvollere Holzarten wie etwa die Esche sich in die Oberschicht einwachsen und so die Wertproduktion positiv beeinflussen. Immerhin darf dieser Effekt, der Beimischung von Wertholzarten für kräftige Auslesedurchforstung als nicht untypisch betrachtet werden.

Das Ergebnis solcher breit angelegten Durchforstungsversuche scheint eindeutig. Sehr kräftige Durchforstungen führen zu einer erheblichen Erhöhung der Wertproduktivität. Das Optimum liegt offensichtlich bei Bestandesdichten im Bereich von 50 % der maximalen Bestockungsdichte. Dies entspricht einer stärkeren Eingriffspraxis als jener, die unseren Ertragstafeln zugrunde liegt (Schütz, 1987).

Allerdings muss man einwenden, dass diese Ergebnisse aufgrund von Preis/Kosten vor einigen Jahrzehnten gerechnet wurden. Mittlerweile hat sich die Kostenschere ungünstig entwickelt. Eingriffe in Stangenhölzer und teilweise schwache Baumhölzer sind unter Umständen (bei motormanueller Nutzung) defizitär. Neuere Kalkulationen von Knoke (1998) an Datenmaterial von Durchforstungsversuchen bei der Fichte in Bayern und Simulation ihrer Weiterentwicklung bis zur Hiebsreife zeigen günstigere Wertleistungen für mässig bis schwache Durchforstungspraxis gegenüber früher, bzw. gegenüber starker Durchforstung mit anschliessender Zielstärkennutzung oder Hiebsruhe.

Darüber hinaus ist zu bedenken, dass der grosse Vorsprungeffekt der starken Eingriffe auf der bisher geltenden Holzpreisabstufung fundiert, welche sehr zugunsten der Starkholzes ausfällt. Es ist nicht sicher, dass dies zukünftig so bleibt. Die Gratwanderung zwischen mehr Bäumen oder mehr Zuwachskonzentration ist nach wie vor noch offen. Ist der Preisvorteil von starken Sortimenten nicht mehr so ausgeprägt, spielt für gute Wertleistungen die hohe Bestockungsdichte wieder die ausschlaggebende Rolle. Daraus ist vielleicht der Schluss zu ziehen, dass extreme Durchforstungsprogramme nicht primär anzustreben sind.

Diese Betrachtungen über optimale Bestockungsdichte sind insofern von Bedeutung, als es bei den Ersteingriffen schon notwendig ist zu wissen, zu welcher Endbestockung die Behandlung führen soll. Will man den zur Verfügung stehenden Standraum optimal ausnützen, sollen bei der Auswahl der Ausleseebäume die Wertträger in bestimmter räumlicher Verteilung sein.

Tabelle 5.21 gibt die aufgrund aktueller Kenntnisse der Wertleistung anzustrebenden Endstammzahlen für die Hauptbaumarten an. Aufgrund des oben Gesagten leuchtet es ein, dass es sich hierbei nicht um absolut verbindliche Zahlen, sondern eher um Grössenordnungen handelt. Sie gelten für Standorte mittlerer bis guter Bonität. Diese Werte müssen deshalb jeweils für abweichende standörtliche Bedingungen entsprechend angepasst werden. Ebenfalls muss man betonen, dass optimale Abstände nur die Optimierung der Standraumausnützung bezwecken. Ihr Stellenwert ist entsprechend nicht so hoch wie die Qualitätskriterien der Ausleseebäume. Bei der Auswahl der Wertträger stehen ihre Qualitätseigenschaften eindeutig vor der Einhaltung der optimalen Distanzen.

**Tabelle 5.21:** Im Zuge der Durchforstungen anzustrebende Stammzahl des Endbestandes

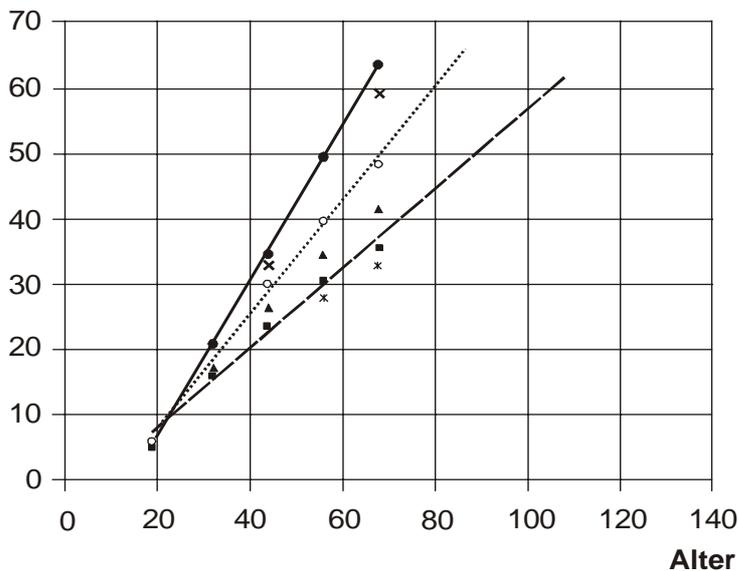
Baumart	Endstammzahl (N / ha)	mittlerer idealer Endabstand (m)	Quelle
Fichte, Tanne	250	6,8	1
Waldföhre	200	7,6	4
Buche, Esche	150	8,8	2
Eiche	100	10,8	3
Douglasie	150	8,8	4
Lärche	130	9,4	4

(Angaben gemäss: 1: Schütz (1987), 2: provisorische Werte, 3: Pardé (1978), 4: Kenk (1981)  
N.B.: idealer Endabstand: Wurzel aus  $(10000 \cdot 1,15 / N)$ )

### Wirkung auf die Produktionszeit

Die Verbesserung der Wertproduktivität trifft umso mehr zu, als die in Abb. 5.20 dargestellten Ergebnisse den Effekt der Verkürzung der Produktionsdauer, der auf das schnellere Dickenwachstum der Bäume zurückzuführen ist, noch nicht berücksichtigt haben. Abb 5.22 erlaubt diese Problematik aufgrund der Ergebnisse des dänischen Durchforstungsversuchs in Totterup zu beleuchten.

#### D 100



- × A: keine Durchforstung (mGH 100%)
- B: schwache Niederdfg. (mGH 81%)
- ▲ C: mässige Niederdfg. (mGH 54%)
- D: starke Niederdfg. (mGH 42%)
- × E: extrem starke Niederdfg. (mGH 31%)
- F: extrem starke Dfg. (mGH 25%)
- Linear (F: extrem starke Dfg. (mGH 25%))

**Abb. 5.22:** Entwicklung des Oberdurchmessers im Buchendurchforstungsversuch Totterup, Dänemark.

nach Bryndum (1980 und 1987)

Sie zeigt die Entwicklung des Oberdurchmessers (der 100 stärkste Bäume/ha) in einem grossen Spektrum von Durchforstungsstärken bei der Buche. Nimmt man die Erreichung eines Durchmessers von 60 cm als Zielstärke an, erlauben starke Durchforstungen (mittlere gestrichelte Linie) das Ziel 25 Jahre vor schwach oder gar nicht Behandelten zu erreichen. Das entspricht einem zusätzlichen Produktionsgewinn im Bereich von 30 %. Der Unterschied zwischen einer schwachen Durchforstung (Typ B) und starker (Typ C) macht immerhin etwa 15 Jahre aus. Zwischen Extremen (also Nullvariante und Lichtung) beträgt der Unterschied etwa 40 Jahre (entspricht 50 % vom Mittelwert).

### Ertragsniveau

Schober (1987) hat aber auf die Tatsache aufmerksam gemacht, dass die grossen Unterschiede des Ertragsniveaus einen Einfluss auf die Produktionsoptimierung ausüben könnten. Unter Ertragsniveau versteht man die bonitätsunabhängige Variation der Zuwachsleistungen. Ertragsniveauunterschiede zeichnen sich durch unterschiedliche Grundflächenhaltungen und bessere Wuchsleistungen (Schütz, 1992) aus. Sie lassen sich durch den Quotient Grundflächenzuwachs (oder Volumenzuwachs) zu Höhenzuwachs ausweisen (Bégin und Schütz, 1994). Hohes Ertragsniveau bedeutet, dass die Wettbewerbssituation anders ist bei sonst gleichem Entwicklungszustand und Bonitäten. Dies soll Auswirkung auf sowohl Leistungen wie Stabilität haben. Weil hohes Ertragsniveau insbesondere in Bergwäldern, namentlich in den Voralpen, zu finden sind (Schütz, 1992), soll das Problem für unser Land relevant sein.

### **5.2.4 Wirkung der Durchforstungen auf Stabilität**

Eines der Ziele der Durchforstungen ist u.a. den Bestand so zu steuern, dass neben der erwünschten Wirkung möglichst wenige Ausfälle zustande kommen. Weil die Erstdurchforstungen in einem Alter erfolgen, wo ein erhöhtes Risiko von Schneedruckschäden besteht, ist die Frage des Destabilisierungsrisikos bzw. des Ausfallsrisikos von geförderten Wertträgern infolge von Schneedruckschäden von einiger Bedeutung, umso mehr als vorher die Bestockungen in der sog. Kompressionsphase eher dicht gehalten wurden.

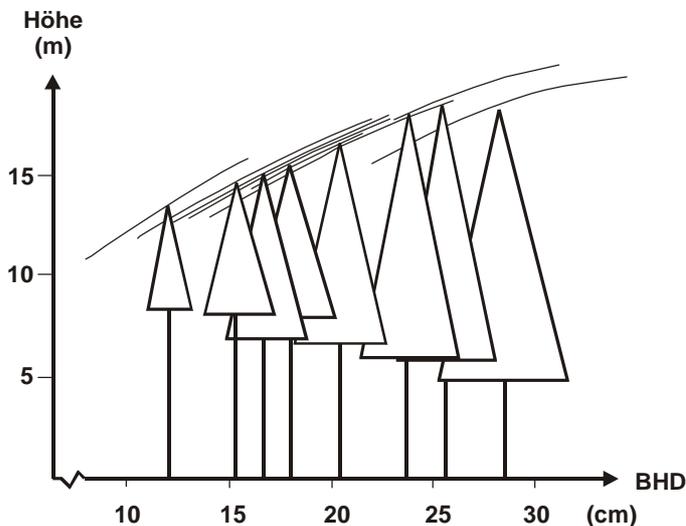
Wie wir im Abschnitt 4.2.2 präsentierten, sind die folgende Faktoren prädisponierend für die Schneedruckempfindlichkeit:

- Entwicklungstufe (Stangenholz)
- Höhenlage (500 – 700 m ü. M.)
- Baumart (Fi, Fö, Ta)
- Hohes h:d (kritische Grenze bei h:d <85 –90 für Fi/Ta; <140 für Bu; (siehe Abb. 4.7)
- Gute Bekronung (Herabsetzung des Schwergewichts der Kräfte der Schneelast). Darüber hinaus ist die Bekronung (% Kronenlänge) eng mit dem h:d korreliert, sodass beide Variablen die gleiche Indikation haben. Nur ist der Bekronungsgrad eindeutiger einzuschätzen als der h:d.
- Öffnung des Kronendaches, Erhöhung der Baumbewegungen (kollektive Stabilität).

Die Förderung der Stabilität gegenüber Schneedruck erfolgt im Wesentlichen durch die Schaffung von geeigneten Stammformen. Es geht dabei um einen günstigen Schlankheitsgrad oder h:d Quotient. Weil der Schlankheitsgrad während des Bestandeslebens zur Zeit des maximalen Streckenwachstums am höchsten ist, ist die Entwicklungsstufe des Stangenholzes die kritische Phase für die Stabilität.

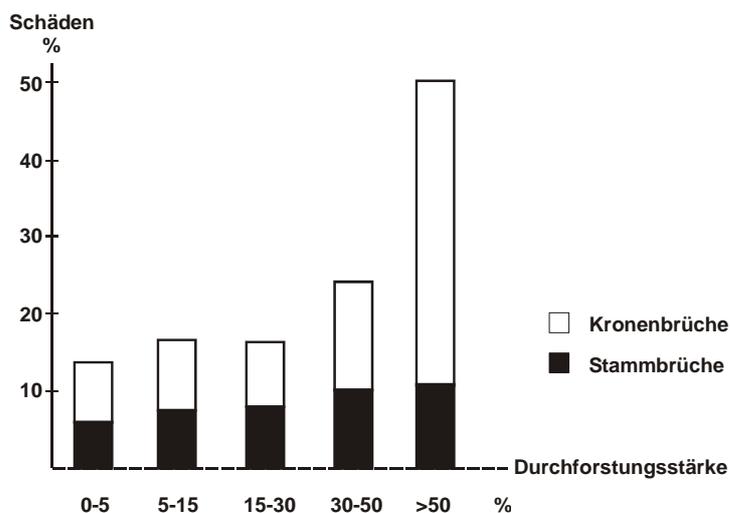
In der Tat besteht ein klarer Zusammenhang zwischen Durchforstungstätigkeit und den wichtigen Indikatoren wie h:d oder Bekronungsgrad, wie die Ergebnisse der dänischen

Durchforstungsversuche zeigen (Bryndum 1969). Die Regelung der Bestockungsdichte mit wiederholten Durchforstungen begünstigt die Formeigenschaften der Bäume. Die Durchforstung wirkt sowohl auf die Kronenlängen wie auch auf das Dickenwachstum der Stämme (siehe Abb. 5.23.)



h:d      112 98 88 82 77 73 66      Schlankheitsgrad des Mittelstammes

Weil aber mit der Freistellung der Wertträger die Bewegungsamplitude der Bäume notgedrungen zunimmt, nimmt auch die Gefahr einer Destabilisierung zu und zwar unmittelbar nach den Durchforstungseingriffen. So nimmt mit der Stärke der Durchforstungseingriffe das Risiko von Beschädigung zu (Abb. 5.24). Wie Mitscherlich (1981) in einem Douglasienbestand gezeigt hat, ist die Bewegungsamplitude nach einem starken Eingriff zwei- bis dreimal höher als vorher. Als Konsequenz davon weisen durchforstete Bestände bis ein bis drei Jahre nach dem Eingriff ein erhöhtes Bruchrisiko aus. Diese Gefahr ist umso höher, je dichter ein Bestand vor dem Eingriff war, je schlechter die individuellen statischen Widerstandskräfte der einzelnen Bestandesglieder sind und je aufgelöser die Vernetzungsstruktur im Kronenraum nach dem Eingriff ist.



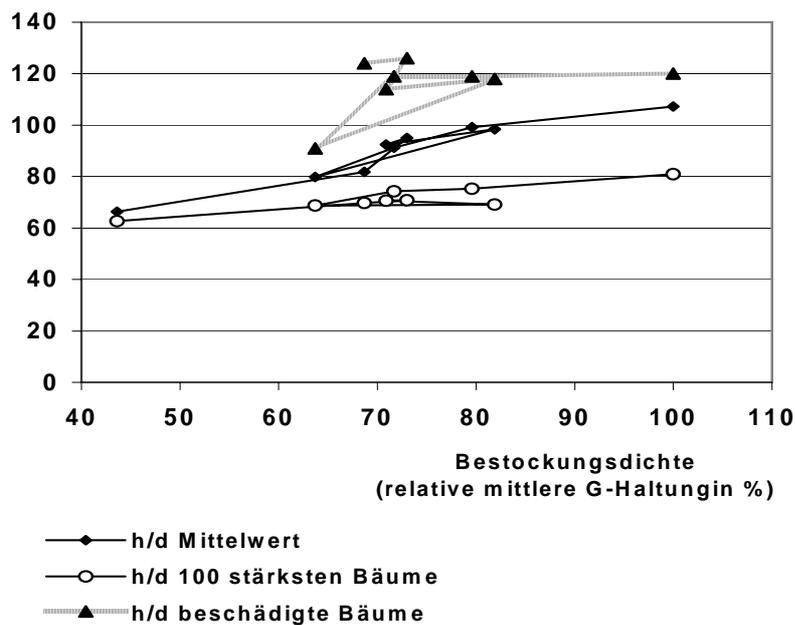
**Abb. 5.24:** Schneedruckschäden und Durchforstungsstärke.

nach Rottmann (1985)

Bei der Analyse des Gefährdungsgrades hinsichtlich Schneedruckschäden ist nicht nur das durchschnittliche h:d relevant, sondern es soll eine Differenzierung innerhalb der Bestockung

vorgenommen werden. So zeigen die Ergebnisse des Fichten-Durchforstungsversuchs Göggingen (Württemberg) nach 50 Jahren Durchforstung mit grosser Staffelung der Eingriffsstärke (Abb. 5.25), dass der Schlankheitsgrad der herrschenden Bäume (100 Stärkste/ha) kaum von der Durchforstung beeinflusst ist. Diese Bäume dürfen wir als Stabilitätsträger (sog. **Gerüstbäume**) betrachten. Wir beginnen zu ahnen, dass auch in schlecht gepflegten, sogar überhaupt nicht berührten Bestockungen eine genügende Anzahl von Bäumen mit guter natürlicher Stabilität gibt. Ähnliche Ergebnisse haben Pardé (1981) bzw. Utschig (2000) für die Buche und Preuhler und Schmidt (1989) für die Fichte ausgewiesen.

#### h/d - Werte



**Abb. 5.25:** Schlankheitsgrade unterschiedlicher Baumkategorien in Abhängigkeit der Durchforstungstätigkeit.

Fichtenversuch Göggingen (Württemberg) im Alter 50. Die Durchforstungsstärke ist mit der mittleren Grundflächenhaltung gemessen.

nach Huss (1998)

Interessant ist weiterhin, in Abb. 5.25 den Schlankheitsgrad der durch ein extrem starkes Eishangereignis betroffenen Fichten zu vergleichen. Offensichtlich haben die gravierenden Eishangschäden nur die sozial niederwertigen Bäume mit hohen Schlankheitsgraden betroffen. Eine Differenzierung der Schäden nach Durchforstungsart und Grad zeigt, dass tendenziell höhere Schäden mit fatalen Konsequenzen (d.h. Stammbrüche) in flächig und sozial hoch anfallenden Baumentnahmen (also hier Auslesedurchforstungen) als in um Z-Bäume konzentrierten und Niederdurchforstungen anfallen (Huss, 1998).

### **Konsequenzen für die Praxis der Durchforstung in empfindlichen Bestockungen**

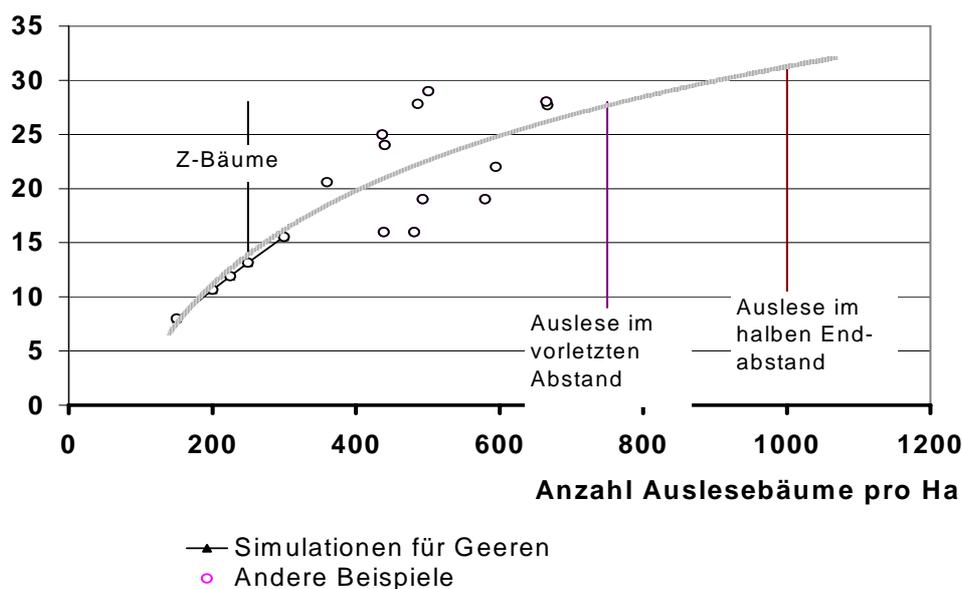
Die folgenden Schlussfolgerungen gelten im Wesentlichen für Bestockungen aus empfindlichen Baumarten (Fi, Fö, Ta) im sensiblen Alter (Stangenholz) und in von schwerem Schnee heimgesuchten Lagen. Mit der Durchforstung sollen gleichzeitig Bäume in ihrer Entwicklung gefördert und die negative Konsequenzen des Unterbruchs des Kronendaches bezüglich Destabilisierung minimiert werden. Dies ist eine Art Gratwanderung.

Bezüglich Destabilisierung wirkt nicht jede Durchforstung gleich. So ist zu unterscheiden zwischen:

- Art der Eingriffe; z.B. Hochdurchforstungseingriffe, welche auch die effiziente Art der Befreiung der Wertträger ist, führen auch zu einer konzentrierten Freisetzung der Wertträger und grösserer Bewegungsfreiheit und somit erhöhten Risiken.
- Die Anzahl der Wertträger. Insbesondere in der schwachen Stangenholzstufe, in welcher die Bäume relativ kleine Staturen aufweisen, führt das Konzentrieren der Eingriffe um knappe Wertträger (z.B. im Endabstand) zu einer wesentlich geringeren Auflösung des Kronendaches (Abb. 5.26)
- Die soziale Stellung der Wertträger: indem, wie Abb. 5.12 zeigte, weniger kräftig eingegriffen werden soll um natürlich hochherrschende Wertträger als um die sozial etwas niederwertigen. Damit nimmt der Grad der Bestandesauflösung mit der sozialen Stellung der gewählten Wertträgers ab.

Die Gefahr einer Auflösung der Stabilität nach Eingriffen ist gross, wenn der Kronenschluss systematisch aufgelöst wird. Dies spiegelt sich im flächenbezogenen Durchforstungsprozent wieder und hängt im Wesentlichen von der Anzahl und Verteilung der einzelnen Eingriffspunkte (Durchforstungszellen) ab. Bei der Befreiung einer knappen Anzahl von ohnehin mehr oder weniger selbtherrschenden Bäumen, auch im Fall von situativ kräftiger Kronenbefreiung, ergibt sich flächenbezogen insgesamt eine geringere Eingriffsstärke und entsprechend ein annehmbarer Unterbruch des Kronenschlusses (Abb. 5.26).

### Eingriffsstärke (% G)



**Abb. 5.26:** Bestandesbezogene Eingriffsstärke in Abhängigkeit der Anzahl ausgewählter Ausleseebäume in der Stangenholzstufe.

Gilt für Fichten-Stangenholz (Alter 20, Do 18 cm) beim ersten Durchforstungseingriff. Dargestellt sind für eine knappe Anzahl von Ausleseebäumen (durchgezogene Linie) Ergebnisse von Simulationen der Eingriffsgrade an Hand der situativen Eingriffsgrade wie in Abbildung 5.12. Mit Einzelpunkten dargestellt sind die Ergebnisse von Durchforstungsübungen im Waldbauunterricht der ETHZ in vergleichbaren Fichtenbestockungen im Fall einer grösseren Anzahl von Ausleseebäumen.

nach: Schütz (2000)

Unter diesen Umständen gilt: Je unstabiler eine Bestockung und je höher die entwicklungsbedingten (bestandesbezogenen) bzw. standortsbedingten Risiken (topographisch und klimatisch gesehen), desto geringer die Anzahl Ausleseebäume, bei denen eingegriffen werden soll, ausgehend von den vitalsten.

Für eine gute Stabilität soll die **Kronenlänge länger als ein Drittel** der Baumhöhe sein. In besonders gefährdeten Zonen soll die Länge der Krone gegen die Hälfte der Baumhöhe erreichen. Was die genetischen Faktoren betrifft, so dürfte z.B. der Verzweigungstyp eines Baumes einen Einfluss haben. So sind z.B. die Fichten mit büstenartiger Verzweigung empfindlicher gegenüber Schneelasten als die sogenannten Kammfichten. Die topographische Lage hat vor allem für Zonen im Windschatten mit vermehrten Schneeablagerungen einen negativen Einfluss. Was die Exposition betrifft, ist ein leichter Anstieg der Schäden bei nördlicher und östlicher Exposition festzustellen.

### **Behandlung von nicht rechtzeitig gepflegten Bestockungen (auf Stabilität kritisch-labile Bestockung)**

In solchen Fällen von kritisch-labilen Bestände geht man von der Vorstellung einer möglichst kleinsten Unterbrechung vom Kronendach aus, aber trotzdem die Förderung der Einzelstabilitätseigenschaften durch Kronenpflege bzw. Förderung der Bekronung anstrebt. Der Kompromiss kann darin bestehen, dass es genügt, eine relativ kleine Anzahl von stabilitätsbildende Elemente einer Bestockung (die sog. Gerüstbäume) zu berücksichtigen. Die kronenpflegende Eingriffe sollen also nicht flächendeckend ausfallen, sondern nur punktuell, um die Gerüstbäume zu befreien, die ohnehin vom Wesen her zu den sozial besten gehören.

In welcher Anzahl und welcher Vernetzung diese Gerüstbäume stehen müssen, ist noch nicht voll geklärt. Ihre Anzahl ist sicher kleiner als die normalerweise bei Durchforstungen angestrebte Zahl der Z-Bäume, welche nach einer möglichst vollen Raumausschöpfungs- bzw. maximalen Produktionsgedanke zu Grunde geht. Ob es nur 100 Gerüstbäume/ha braucht oder nur 80 oder sogar weniger, steht noch nicht endgültig fest. Es ist aber klar, dass Eingriffe, welche nur wenige und zwar ohnehin die bestbekronen sozial herrschende betrachtet zu wesentlich kleineren Auflösung im Kronengefüge d.h. auch zu geringeren Destabilisierungsriskien führen. Man kann sogar als Regel für solche Behandlungen festlegen dass je kritischer die Bestandeslabilität desto weniger Gerüstbäume (von der sozial besten Ende aus) auszugehen ist, zumindest bei den ersten stabilisierende Pflegeeingriffe.

### **Durchforstung und Sturmgefährdung**

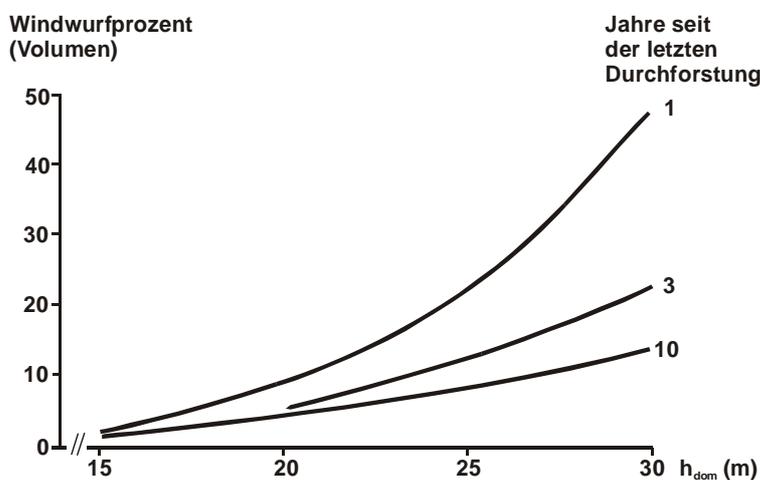
Aus waldbaulicher Sicht ist das Problem der Anfälligkeit von Beständen gegenüber Sturmschäden in erster Linie auch eine Frage der Baumartenwahl. Wohlverstanden bleiben dabei aber noch die Beeinflussungsmöglichkeiten durch die waldbauliche Behandlung.

Sturmschäden betreffen im Wesentlichen ältere Bestockungen. Ein günstiger Einfluss der bisherigen Pflege (Durchforstung) ist weniger klar auszuweisen als für Schneeschäden, weil sich das h:d mit zunehmendem Alter ständig verbessert. Darüber hinaus scheinen mässige Stürme nicht präferenziell die schlanksten Bäume zu brechen, sondern eher die mittelstarken (Richter, 1996; Peltola et al., 2000), weil die Segelwirkung der Krone offensichtlich eine gewichtigere Rolle spielt als die abholzige Stammform und weil die Bruchgefahr grösser ist bei Bäumen mit breiten Jahrringen (Seeling, 1995).

In Bezug auf Wurfempfindlichkeit ist die Anfälligkeit noch weniger eindeutig. Sie hängt wahrscheinlich von zufälligen Faktoren ab, wie dem Gesundheitszustand der für die Verankerung

relevanten mächtigen Wurzeln im Luv und von der durchforstungsabhängigen Breite der Wurzelballe. Generell sind evidenterweise die Bodeneigenschaften massgebend, namentlich die Tiefgründigkeit sowie die Kohäsion. Die physikalischen Bodenbedingungen, namentlich eine mangelhafte Bodendurchlüftung, beeinflussen die Entwicklung des Wurzelsystems. Dies hat oft zur Folge, dass sich das Wurzelsystem von Baumarten, welche auf gut erschliessbaren Böden normalerweise ein umfangreiches, genügend tiefgründiges Wurzelsystem bilden können, auf oberflächlichen bzw. nur schwierig erschliessbaren Böden auch nur oberflächlich und kümmerlich ausbildet. Dabei spielen die baumartenspezifischen Eigenschaften (z.B. die Erträglichkeit von Flachgründigkeit und Bodenvernässung) eine entscheidende Rolle.

Weil bei Sturmschäden auch ein deutlicher Zusammenhang zwischen Schadenanfälligkeit und der Zeitspanne seit der letzten Durchforstung besteht (siehe Abb. 5.27), darf der Einfluss der Durchforstung eher als prädisponierend betrachtet werden. Dies gilt für verspätete Durchforstung. Generell kann man davon ausgehen, dass frühzeitige Förderung der Stammform und Abstandsregelung durch Pflegeeingriffe in jüngeren Bestockungen positive Wirkungen auf Stammform und Wurzelballe haben.



**Abb. 5.27:** Windwurfprozent (Volumen) von Fichtenbestockungen in Abhängigkeit der Oberhöhe, und der Zeit seit der letzten Durchforstung.

(nach Persson, 1975)

Das ganze spricht eher für Durchforstungsruhe ab mittlerer Bauholzstufe, zumindest für empfindliche Baumarten (Fichte, Tanne). Viel entscheidender als die Bewegungsfreiheit der Bäume ist für die Sturmanfälligkeit die Oberflächenrauigkeit des Kronendaches, d.h. das Fehlen von Bestandeslöchern und von inneren Grenzlinien und Rändern, welche zur Bildung von Turbulenzen führen, die dann bezüglich Stabilität entscheidend wirken.

Die Probleme sind weitestgehend dann am stärksten, wenn es darum geht, die Bestände zu verjüngen. So ist eine unkontrollierte Bildung von Bestandeslöchern bei empfindlichen Baumarten zu vermeiden. Bei der Verjüngung von reinen Nadelholzbeständen besteht ein Bündel von Techniken, um diese Probleme zu meistern (siehe Skript Waldbau II). Im Wesentlichen geht es darum, Frontrichtung und -form zu kontrollieren. Die Förderung der individuellen Stabilität der Bäume mit Durchforstungen sowie die Schaffung von gemischten Beständen tragen dazu bei, den späteren Handlungsspielraum im Zeitpunkt der Verjüngung zu erhöhen.

### 5.3 OPTIMIERUNG DER STANDRAUMAUSNÜTZUNG

Bei der Dickungspflege hat man dafür gesorgt, dass eine genügend hohe Anzahl an **Kandidaten** zur Verfügung steht, d.h. eine genügende Auslesebasis vorhanden ist. Irgendwann erfolgt die Auslese aus der Menge der Kandidaten, nämlich denjenigen Individuen, welche sich zum einen als die besten erweisen und welche sich zum anderen gleichzeitig auch in einer günstigen Verteilung befinden, um dadurch eine möglichst gute Ausnützung des zur Verfügung stehenden Raumes zu erreichen. Dabei erfolgt diese Auswahl nicht nur aus der Sicht der momentanen Situation, sondern vor allem in Funktion der angestrebten bzw. zu erreichenden waldbaulichen Ziele.

Das grosse auftauchende Problem bei der Auslese ist die Frage, welche Anzahl Bäume zur weiteren Begünstigung auszusuchen ist. Dies hängt stark von den Platz- bzw. Raumbedürfnissen der einzelnen Bäume ab. Ab dem Zeitpunkt, wo die Zukunftsbäume ausgesucht und begünstigt werden, führt jeder Verlust eines Z-Baumes zu Produktionsverlusten. Wie es Delvaux (1977) richtig formuliert hat, stellt die Bezeichnung und Förderung der Zukunftsbäume eine wichtige Entscheidung dar, welche mit einem gewissen Risiko behaftet ist, das Risiko des Ausfallens oder zumindest Nichtmehrtaugens der Ausleseebäume. Die Wichtigkeit dieser Entscheidung ist insbesondere von Bedeutung, wenn es sich bei den Zukunftsbäumen um diejenigen Individuen handelt, welche endgültig dazu bestimmt sind. Man muss sich bei einer sehr frühen Auswahl der Z-Bäume zu Recht fragen, wie hoch dieses Risiko ist.

In der Praxis kann man diesem Risiko mit folgenden Massnahmen entgegenwirken:

- Auswahl von mehr Bäumen als schlussendlich notwendig. Die Überzahl oder **Reservisten** verschwinden im Laufe der Entwicklung, spätestens wenn die Kronenstaturen dazu führen, dass sie sich untereinander konkurrenzieren. Bei dieser Frage ist das Problem der Gesetzmässigkeiten der geometrischen Verteilung der Bäume und ihrer Veränderung infolge ihrer zunehmenden Raumansprüche zu kennen (sog. Standraumausnutzungsgeometrie). Reservisten auszuschneiden mit sehr hoher Arbeitsaufwendung, die beim nächsten Eingriff (oder übernächsten) ausscheiden müssen aus Gründen der Standraumregulierung, scheint nicht sehr effizient zu sein.
- Es findet ein **Ersatz** nicht mehr taugender Ausleseebäume statt, indem da, (d.h. in der Zelle) wo ein Auslesebaum nicht mehr taugt oder ausgefallen ist ein Ersatzbaum ausgesucht und entsprechend gefördert wird.
- Man nimmt den Ausfall oder das Nichtmehrtaugen, was unter Umständen anders ist, in Kauf. Für eine solche Lösung ist die Frage der Anzahl ausscheidenden Ausleseebäume und der Gründe dafür entscheidend.

#### 5.3.1 Die Risiken des Ausfalles bzw. des Ausscheidens (Nichtmehrtaugen) von Ausleseebäumen

Die wichtigsten Gründe für den Ausfall von Ausleseebäumen sind:

- der Verlust der sozialen Stellung (sozialer Abstieg)
- plötzlicher, unvorhergesehener Ausfall (fatale Schäden) oder Beschädigung
- falsche Beurteilung der Tauglichkeit als Auslesebaum, ev. Veränderung der Ansprüche (Marktwertveränderungen)

Darüber hinaus stellt sich das Problem der längerfristigen Folgen von Nutzungsschäden, z.B. durch Infektion und Fortschreiten von Holzfäulen. Diese Frage wird im nächsten Abschnitt behandelt.

Es gibt nur einige wenige, wirklich langandauernde Versuche mit dauerhaft markierten Bäumen, die uns eine zuverlässige Auskunft über die Ausfallrate und damit das Ausfallrisiko von Elitebäumen geben können. Darüber hinaus ist der Begriff Ausfall nicht immer gleich gewertet. Insbesondere wird zwischen effektivem Ausfall (Absterben) und nicht mehr (voll oder nur ganz) taugen nicht immer sauber getrennt. Das macht die folgenden Ergebnisse schwierig zu interpretieren.

Im berühmten Buchen-Durchforstungsversuch von Totterup in Dänemark gibt Bryndum (1980) die in Tabelle 5.28 präsentierten Angaben.

**Tabelle 5.28:** Überlebens- bzw. Ausfallraten an Ausleseebäumen. Die Anteile beziehen sich auf die ursprünglich, d.h. zu Beginn des Stangenholzes bei einem Bestandesalter von 19 Jahren ausgewählten Elitebäume.

Durchforstungsversuch in Buchenbeständen bei Totterup, Dänemark (nach Bryndum, 1980)

Durchforstungsvarianten		Im Alter 38 noch bleibende Seit der Auswahl im Alter 19		Qualitative Ausfälle
Dfg.- Art	Dfg.-Stärke %	noch vorhanden %	Als Ausleseebäume noch tauglich %	%
A	100	95	40	58
B	77	88	42	52
C	50	75	52	31
D	36	54	54	0
E	26	30	30	0
F	16	22	21	5

NB: Die Durchforstungsstärke bezieht sich auf die relative mittlere Grundfläche des nach den Eingriffen jeweils verbleibenden Bestandes. Die Beschreibung der Durchforstungsarten ist in der Tabelle 5.11 ersichtlich.

Unter den qualitativen Ausfällen versteht man diejenigen, die sich am Ende des Beobachtungszeitraumes (d.h. im Alter 38) zwar noch immer im Bestand befinden, deren soziale Stellung oder deren Qualität aber nicht mehr dem entsprechen, was man von einem Elitebaum erwarten müsste. Die %-Zahl beschreibt demnach den Anteil der (bis zum Alter 38) unbrauchbar gewordenen, aber noch vorhandenen ehemaligen Ausleseebäume in % sämtlicher im Alter 38 noch vorhandenen ehemaligen Ausleseebäume.

Die Anzahl der zu Beginn des Stangenholzes ausgewählten Ausleseebäume war in diesem Versuch allerdings relativ hoch (430 bis 730 Bäume pro Hektare); wodurch sich dieser Versuch etwas vom eigentlichen Konzept der Zukunftsbaum-Methode unterscheidet. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Merkel (1976, 1978) bzw. Spellmann und Diest (1990).

Wenn allerdings (zu)viele Ausleseebäume früh ausgewählt werden (mehr als die Endstammzahlen), dürften Ausfälle im Wesentlichen wegen der mit dem Alter zunehmenden Konkurrenzierung der Ausleseebäume unter sich zustande kommen. Interessiert man sich wie

heute für die 100 bis 250 vitalsten Bäume, stellt sich das Problem des Ausscheidens schon etwas anders, indem stark herrschende Bäume weniger vom sozialen Abstieg bedroht sind als knapp Herrschende. Uns interessieren heute im Sinne von situativen Eingriffen die realen Ausfälle (infolge Bruch, Verletzung, Befall durch Nagetiere oder Krankheit). Nach Pardé (1979) entsteht das Ausscheiden meistens wegen sozialem Abstieg und nicht wegen Qualitätsverlust. Klädtke (1997) schätzt z.B. das reelle Risiko des Nichtmehrtaugens in Buchenbeständen auf einen Zeitraum von 25 Jahren auf nur 4 bis 6 % ; und die meisten Ausfälle erfolgen infolge Verlustes der sozialen Stellung.

### 5.3.2 Raumausnutzungsgeometrie

Mit diesem Begriff verstehen wir die Gesetzmässigkeit räumlicher Anordnung und Verteilung der Bäume in Bestockungen. Weil die Baumlage nicht verändert werden kann, interessiert uns auch Verteilungsänderungen in Zusammenhang mit sukzessivem Ausfallen der Bäume mit zunehmendem Alter.

Ein Ziel der waldbauliche Behandlung kann sein, dass die Ausleseebäume, und damit die Hauptwertträger, im Endbestand so verteilt sein sollen, dass möglichst wenig Platz, und damit Produktionsfläche, unausgenützt bleibt. Um dies zu erreichen, muss man wissen, wie das Grundverteilungsmuster der Bäume ist und nach welcher Gesetzmässigkeit es sich bei Abnahme der Stammzahl verändert.

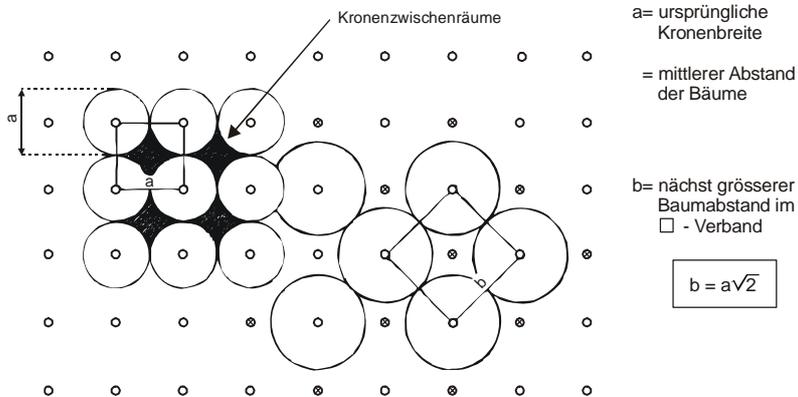
#### **Die Grundmuster der Baumverteilung (Dreieck- oder Rechteckverteilung)**

Ob die Verteilung der Bäume in einer Bestockung in Wirklichkeit nach Zufälligkeitsregeln oder nach bestimmten Grundmustern erfolgt, ist nicht nur akademisch interessant, sondern hat Konsequenzen auf die Veränderung der Verteilung mit abnehmender Stammzahlen (sog. Erweiterungsschritte).

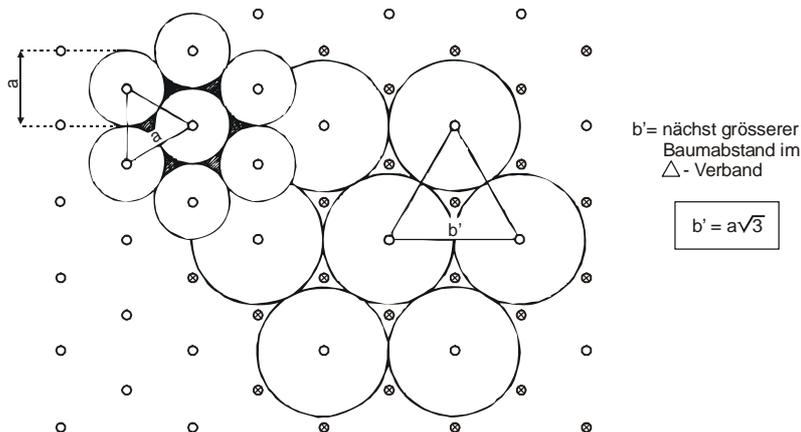
Um dieses Problem zu beleuchten, soll aufgrund von zwei Verteilungsgrundmustern ausgegangen werden, nämlich der quadratischen und dreieckigen Verteilung (siehe Abb. 5.29). Sind die Bäume in gleichseitiger Dreiecksverteilung, ergibt sich eine bessere Ausnützung des Raumes, um 15 % höher als jene einer quadratischen Verteilung. Im Falle einer Verteilung in gleichseitigen Dreiecken hat der Raumausnutzungsfaktor  $f$  einen Wert von 1,155 (berechnet aus  $2 / \sqrt{3}$ ), im Vergleich zu  $f = 1,0$  bei einer quadratischen Verteilung. In diesem Fall haben theoretisch alle Bäume sechs direkte Nachbarn, und damit auch sechs Kronen, die sie berühren. Bei der quadratischen Verteilung hingegen ist ein Baum theoretisch nur von vier direkten Nachbarn umgeben.

Auch wenn in Wirklichkeit das Verteilungsmuster nicht so evident der einte oder andere Grundmuster zugeordnet werden kann, weil die Distanzen zwischen Bäumen nie so regelmässig sind, wie oben angenommen, lässt sich das natürliche Muster an der Anzahl der Kronenkontakte bzw. Konkurrenten nachweisen. In einer Vorstudie über die Anzahl der Nachbarn und den Faktor der Raumausnutzung, welche in einigen Fichtenbeständen des Lehr- und Forschungswaldes der ETH ausgeführt wurde, zeigt sich, dass die Bäume in Wirklichkeit zwar nicht genau nach dem idealen Netz der gleichseitigen Dreiecke verteilt sind, dass aber diese Verteilung nahe kommt. So stehen diese Bäume durchschnittlich mit 5,4 direkten Nachbarn in Kontakt und weisen einen durchschnittlichen Raumausnutzungskoeffizient von 1,05 auf (Schütz, 1987).

## a) Quadratische Verteilung



## b) Verteilung im gleichseitigen Dreieck-Verband



**Abb 5.29:** Die zwei Grundverteilungsmuster der Bäume: in Rechteck- oder Dreieckmuster und ihre Veränderung bei Veränderung der Baumzahlen

Es ist auch einigermaßen einleuchtend, dass sich im Kampf um das Licht und den Raum die ideale Verteilung ganz natürlich einstellt. Diese hexagonale Verteilung entspricht im übrigen einem natürlichen Verteilungsmuster, da die Sechsecke in der Natur als eine fundamentale Form bezeichnet werden können. Man denke dabei etwa an das Beispiel der Bienenwaben. Die ungünstigere und instabilere Verteilung in Quadraten bewirkt in gewissem Sinne auch eine Verschwendung des verfügbaren Raumes (nach Coulon, 1988). Somit kann man davon ausgehen, dass die Bäume in Wirklichkeit naturgegeben das Verteilungsmuster in Dreiecken suchen als das bezüglich Raumausnutzungseffizienz weniger günstige Viereckmuster.

### Die schrittweise Erhöhung der Abstände zwischen den Bäumen

Werden nun in einem Bestand Bäume entnommen, so verändern sich die Abstände zwischen den verbleibenden Bäumen nicht kontinuierlich, sondern schrittweise. Dabei findet aber nicht einfach ein Wechsel von irgendeinem beliebigen Abstand zu irgendeinem anderen zufälligen Abstand statt.

Wenn man von einer vollkommen gleichmässigen Verteilung der Bäume in der sogenannten Hexagonale ausgeht, so hat die Entnahme der benachbarten Bäume eines Referenzbaumes (Auslesebaumes) eine ganz bestimmte Vergrößerung des Baumabstandes zur Folge. Je nach-

dem, welche Nachbarn man entfernt, vergrössert sich der Baumabstand um den Faktor  $\sqrt{3}$ , 2,  $\sqrt{7}$  oder 3 usw. (Schütz, 1987). Von all diesen Abstandsvergrößerungsfaktoren ist aber nur der Faktor  $\sqrt{3}$  (= 1,73) wirklich von praktischer Bedeutung, da es sich dabei um den kleinsten Faktor handelt, der erneut zu einer regelmässigen Verteilung in der erwähnten Dreieckanordnung führt. Dies erfolgt durch eine gleichmässige Entnahme von  $2/3$  aller Bäume (siehe Abb. 5.29 unten). Dies bedeutet, dass zwischen dem Endabstand und dem vorletzten Abstand eine Erhöhung um den Faktor von ca. 1,7 stattfindet.

Im Falle einer quadratischen Verteilung der Bäume hat der kleinste Abstandvergrößerungsfaktor, der wiederum eine quadratische Verteilung der verbleibenden Bäume zur Folge hat, den Wert von  $\sqrt{2}$  (= 1,41); wobei 50 % der bestehenden Bäume entfernt werden (siehe Abb. 5.29 oben).

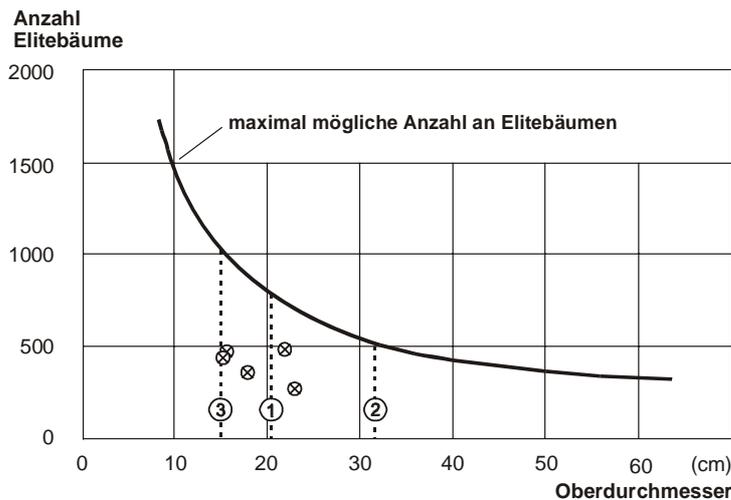
In Wirklichkeit sind aber erstens die Bäume nicht so regelmässig geometrisch verteilt, und zweitens befinden sich auch die Kronen nicht alle auf genau derselben Höhe. Darüber hinaus muss hier nochmals betont werden, dass die Einhaltung genauer Abstände eine wesentlich geringere Bedeutung haben kann als die bezüglich Qualitätseigenschaften richtige Wahl der Ausleseebäume, auch wenn ihre Abstände ungünstig bezüglich Raumausnutzung sind. Die Abstandsfrage kann nur als Indikator und Richtgrösse über das ganze Kollektiv gelten und nicht für die Einzelwahl.

Weil sich in der Praxis die Forstleute zu oft und zu einseitig an der Regel des Abstands orientieren lassen, sind Fehlentscheidungen bezüglich Qualität der gewählten Bäume hier und da erheblich. Aus dieser Gefahr hat sich die Idee der sog. **Gruppendurchforstung** von Busse (1935) entwickelt, welche die Abstandsfrage total verwirft. Eine zu extreme Ausrichtung dieser Eingriffsform, wie sie ab und zu auch vorkommt in der irrigen Auffassung, dass die Konkurrenz der Gruppe förderlich ist, muss entschieden verworfen werden. Auch Schober (1987) hat sich kritisch zur Überbewertung der Abstandsgeometrie geäussert. Nach Pardé (1981) steht die manische Betrachtung der Aequidistanz sogar in Widerspruch zum Prinzip der Auslese ("la manie de l'équidistance est une des négations des principes de l'éclaircie sélective").

Immerhin können sich zu nahe stehende Ausleseebäume bis zur Hiebsreife nicht nur durch hohe Konkurrenz in ihren Kronen stören, sondern asymmetrische Kronen können auch negative Auswirkungen haben auf die technologischen Holzeigenschaften: exzentrischer Wuchs, Buchholz usw. Aus dieser Sicht betrachtet und abgeleitet von Beobachtungen in Eichenurwäldern der Slowakei kommt Korpel (1974, 1975) zum Vorschlag, die **Mindestdistanz von 4 m** bei der Wahl der Ausleseebäume nicht zu unterschreiten. Ansonst sollten bei dieser Wahl die qualitativen Eigenschaften entscheidend sein.

Die Schlussfolgerung für die Praxis der Durchforstung ist, dass wenn man ausgehend von einem Baumkollektiv Bäume eliminiert, die Abstände zwischen den übrigbleibenden nicht stetig zunehmen, sondern diskret nach einem Schritt in etwa des Faktors  $\sqrt{3}$ . Zwischen Bäumen in Endabstand und im vorletzten Abstand besteht das Verhältnis 1 : 1,71 bezüglich Distanzen und 1:3 bezüglich Anzahl.

Eine andere Schlussfolgerung ist, dass wenn man mit Reservisten arbeitet (in der idealen Verteilung sind sie in dreifach mehr Anzahl als die Endbäume, zweimal bei einer Rechteckverteilung) sie beginnen ab einem Oberdurchmesser ( $D_o$ ) von 20 bis 30 (also ab Stangenholzalter) sich gegenseitig zu konkurrenzieren, wie Abb. 5.30 für Fichtenbestockungen zeigt.



**Abb. 5.30:** Maximal mögliche Anzahl Ausleseebäume im Laufe der Bestandesentwicklung entsp. ihren Kronenausdehnungsansprüchen. Vorausgesetzt, dass sie sich nicht konkurrenzieren.

(nach Schütz, 1987)

- ⊗ Anzahl der in den Übungsflächen der ETH bezeichneten (d.h. tatsächlich vorhandenen) Elitebäume
- ① Schritt vom vorletzten zum letzten Abstand bei optimaler (Dreiecks-) Verteilung
- ② Schritt vom vorletzten zum letzten Abstand bei quadratischer Verteilung
- ③ Elitebäume im halben Endabstand

## 5.4 PERVERSE WIRKUNGEN DER EINGRIFFE

Neben der Problematik der Veränderungen der sozialen Hierarchie ist es empfehlenswert, sich auch mit den Ausfallrisiken infolge von Beschädigungen, und dabei namentlich infolge von Verletzungen, die durch die Holzernte verursacht werden, zu beschäftigen. Es ist in der Tat völlig kontraproduktiv, wenn als Folge der Bestrebungen zur Regulierung der Standräume durch Baumentnahmen die Konsequenzen der Nutzungen zu derartigen Verlusten führen, dass sie den erwünschten Wertschöpfungseffekt zunichte machen. Dies kann der Fall sein mit den sog. Kernfäulen, die insbesondere bei Fichtenbeständen grosse Holzqualitätsverluste verursachen. In diesem Sinne ist der Ausdruck von perversen Wirkungen richtig.

### Die Bedeutung der Holzernteschäden

Das Risiko, dass durch die Fällung der Aushiebsbäume und deren Transport im Bestand Fäll- und Rückeschäden am verbleibenden Bestand und am Boden entstehen, ist als Schwachpunkt der Durchforstung anzusehen. Diese Gefahren nehmen mit zunehmenden Alter deutlich zu. Gleichfalls nimmt auch die Grösse der Schäden und Verletzungen mit zunehmender Grösse und Sperrigkeit der geernteten Bäume zu. Die Folgen der Schäden, welche bei einem Eingriff entstanden sind, können den biologischen Nutzen eines Eingriffs vollständig zunichte machen. Dies gilt besonders, wenn die entstehenden Verletzungen von Holzfäulen befallen werden. Damit kann der Effekt eines Eingriffes langfristig betrachtet sogar negativ ausfallen.

Die Holzernte ist heute zunehmend hochmechanisiert, und die Bringung des Holzes erfolgt durch immer kräftigere, leistungsfähigere und schwerere Maschinen. Während die leichten Rückemittel den verbleibenden Bestand einigermassen geschont haben, werden insbesondere im Fall, wo die Stämme am Boden ausgezogen werden (sog. Seilzug) die nach einem Holz-

schlag zurückbleibenden Verletzungen immer grösser und zahlreicher weil die blinde Kraft der Maschine das Fingerspitzengefühl und den gesunden Menschenverstand ersetzt. Allerdings führt die heutige Weiterentwicklung der Erntetechnik in Richtung der Vollerntemaschinen zur einer Verbesserung des Problems der Verwundungen am Stammkörper, weil die Hölzer nicht mehr am Boden geschleppt werden sondern von Kranen gefasst und wegtransportiert werden auf Räder- oder Raupengestell. Der Einsatz vom Vollernter bringt aber andere Probleme mit sich, in Zusammenhang mit dem dazu notwendigen Arbeitsgassensystem.

Die Konsequenzen solcher Fragen für Nutzungskonzepte werden im Abschnitt 6.5.4 behandelt.

---

## 6. PRODUKTIONSKONZEPTE

---

Es gibt kein ein für allemal und in allen Situationen einzig gültiges Produktionskonzept, sondern eine ganze Reihe von möglichen Varianten je nach den Nutzungszielen, den sozioökonomischen Randbedingungen, den betrieblichen Möglichkeiten und weiteren Gesichtspunkten.

### 6.1 RANDBEDINGUNGEN UND SPIELRAUM FÜR DIE PFLEGEKONZEPTE

#### 6.1.1 Erziehung in Waldkollektiven mit klarer Ablösung der Generationen

Es ist nicht überflüssig, an die übergeordneten Prinzipien zu erinnern, welche im Umfeld für die Auslegung der Pflegekonzepte zu berücksichtigen sind :

- Prinzipien der Naturnähe
- adäquate Baumarten und richtige Mischungen
- Adaptabilitätsprinzip
- Multifunktionalität

Die weiteren bestimmenden Faktoren lassen sich vorzugsweise für das waldbaulich anspruchsvollste Lösungsmodell ableiten, nämlich dasjenige der grösstmöglichen Wirkung von der Pflege aus (d.h. für die sinnvolle Wertschöpfung), weil es auch bezüglich Abstimmung der einzusetzenden Pflegeeffekte am schwierigsten ist, die aufeinander aufgebauten Massnahmen optimal zu gestalten.

Das heisst nicht, dass dieser Produktionsansatz überall bzw. auf alle Bäume der Bestockungen zu verfolgen ist. Im Gegenteil sollen im Sinne der heute anzustrebenden kombinierten **polyvalenten und situativen Nutzungssysteme** nur diejenigen Elemente mit effektivem Wertschöpfungspotential (in zahlenmässig minderem Anteil) einer Bestockung damit betroffen sein. Für die zwischendurch Verbleibenden und je nach der Anzahl der Wertträger können in unterschiedlichem Mass wesentlich einfachere bis sehr extensive Nutzungsprinzipien gelten. Hohe Wertschöpfung lässt sich nämlich mit Stabilität bis hin zur Massenproduktion sinnvollerweise verbinden, wenn die richtigen Kompromisse zwischen qualitätsbildenden Faktoren und denjenigen der physikalischen und ökologischen Stabilität zielkonform verwirklicht sind.

Darüber hinaus lassen sich heute die Pflegekonzepte in einem doppelt variablen Umfeld gestalten, in Bezug auf:

- die Wirkungsform, zwischen **biologisch optimalen** Lösungen und kosteneffizienten (d.h. in Rücksicht auf die im Prozess investierten Mittel),
- den Hemerobiegrad (oder Grad des menschlichen Zutuns), zwischen **deterministisch** orientierter Zielerreichung (d.h. im vornherein formulierte Ziele haben Vorrang) oder bezüglich Naturabläufe **opportune** Zielerreichung (die Nachahmung der Natur hat Vorrang; es wird nur lenkend eingegriffen).

Teilweise konvergieren diese zwei Ansätze in der gleichen Richtung, indem die kosteneffizienten Nutzungslösungen oftmals auf der Basis der biologischen Rationalisierungen fundieren mit ihren zwei Prinzipien: Konzentration und Naturautomation. Darüber hinaus spielt das Reaktionsmuster der Baumarten (zumindest Baumartengruppen) sowie die standörtliche Voraussetzung eine massgebende Rolle, so dass die Pflegekonzepte nach Gruppen unterschiedlich ausfallen. Für die Waldpflege, zumindest während der Phase intensiver Erziehung und Auslese (Dickung und Stangenholz) lassen sich für unsere Verhältnisse die drei folgenden Baumartengruppen mit ähnlichem Reaktionsmuster berücksichtigen:

- Gruppe der Baumarten mit monopodischer Schaffform und gleichzeitig totasterhalter (Konifere, Kirschbaum)
- Gruppe der Baumarten mit monopodischer Schaffform und hohem Risiko von traumatisch bedingter Verzweiselung (etwa Esche, ev. Ahorn)
- Gruppe der sympodisch neigenden Baumarten mit physiologischem Verzweiselungsrisiko (Linde, Buche, Eiche, Ulme)

Moderne Waldpflege muss also zum Teil sehr differenziert ausgestaltet werden. Sie setzt bezüglich Qualifikation des Pflegepersonals sowie Organisation und Kontrolle recht hohe Anforderungen voraus.

Allgemeines Ziel der Waldpflege ist es, die Eingriffe zum richtigen Zeitpunkt vorzusehen, d.h. wenn die **Wirkung** und auch die **Kosten** gesamthaft am günstigsten sind. Dabei ist bei den Steuerungsmassnahmen durch Stammzahlentnahmen abzuwägen zwischen dem, was notwendig ist zur optimalen Entwicklung, zu eliminieren und was notwendig ist, zu lassen, um günstige erzieherische Effekte zu erreichen.

### 6.1.2 Andere pflegerische Grundformen

Hier darf auch wiederholt daran erinnert werden, dass es nebst der weitestgehend dominierenden Erziehungsform in Wäldern mit klarer Ablösung der Generationen und der Erziehung im Kollektiv gleicher Artgenossen, grundsätzliche andere Formen gibt, namentlich:

- Die Erziehung durch Schatten, wie sie z.B. im Falle der Grundform der Plenterung vorkommt
- Die Erziehung durch Benützung günstiger Auswirkung von kooperativ wirkenden Baumartenmischungen.

### Die Plenterung als alternatives Prinzip für eine Qualitätsholzproduktion

Gegenüber der Form der Sylvigenese von flächig verjüngten Bestockungen mit kollektiver Entwicklung steht ein anderer Typ, nämlich der spontanen Vereinzelung bzw. Verselbständigung der Produktion wie im Falle des **Plenterwaldes**. Er kann die qualitativen Produktionsziele genauso gut erreichen. Das Produktionsprinzip der Plenterung beruht auf einer individuellen Erziehung, im Rahmen einer aus aller Alter und Dimension zusammengesetzten Bestockung. Es gilt im wesentlichen für die schattenertragenden Nadelbäume, welche eine hohe Fähigkeit haben, ihre axiale Dominanz am Schatten zu erhalten und somit Stämme mit einer durchgehenden, geraden Achse bilden, ohne dazu die Mithilfe einer unmittelbaren Umhüllung durch die Nachbarbäume zu benötigen. Die Erziehung im Halbschatten löst das Problem der Astigkeit des bodennahen Stammstückes. Unter diesen Bedingungen des schwachen Lichteinfalls entwickelt sich bei den jungen Bäumen ein feines Astwerk. Andererseits werden die Wachstumsbedingungen durch die fortschreitende Lichtzunahme mit zunehmender sozialen Position bestimmt. Der Lichtfaktor gilt als wichtigster

Steuerungsfaktor bei der Plenterung (Schütz, 1985, 1997) im Gegensatz zu seitlichen Konkurrenzverhältnissen im Fall der Kollektiverziehung. Dies gewährt den Bäumen aus dem Plenterwald sehr regelmässiges und lang anhaltendes Dickenwachstum und erlaubt, ohne Schwierigkeiten überdurchschnittliche Dimensionen zu erreichen.

Die besondere Form wird im Skript „Die Plenterung und unterschiedliche Formen strukturierter Wälder“ behandelt. Stoff der Vorlesung Waldbau II (5. Sem).

### **Günstige Mischungen als Erziehung**

Es lassen sich Pflegekonzepte überlegen, bei welchen die Befreiung der ausgewählten Wertholzträger ohne physische Eliminierung ihrer Konkurrenten erfolgt, etwa durch Nutzung der Differenzierungskraft von geeigneten Baumartenmischungen mit kooperativ wirkenden Baumarten (etwa Birke, Aspe, Vogelbeere), weil sie die Wettbewerbsverhältnisse im Kronenraum aber auch im Wurzelbereich in Richtung einer günstigen Verträglichkeit bzw. Ergänzung verändern (Schütz, 1998).

Wir haben schon im Abschnitt 4.1.1 die Bedeutung der Mischungen im Hinblick auf übergeordnete Ziele ethisch-ästhetischer Natur bzw. im Hinblick auf das Adaptationsprinzip und der Risikenverteilung hervorgehoben. Die Konsequenzen bezüglich Bestockungsgestaltung, nämlich die Ausschaffung von verträglichen Mischungsformen wurden auch dargestellt. In diesem Abschnitt wird die waldbauliche Bedeutung der Mischung zur zielkonformen Steuerung der Waldentwicklung besprochen. Es geht um die Frage, ob Mischungen zu ungünstigen Störungen der Entwicklung oder umgekehrt zur Förderung der Strukturierung, der Stabilität sowie der Wertleistung. Es lässt sich sogar hinterfragen, ob Mischungen zum Instrumentarium naturopportuner Entwicklung gezählt werden können.

Lange Zeit hat man bezüglich Mischungsziele bei der Bestandesbegründung bzw. bei der Gestaltung der Naturverjüngungen den Weg der **Homogenisierung**, d.h. der Gruppierung der Baumarten in monospezifische Kollektive unterschiedlicher Ausdehnung verfolgt. Dies war primär mit den unterschiedlichen Wuchsgängen und der Unverträglichkeiten der Baumarten begründet. Es waren auch schlicht Gründe der Vereinfachung der Waldarbeit im Vordergrund solcher Einstellungen. Mittlerweile zeigen Erkenntnisse der Versuche mit Mischungen, dass im grossen und ganzen positive Wirkungen aus den Mischungen resultieren, auch wenn die Mischung in feiner Form vorkommt. Weil zwischen den Baumarten grosse Unterschiede in ihrer Wirkung aufeinander bestehen, gilt es mit dieser Frage der Mischungen auch sehr differenziert umzugehen. Allerdings deuten gewisse Untersuchungen darauf hin, dass die Mischung nicht immer günstig auf die Stammqualität wirkt. So zeigen Lüpke und Spellmann (1997, 1999) im Falle der Mischung Fichte/Buche, dass beide Baumarten in Mischung grobstämmiger werden als in reiner Form.

Wenn es eine Waldform gibt, bei der die Baumartenmischung und vor allem die Mischung mit Laubbäumen vollständig dokumentiert zu sein scheint, so ist es der Mittelwald. Mathey (1929) ist einer derjenigen, die schon vor langer Zeit beobachtet haben, dass bestimmte Baumarten, insbesondere die Buche, sich ungünstig auf die Hauschicht und die Lössreitel auswirken. Unter einem Buchenschirm findet kaum noch eine Ansamung statt. Er vertrat deshalb die Meinung, dass die Buche nicht begünstigt, sondern im Gegenteil entfernt werden müsse. Andere Baumarten dagegen (z.B. Birke) fügen sich harmonisch in das Zusammenleben ein. Die Gründe für das unduldsame Wachstum der Buche, das alles in Beschlag nimmt und andere Baumarten ausschliesst, sind in der dichten Krone und der intensiven Durchwurzelung des Bodens mit Feinwurzeln zu suchen. Diese Aussage wird durch zahlreiche nachfolgende Beobachtungen untermauert, so z.B. durch die Arbeiten von Kreutzer (1961) und Fölster et al. (1991). Letztere stellen fest, dass die Feinwurzelintensität der Buche doppelt so hoch ist wie die der Fichte.

Die nachfolgende Reihung der relativen Konkurrenz der wichtigsten Laubbäume (Tab. 6.1) basiert auf den obgenannten Arbeiten. Berücksichtigt wurden die vorhandenen Kenntnisse über die Dichte der Durchwurzelung, die Fähigkeit zur Kronenausdehnung, die Kronendichte und Beobachtungen über die Wirkungen auf benachbarte Bäume.

**Tabelle 6.1:** Relative Konkurrenz von Laubbaumarten auf der Basis von Erfahrungen im Mittelwald

Grad der Konkurrenz		Baumart	Bemerkungen
Bereich der Konkurrenz	hoch	Buche	Oberflächlich dichtes Wurzelwerk (Mathey, Kreutzer); schwächt die Hauschicht (Perrin) und verhindert die Verjüngung der Eiche
		Hagebuche	Tiefreichendes aber überwiegend nur oberflächennah dichtes Wurzelwerk (Kreutzer); breitet sich übermässig stark aus (Perrin) nimmt relativ viel Raum ein (Mathey); konkurrenziert die Eiche (Perrin)
		Linde	dichtbelaubt (Perrin) und nur mittelmässig tiefgreifendes Wurzelwerk
Neutral- oder Kommensalbereich		Bergahorn	dichtbelaubt (Perrin); tiefgehendes Wurzelwerk
		Edelkastanie	erträgt Konkurrenz nur schlecht (Perrin), da flachstreichendes Wurzelwerk;
		Esche	empfindlich gegenüber unterirdischer Konkurrenz
		Waldkirsche	Wurzelwerk geht nur mittelmässig tief (Kreutzer); bildet Wurzelausschläge
Bereich der Kooperation		Grauerle	Tiefgehendes Wurzelwerk
		Eiche, Ulme	sehr tiefgehendes Wurzelwerk (Kreutzer), insbesondere auf Pseudogley-Böden
		Schwarzerle	übt trotz ziemlich dichtem Wurzelwerk
		Birke	(Kreutzer) einen günstigen Einfluss auf benachbarte Bäume aus (Perrin, Mathey, Leder)
		Aspe	tiefgehendes und lockeres Wurzelwerk (Mathey), begrenzt auf die unmittelbare Stammumgebung (Kreutzer)
	niedrig	Vogelbeerbaum	flachstreichendes Wurzelwerk (Kreutzer), Krone lässt viel Strahlung durch (Leder)

Die Konkurrenz wurde in Abhängigkeit von der Dichte des Feinwurzelsystems, von der Fähigkeit zur Kronenausdehnung und der Lichtdurchlässigkeit der Kronen gutachtlich eingestuft. Die Reaktion der Bäume auf eine Beschattung wurde bei dieser Schätzung nur am Rande berücksichtigt, weil dieser Faktor bei den geringen Vorräten im Mittelwald keine entscheidende Rolle spielt.

(nach: Mathey (1929), Perrin (1954), Kreutzer (1961), Leder (1992))

Bei der Bestandesbegründung ist die günstige Wirkung von Baumarten mit guter Kronendurchlässigkeit in Vorbaustellung zur Unterstützung des Ansamungsvorganges bzw. der juvenilen Entwicklung bekannt. Solche als **Vorbau**-Technik bezeichnete Verfahren verwendet sog. assoziative Baumarten oder **Treibholzarten**, wie Birke, Aspe, Vogelbeer. Viel weniger bekannt ist die Wirkung der Mischungen in der Erziehungsphase, bezüglich z.B. Strukturierung, Stabilität und sogar Förderung des Produktionsprozesses.

Alle bisherigen Feststellungen zeigen, dass Fragen zu Baumartenmischungen nicht monokausal beantwortet werden können. Zahlreiche Faktoren, wichtige und weniger wichtige, müssen berücksichtigt werden. Die vielschichtigen Interaktionen von Phänomenen und Wirkungen, welche im komplexen System der Mischung bestehen, werden im Skript Waldbau III behandelt.

### **Mischung und Stabilität**

Von der oft vorkommenden Einzelmischung aus Buche und Fichte - für mitteleuropäische Verhältnisse durchaus repräsentativ - ist bekannt, dass vor allem die Fichte profitiert: Sie leistet in dieser Mischung 15 % mehr als im Reinbestand (Kennel 1965). Die Mischung begünstigt aber nicht nur den Zuwachs, sondern auch die Kronenausbildung, wodurch wiederum die Stabilität verbessert wird (Dresche, 1965). Zu beachten ist jedoch, dass diese Vorteile zu Lasten der Buche gehen, die unter der Nachbarschaft der Fichte Einbussen erleidet. Hingegen kommen Lüpke und Spellmann (1997) bei der Analyse der Windschäden des Frühjahr 1990 (Stürme Vivian und Wiebke) in Norddeutschland zu einem anderen Ergebnis bezüglich Stabilität. Sie weisen aus, dass die höher wachsende Fichte in Mischung mit Buche entsprechend grössere Angriffsfläche für die Windstürme aufweisen was die Risiken der Sturmschäden erhöht.

### **Operationelles Umgehen mit Mischungen**

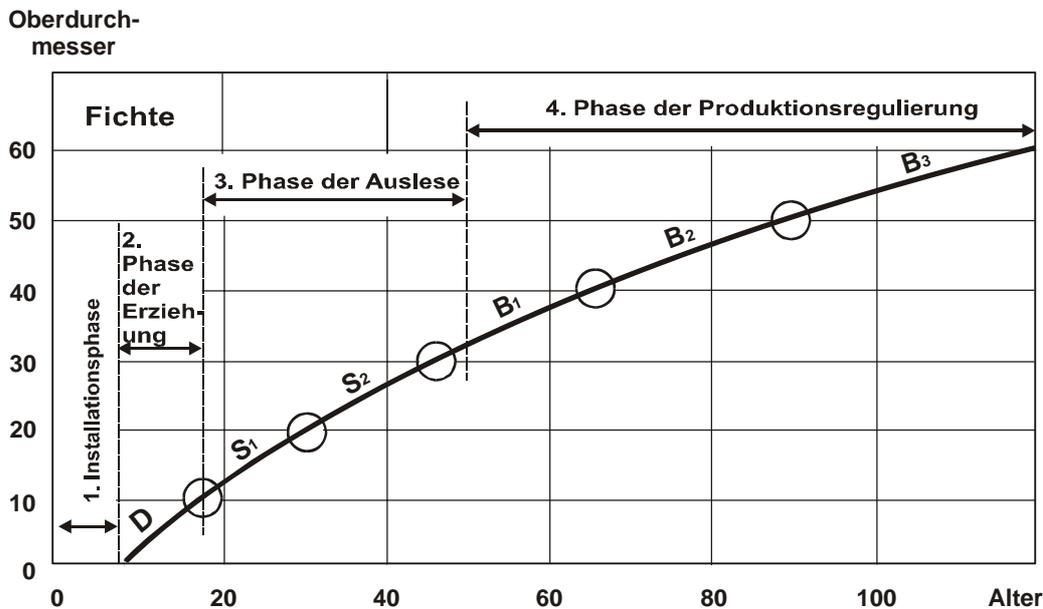
Bei der Durchforstung in Mischbeständen ist das Mischungsziel festzulegen. Dabei gibt es bei der Festlegung der Rangordnung der Baumarten verschiedene Möglichkeiten. So kann die gewünschte Baumartenzusammensetzung zum Beispiel primär in Abhängigkeit qualitativer bzw. wirtschaftlicher Kriterien erfolgen. Es kann aber auch erstrangig auf die Entwicklungstendenzen der Mischung geachtet werden, was z.B. eine gezielte Förderung der wenig wettbewerbsfähigen Baumarten zur Folge haben kann. Ferner ist es möglich, aus der Sicht der Biodiversität im generellen, oder des Artenschutzes im speziellen, eine möglichst artenreiche Mischung anzustreben oder in erster Priorität die seltenen Baumarten zu begünstigen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die verschiedenen Baumarten, je nach ihrer Konkurrenzkraft, unter Umständen sehr unterschiedlich stark begünstigt werden müssen, um sich anschliessend erfolgreich in der Mischung behaupten zu können.

## **6.2 PHASEN DER WALDENTWICKLUNG UND STEUERUNG DER PRODUKTION**

Grundsätzlich lassen sich die oben dargestellten Pflegeeffekte (z.B. Erziehung, Auslese, Wuchsförderung) entsprechend der spezifischen Eigenschaften der Phasen des Lebenszyklus auch unterschiedlich ausschöpfen. Für die Ausrichtung der Waldpflege unterscheiden wir die vier folgenden Phasen (siehe Abb. 6. 2):

- Phase der Konstituierung (entspricht der Entwicklungsstufe des Jungwuchses)
- Phase der Vorbereitung der Schafteigenschaften (im wesentlichen in der Dichtung)
- Phase der Auslese
- Phase der Wuchsförderung

**Installations- bzw. Konstituierungsphase.** Sie entspricht der Entwicklungsstufe der Jungwuchsstufe, in der es hauptsächlich darum geht, die zukünftige Baumartenzusammensetzung der Bestockung vorzubereiten bzw. ihre ordentliche Entwicklung gegenüber interspezifischer Konkurrenz und Gefahren sicherzustellen. In Jungwüchsen aus Naturverjüngungen befinden sich, neben verschiedenen Massnahmen zur Starthilfe (z.B. Schutzmassnahmen), die Regulierung der Mischung und der Baumartenmischungen im Zentrum aller Bemühungen.



**Abb. 6.2:** Die vier Phasen der Bestandespflege, am Fallbeispiel der Entwicklung des Oberdurchmessers der Fichtenertragstafel von Badoux (1968), WSL.

**Phase der Vorbereitung der gewünschten Eigenschaften, insbesondere der Stammformen.** Es geht in dieser Phase um die Ausbildung des untersten Stammstückes, welches für die Wertträger 80 bis 90 % des Endwertes beinhalten. Dabei geht es um das Anstreben einer durchgehenden Achse und eines feinen Astwerks. Je nach den besonderen Eigenschaften der verschiedenen Baumarten fallen die Prioritäten etwas anders, insbesondere die Fähigkeit zur axialen Dominanz sowie zur Astreinigung. Es soll z.B. in dieser Phase zwischen einer künstlichen Astung oder einer natürlichen Astreinigung entschieden werden. Von dieser Entscheidung hängt auch die Vorgabe über die Bestockungsdichte und allenfalls über die Eingriffsstärke ab.

Diese Phase dauert bis zu dem Moment, wo die Achse des zukünftigen Stammes bis auf eine Höhe von etwa 10 m ausgebildet ist, was ziemlich genau dem Ende der Dickungsstufe entspricht. Im Zentrum des Interesses befinden sich die Prinzipien der Erziehung. Die Umhüllung der Wertträger der Bestockung durch Begleitbäume ist für die Bildung der durchgehenden Stammachsen genauso wichtig, wie für die Aufrechterhaltung eines feinen Astwerkes. Dies gilt jedenfalls für die meisten Laubbaumarten. Auch im Falle der künstlichen Astung soll der Schwellenwert des Astdurchmessers von 2 bis 2,5 cm nicht überschritten werden. Dies gilt sowohl aus technischen (Abtrennung der Äste) wie auch aus biologischen Gründen (Infektionsrisiken der Verletzungen während des Zeitraumes der Überwallung).

**Phase der Auslese der Wertträger.** Diese Phase kann beginnen, sobald die Hauptachse des Stammes bis auf eine Höhe von etwa 10 m ausgebildet ist, eventuell etwas früher bei

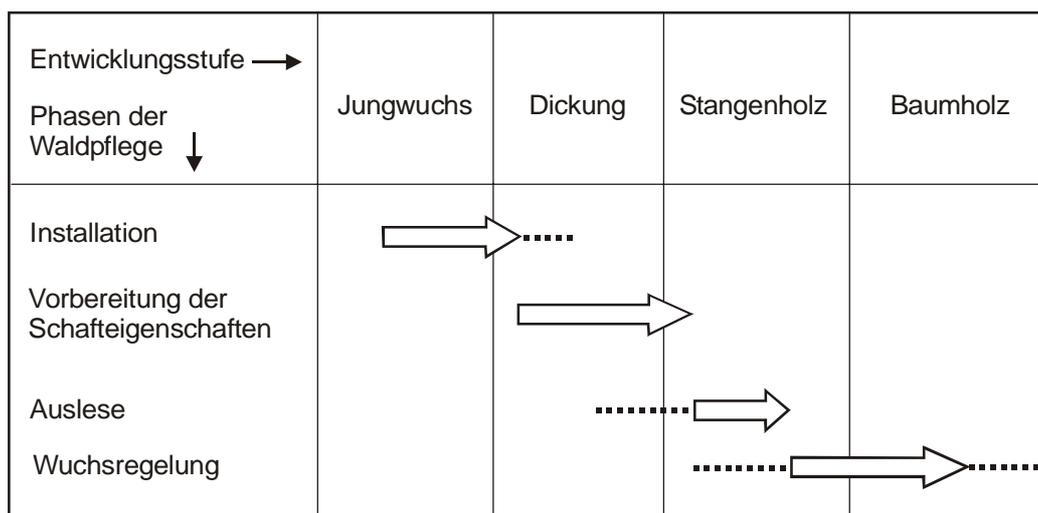
Baumarten mit früh klar erkennbaren Formmerkmalen. Bei der Auslese sind Fragen der Auslesekriterien, der Anzahl auszuwählenden Wertträger sowie der Dauer der Auswahl bestimmend. Letztere Frage steht in Zusammenhang mit den Risiken des Nichttaugens von früh ausgewählten Ausleseebäumen.

Auslese lässt sich wirklich umsetzen, wenn die Produktionskräfte auf die ausgewählten Wertträger konzentriert werden. Dies erfolgt im wesentlichen durch Standraumgestaltung um die Wertträger und kann sehr differenziert in Zeit und Stärke ausfallen, je nachdem wie sich die Kosten-Wirkungs-Verhältnisse der Stammzahlreduzierung ergeben. So wird man eher früh oder erst bei Erreichen günstiger Kostendeckungsgrade beginnen, die Kronen der ausgewählte Bäume zu befreien.

Bei einer Baumart wie z. B. der Buche kann die Lösung darin bestehen, die Wirkung der Auslese und der Wuchsförderung zeitlich zu zerlegen, bzw. zu trennen. Die Auslese kann in der Dichtung beginnen. Primär ist dafür zu sorgen, dass optimale wertvermehrnde Massnahmen, wie Auslese und allenfalls Wertastung, rechtzeitig erfolgen.

Bei der **Produktionsförderung** geht es um die Gestaltung der Standraumverhältnisse um die Wertträger, um sie zum optimalen Produktionsziel zu steuern; wenn nötig geht es auch um die Förderung des Nebenbestandes. Die Wuchsförderung kann zeitlich sehr unterschiedlich ausfallen und gestaltet werden, je nach Reaktionspotential der Baumarten, angestrebten Produktionszielen, Risiken von negativen Veränderungen der Holzeigenschaften (Fäule, Rotkern, Klebäste usw.) und Optimierung von Kosten/Nutzen.

Zwischen **biologisch optimalen** und **kostengünstigen** Lösungen bestehen bezüglich Zeitpunkt des Eingreifens für die Standraumregulierungen grosse Unterschiede. Bei biologisch optimalen Ausrichtungen fällt die Wuchsförderung in frühen Stadien der Entwicklung (Stangenholzphase) und im Fall von kostengünstiger Ausrichtung eher gegen Schluss des Produktionszeitraumes. Unter Umständen lässt sich sogar die Produktionsförderung mit der Einleitung der Waldverjüngung verbinden, also ein nahtloses Übergehen vom Lichtwuchs- zum Lichtungsbetrieb.



**Abb. 6.3:** Zeitliche Abfolge der vier Phasen der Waldpflege.

Jede dieser vier Phasen der Steuerung der Produktion entspricht einer besonderen Eingriffsform. Somit unterscheidet man in chronologischer Reihenfolge die folgenden vier Arten von Pflegeeingriffen:

1. die Jungwuchspflege bzw. Kultursicherung
2. die Dickungspflege
3. die Auslesedurchforstung
4. die Lichtwuchsdurchforstung, allenfalls der Lichtungsbetrieb.

Abb. 6.3 zeigt die zeitliche Abfolge dieser vier Phasen der Waldpflege.

## 6.3 ERZIEHUNGSPHASE ODER KOMPRESSIIONSPHASE

### 6.3.1 Charakteristiken der Dickungsstufe

Die Dickungsstufe entspricht dem undankbaren Jugendalter eines Waldes (Lanier, 1986). Aus der Sicht der Qualitätsholzproduktion ist die Dickungsstufe aber eine der wichtigsten Phasen. In dieser Zeit findet die Bildung bzw. Ausformung des untersten Teils der Stammachse statt, aus welcher das unterste bodennahe Stück des zukünftigen Stammes entstehen wird. Auf dieses unterste Stammstück wird sich später der Hauptteil der Wertproduktion und entsprechend der Massnahmen zur Wertschöpfung konzentrieren.

Beim Erreichen der Dickungsstufe verlassen die Bäume allmählich die Zone der Gefährdung durch Wildverbiss und durch extreme Bodenfröste. In der Entwicklungsstufe der Dickung ist also eine Bestockung nicht mehr so stark gefährdet wie noch in der Jungwuchsstufe. Es bleibt aber trotzdem eine ganze Reihe verschiedener unvorhersehbarer Risiken. Diese können, ohne Unterscheidung der sozialen Stellung und der Qualität wirken. Dies hat zur Folge, dass man die zukünftigen Wertträger (Ausleseebäume) nicht zu früh festlegen soll, insbesondere bei den Baumarten mit unvorhersehbaren Risiken des Nichttaugens, d.h. bei denjenigen, die stark zu traumatischer Verzwieselung neigen. Bei solchen ist es angebracht, durch kollektive Erziehung einer **genügenden Basis** für die spätere Auslese zu schaffen, d.h. eine genügende Anzahl an Bäumen mit günstigen Eigenschaften zu erarbeiten.

Während der Dickungsphase bildet sich normalerweise eine kompakte Bestockung. Seit dem Kronenschluss beginnt ein intensiver Wettbewerb und eine soziale Differenzierung der Bestockung. Ein anderes Kriterium, das für die praktische Ausführung von Bedeutung ist, dass es relativ schwierig fällt, in die Dickungen einzudringen und sich darin zu bewegen. Die hohe Dichte der Dickungen behindert die Ausführung der Eingriffe in beträchtlichem Masse. Dies ist der Grund, warum kostengünstige Waldgestaltung heute eher auf die natürliche Selbstdifferenzierung in dieser Phase basieren. Voraussetzung dafür ist, dass die Massnahmen wie Mischungsregulierung und vorbeugende Entfernung von **Grobprotzen** noch im Jungwuchs (allenfalls in den ersten Stadien der Dickung) erfolgt sind, und zwar zu einer Zeit, da man noch die Übersicht hat und in die Bestockung einigermaßen eindringen kann. Erst gegen Ende der Dickungsphase wird es wieder einigermaßen erträglich einzudringen, z.B. für Massnahmen einer ersten vorzeitigen Auslese.

### 6.3.2 Ziel der Dickungspflege

Beim Ziel der Dickungspflege geht es darum, ein Stangenholz zu erhalten, welches eine genügend hohe Anzahl an Bäumen (die sog. **Kandidaten** nach Schädelin) erhält, welche die für die Auslese gewünschten Eigenschaften aufweisen und in einer günstigen Verteilung stehen. Sie bilden die **Auslesebasis** der später zu erfolgende Auslese. Als allgemeine Eigenschaften der Kandidaten gelten:

- eigene genügende Wuchskraft (soziale Stellung herrschend, allenfalls einige mitherrschend)
- unverzweilter Schaft
- lotrechter Stand und gerader Schaft
- einigermassen ausgewogene Krone
- frei von ansteckenden Krankheiten.

Je nach Baumartengruppen fallen die Schwerpunkte etwas anders, nämlich:

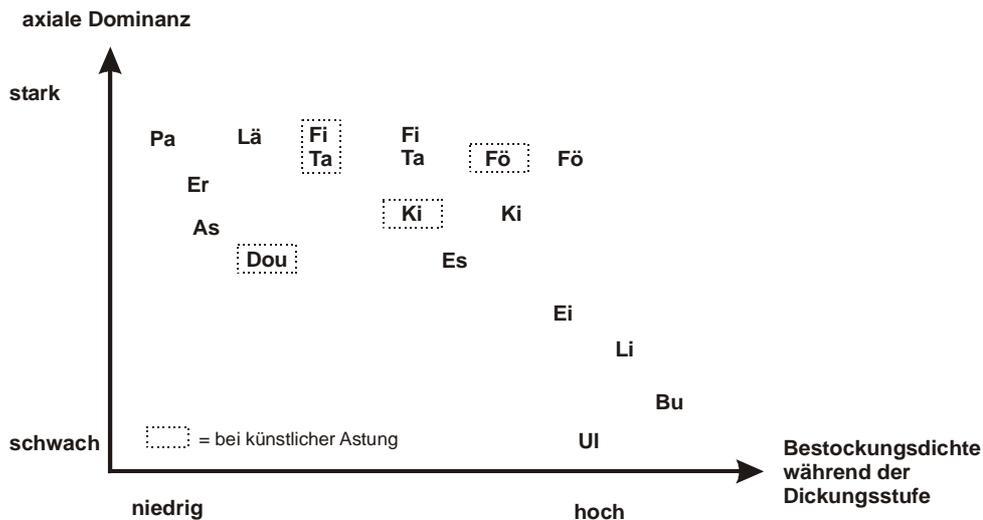
- a) monopodisch und totasterhaltend (Koniferen und Kirschbaum): Gestaltung einer bezüglich Entwicklung eines nicht zu groben Astwerkes wirkenden Umgebung steht im Vordergrund. Eine genügende Bestockungsdichte ist grundsätzlich anzustreben. Dies hängt aber von der Entscheidung ab, ob eine Wertastung angestrebt wird oder nicht.
- b) monopodisch mit Hang zur Bildung von traumatischen Zwieseln (Esche) : Genügende unverzweilte (gut wachsende Heister). In der Regel genügt eine Selbstdifferenzierung.
- c) sympodisch neigende (Linde, Buche, Eiche): genügende Heister mit durchgehender Schaftachse. Der Schwerpunkt liegt eindeutig auf der positiven Förderung nach dem Charakter der Wipfelschäftigkeit

Das Kollektiv, das aus der Dickungspflege resultiert, muss eine genügende Stabilität aufweisen. Diese ist in der Regel gegeben, weil die Dickung dicht bestockt ist, d.h. es besteht eine genügende Kollektivstabilität gegenüber Schnee, bzw. die grösste Schneedruckgefahr setzt eher später ein. Ausnahmen machen allenfalls die sehr lichtbedürftigen Baumarten (z.B. Lärche), die früh einer Kronenfreistellung bedürfen.

Beiläufig und für Baumarten, die es benötigen (Eiche) soll die Dichte so beschaffen sein, dass die Einstellung oder Aufrechterhaltung eines Nebenbestandes möglich ist.

### 6.3.3 Kostenwirksamkeit: Biologisch optimal vs. kosteneffiziente und -bewusste Pflege

Bei biologisch optimaler Ausrichtung der Dickungspflege hat man früher als Ziel der Eingriffe in der Dickung eine Homogenisierung der Bestockung in quantitativer wie qualitativer Hinsicht angestrebt, bei welcher je nach Baumartengruppen und ihren erforderlichen Erziehungsbedürfnisse eine unterschiedliche Bestockungsdichte benötigen (siehe Abb. 6.4). Es ging dabei um eine Dosierung der Dichte des Kollektives, d.h. um eine Regulierung der Bestockungsdichte des aus den herrschenden und mitherrschenden Bäumen zusammengesetzten Teiles der Bestockung. Dadurch sollte durch **kollektive Erziehung** ein Bestandesklima (eine forstliche Ambiance wie van Miegroet treffend formuliert) geschaffen, um sowohl Stabilität wie qualitativ günstige Entwicklung zu fördern.



**Abb. 6.4:** Bei biologisch optimaler Ausrichtung der Dickungspflege angestrebte Bestockungsdichten.

Dabei lassen sich die angestrebten Bestockungsdichten durch folgende Charakteristiken erklären:

- Die Schattentoleranz: Schattenintolerante Arten (z.B. Lärche, Erle, Aspe, Pappel) verlangen eine Lichtkrone, die frei von jeglicher Einengung und seitlicher Beschattung ist.
- Die Wachstumsgeschwindigkeit: Die Douglasie z.B. benötigt aufgrund ihres sehr starken Höhenwachstums mehr Platz als das Temperament einer Halblichtbaumart eigentlich erfordern würde.
- Die Produktionsdauer: Esche, Kirschbaum und Roteiche sollen, in relativ kurzer Zeit (ungefähr 90 Jahren) ihre Zielstärken erreichen können. Dies verlangt eine starke Förderung des Dickenwachstums durch die Ermöglichung einer genügend raschen Kronenentwicklung.
- Die Risiken der Zwieselbildung: Esche, Linde und Douglasie, welche leicht verzweiselnen, verlangen beim Eintritt in die Stangenholzstufe eine grössere Auslesebasis als andere Baumarten, und folglich bis zu jenem Zeitpunkt auch eine höhere Bestockungsdichte, als für ihr Wachstum und ihr Temperament eigentlich ideal wäre.
- Die Fähigkeit zur natürlichen Astreinigung bzw. die Notwendigkeit, eine künstliche Astung durchzuführen: Aufgrund ihrer Neigung, ein grobes Astwerk zu bilden, verlangt eine Art wie die Föhre (während der Erziehungsphase) eine relativ hohe Bestockungsdichte.
- Die Notwendigkeit eines Nebenbestandes: In Eichenbeständen, die aus erzieherischen Gründen in der Dickungsstufe noch eine relativ hohe Bestockungsdichte verlangen, muss anschliessend relativ kräftig eingegriffen werden, damit die Aufrechterhaltung bzw. die Entwicklung eines genügend umfangreichen Nebenbestandes gesichert ist.

Zu diesem Zweck strebt man zur gewünschten Bestockungsdichte die Eliminierung von in der Oberschicht wirksamen Elementen nach hierarchisch folgenden Entnahmekriterien vor:

- grobe Protzen
- Förderung der Mischungsregelung
- Offensichtliche beschädigte und kranke
- Förderung der wipfelschäftigen Kandidaten.

Bei diesen Kriterien sind sowohl solche, die positiven wie negativen Auslesecharakter ausweisen, aufgelistet. Weil es darum geht, ein Kollektiv mit möglichst guten Kandidaten zu erreichen, dominiert die positive Auslese und dies, obwohl noch keine endgültige Auswahl stattgefunden hat.

Weil die Dickung sehr hohe Stammzahlen vorweisen, und auch wegen der hohen Bewegungsschwierigkeiten, benötigen solche flächenhaften Regulierungsmassnahmen äusserst hohe Arbeitsaufwendungen in der Grössenordnung von 60 bis 80 Stunden/ha (BUWAL, 1989). Weil andererseits das generelle Ziel der Dickung in der Ausweisung von pflegerischen Effekten durch genügende Bestockungsdichte angestrebt wird, arbeitet die natürliche Entwicklungsdynamik einigermassen zielkonform. Demnach lassen sich folgende Überlegungen im Sinne naturoportuner Vorgehen vorsehen, welche zu erheblicher Reduzierung der Pflegekosten führen:

- nur situative Entnahmen um Ausleseebäume etwa im vorletzten Abstand
- nur situative Entnahmen um Ausleseebäume etwa im Endabstand
- möglichst alles der Natur überlassen, aber mit Kontrolle der Zielkonformität d.h. ob genügende Anwarter in einigermassen günstiger Verteilung sich selbst durchsetzen.

Wie Messungen des Arbeitsaufwandes für eine solche Pflege im Lehr- und Forschungswald der ETH zeigen, lassen sich bei den zwei erst erwähnten Varianten Arbeitskostenreduktion gegenüber flächendeckender Pflege in der Grössenordnung von 40 % bzw. 70 % erzielen. In Bestockungen mit einigermassen normalem Qualitätsausweis gibt es keinen Zweifel, dass solche Rationalisierungen sinnvoll sind. Auch die Förderung von im Endabstand stehenden Bäumen lässt sich insofern rechtfertigen, dass beim nächsten Eingriff (oder bei der nächsten Kontrolle) im Stangenholzalder, sich Korrekturen für allfällige Ausfall von Anwartern an Ort (d.h. in der gleichen Zelle) vornehmen lassen. Bei der letzten Variante geht es nicht darum, schlicht und einfach die Bestockungen ihrem Schicksal zu überlassen. Die Massnahme besteht in einer Kontrolle der Tauglichkeit der gesamten Bestockung, allenfalls um sehr gezielte Förderungseingriffe zugunsten von einzelnen Elementen, welche sich nicht selbst durchsetzen, z.B. gewünschte Baumarten, die konkurrenzschwach sind. Es ist oftmals der Fall bei den seltenen Baumarten. Nötigenfalls wird die Entfernung von zu groben, breiten Elementen (sog. **grobe Protzen**) welche die Bestockung sehr negativ beeinflussen, vorgenommen. Dies kann allenfalls durch Ringelung erfolgen.

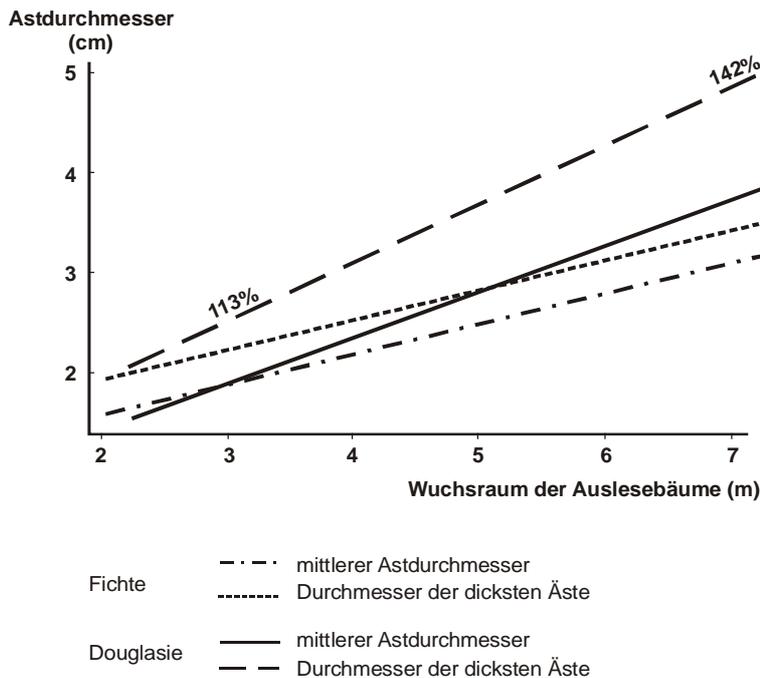
### 6.3.4 Spezielle Fragen bei der Dickungspflege

#### Wahl Astung/Ästigkeit

Die Astigkeit ist das Hauptmerkmal der Erziehung und Auslese bei Koniferen und anderen Totasterhalter (Kirschbaum). Eine der relevanten Frage ist, ob und wie eine Eindämmung allzu grober Äste durch hohe Bestockungsdichte erfolgt, oder ob die Förderung des Wachstums und der Stabilität mit Reduzierung der Bestockungsdichte anzustreben ist. Selbstverständlich spielt dabei die Entscheidung, ob wertgeastet wird oder nicht, eine Rolle. Das Problem hat zwei Seiten: wenn wir davon ausgehen, dass bei Totasterhaltern nur die Wertastung rechtzeitig die Anforderung an Astfreiholz zu erfüllen erlaubt, nützt es nichts, wie oftmals in der Vergangenheit angestrebt, die Qualität durch überdichten Stand zu erzwingen, was zu Kosten der Stabilität und der Wuchsfreudigkeit geht. In diesem Fall ist die Frage der nicht zu überschreitenden maximalen Astdicke in Bezug auf Wertastung relevant. Die andere Frage ist, ob die genetische Auslese nach dem Kriterium Feinstigkeit ein geeignetes Auswahlkriterium ist. Diese zwei Fragen werden weiter unten am Fallbeispiel der Fichte bzw. der Föhre behandelt.

### Astdicke und Bestockungsdichte

Die Untersuchungen von Kenk und Unfried (1980) in 15- bis 20-jährigen Fichten- und Douglasienpflanzungen, welche mit relativ weiten Pflanzabständen angelegt wurden, wie auch die Untersuchungen von Merkel (1967) für die Fichte, zeigen, dass zwischen dem Lebensraum derjenigen herrschenden Bäume, die als Ausleseebäume auszuwählen und zu asten sind, und dem Durchmesser ihrer Äste ein Zusammenhang besteht (siehe Abb. 6.5).



**Abb. 6.5:** Astdurchmesser und Bestockungsdichte in 15- bis 20-jährigen Fichten- und Douglasienbestockungen.

(nach Kenk und Unfried, 1980 ; Merkel, 1967)

Mit demselben Wuchsraum weisen die Douglasien (mit einer grösseren Astdicke in der Grössenordnung von 13 bis 42 %) deutlich stärkere Äste auf als die Fichten. Im Falle einer vorgesehenen künstlichen Astung und der Festlegung, dass der Astdurchmesser der Ausleseebäume eine bestimmte Dicke (z.B. 2 cm) nicht überschreiten soll, lassen sich die minimalen Bestockungsdichten bzw. die maximalen Abstände zwischen den Ausleseebäumen für die Dickungsstufe mehr oder weniger genau festlegen.

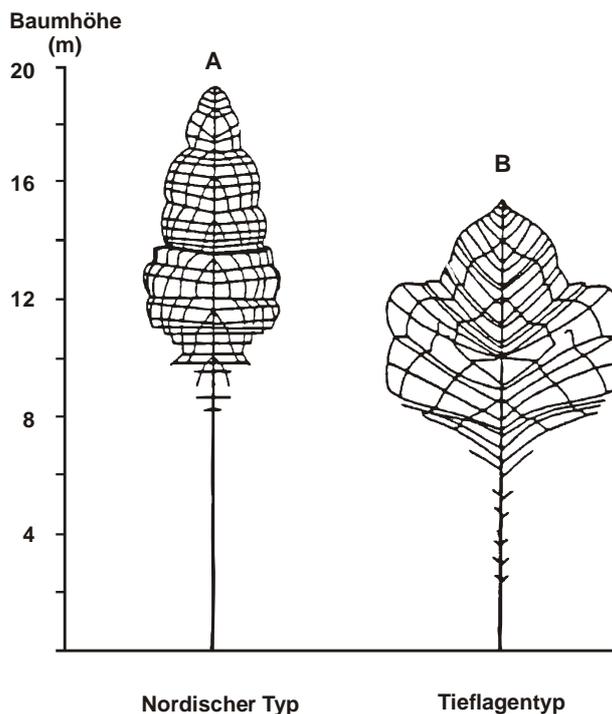
Die Grenze von 2 cm wird auf Grund biologisch-pathologischen Überlegungen gefordert, weil dabei die Gefahr von Infektion durch Pathogene zunimmt. In der Praxis ist dies etwas umstritten, mit der Begründung, dass die Arbeitsqualität bei der Astentnahme entscheidender ist als die Wundgrösse. Gemäss Abb. 6.5 kann man also, für einen tolerierten Astdurchmesser von 2 cm, diesen maximalen Zwischenraum ungefähr auf 2,2 Meter und die entsprechende minimale Stammzahl an herrschenden Bäumen etwa auf etwa 2000 St. pro Hektare abschätzen.

### Wuchseigenschaften oder Astfeinheit als Auslesefaktor, oder das Problem der Protzen

Ob bei der Dickungspflege das Kriterium der feinen Astdicke als Auslesefaktor geeignet ist, bedarf folgenden Kommentars. Grundsätzlich ist es berechtigt zu hinterfragen, ob Astdicke das Ergebnis von guten Wuchseigenschaften oder von einer guten Veranlagung ist. Dies hat

Konsequenzen zur Festlegung der Bedeutung dieses Kriteriums für die phänotypische Auslese. Aus biologischer Sicht leuchtet es einigermaßen ein, dass zwischen Astdicke und Wuchsfreudigkeit ein Zusammenhang bestehen soll. Wenn das stimmt, sind die gut beasteten Bäume eher zu fördern, weil das Kriterium des guten Wuchses langfristig interessanter ist, vorausgesetzt, dass die Wertastung als Massnahmen der Wertschöpfung vorgesehen wird.

Das ganze wird am Fallbeispiel einer Baumart mit ökotypischer Variation wie die Föhre dargestellt. Bei der Waldföhre lassen sich in derselben Population verschiedene Wuchstypen erkennen, welche u.a. eine unterschiedlich starke Ausprägung der Aststärke aufweisen. So lassen sich in jeder Population aus Waldföhren zwei Grundformen erkennen (siehe Abb. 6.6).



**Abb. 6.6:** Die zwei genetischen Grundmuster der Form in Föhrenpopulationen: der nordische Typ und der Tieflagentyp.

(nach Schöpf, 1954, in: Mayer, 1984)

Es handelt sich dabei einerseits um den **nordischen Typ**, welcher sich durch seine schmale Krone, seinen spitzen Wipfel und, was von besonderer Bedeutung ist, durch sein feines Astwerk auszeichnet, dafür aber nur ein bescheidenes Dickenwachstum aufweist. Auf der anderen Seite erkennt man den **Tieflagentyp**, der zwar eine breite, ausladende und abgeflachte Krone sowie grobe und dicke Äste aufweist, sich aber gleichzeitig durch ein gutes Dickenwachstum auszeichnet, und dessen extrem-

ste Form sich in der Schirmföhre erkennen lässt. Führt man nun eine Auslese streng auf den nordischen Typ, so erhält man zwar Bäume mit einer guten Form, einem verträglichen Wuchsverhalten sowie einem feinen Astwerk; hinsichtlich der Wachstumsgeschwindigkeit wird man dadurch aber gewisse Abstriche in Kauf nehmen müssen.

Für die Produktion von Föhren-Qualitätsholz geht es im Endeffekt aber auch darum, in angemessenen Zeiträumen die angestrebten Dimensionen zu erreichen. Somit muss man also eine gute, d.h. den Zielsetzungen am besten entsprechende Kompromisslösung zwischen der Wachstumsgeschwindigkeit und der Wuchsform finden.

Die angestrebte Lösung muss das Schneebruchrisiko auf jeden Fall entsprechend berücksichtigen, da hohe Schneelasten gerade für die Föhre eine besondere Gefährdung darstellen. In den Föhrendickungen findet man aber oft auch Individuen mit einem kräftigen Höhenwachstum und einer entsprechenden, sozial aufsteigenden Tendenz (Ganther, 1983), welche trotzdem ein regelmässiges und nicht unbedingt grobes Astwerk aufweisen. Es wäre nun völlig falsch, diese Bäume für unbrauchbare oder gar für schädliche Protzen zu halten und deshalb rigoros zu entfernen. Ganz im Gegenteil verkörpern gerade diese Bäume, sofern sie den oberen Bereich des Kronenschirmes nicht zu stark überwachsen, diejenigen Individuen, die es zu begünstigen gilt.

Dabei muss man allerdings darauf achten, dass die Grenze zwischen dem Protzen, der sich breit macht und der ein sehr grobes, unregelmässiges Astwerk mit eher steil angesetzten Ästen aufweist, welche sich später zu eigentlichen **Steilästen** entwickeln können, und der ebenfalls gut wachsenden Föhre, welche aber eine regelmässige Kronenarchitektur aufweist, schnell überschritten werden kann. Die Abschätzung dieser Grenze bzw. die Erkennung der förderungswürdigen Bäume ist wie eine Gratwanderung zwischen wachsen lassen und Erhaltung einer genügenden Bestockungsdichte, um die Grobästigkeit zu verdrängen.

Auch wenn dieses Fallbeispiel der Ausprägung zwischen Wuchskraft und Wuchsform besonders für die Föhre typisch ist, gilt sie mehr oder weniger auch für die anderen Baumarten. Dabei stellen die Fichte und die Tanne allerdings zwei Baumarten dar, welche auch bei kräftigem Höhenwachstum ziemlich gleichmässig wachsen und nicht sehr stark dazu tendieren, Protzen zu bilden. Bei der Douglasie hingegen, einer Baumart mit einer breiten intrapopulationellen Variabilität, stellt ein guter Wuchscharakter zweifellos ein günstiges Auslesekriterium dar.

### **Beiläufige Massnahmen**

Neben dem Aushieb von Bäumen kommen in der Dickungspflege subsidiär noch weitere Massnahmen in Betracht. Es handelt sich dabei um den Schutz vor Fege- und Schlagschäden. Als beiläufige Massnahme ist die Korrektur von Steilrändern zu erwähnen. Die wichtigsten Gefährdungen während der Dickungsstufe sind also die Risiken von Fege- und Schlagschäden durch das Schalenwild, von Schäden durch Kleinsäuger wie insbesondere Mäuse sowie pathologische Beschädigungen der Endknospen oder der neuen Triebe.

Fegeschäden durch Schalenwild betreffen insbesondere Baumarten wie Douglasie, Föhre, Tanne und die Weichholzarten. Bei starker und hoher Schalenwildichte besteht die Abwehr in flächigem Schutz (Zäune) oder Einzelschutz (Körbe, Plastikhülle u.ä.).

Mäuse (Erd- und Rötelmäuse) nagen im Wurzelsystem und teilweise im unteren Stammteil in den jungen Stadien der Dickung, wenn noch eine dichte Bodenvegetation besteht, vorzugsweise Laubholzarten. Als besonders gefährdet sind bestimmte Weichholzarten, aber auch Eichen und Eschen. Guerdat (1997) konnte zeigen, dass vorgewachsene, beigemischte Pionierbaumarten insbesondere Salweiden (allenfalls Schwarzerle) präferenziell von den Mäusen angegangen werden; hingegen Birken praktisch nicht. Diese besonders attraktiven Baumarten können die Schäden auf sich ziehen und somit als günstige Wirkung die Schonung beigemischter Edelholzarten wie z.B. Eichen bewirken (sog. Blitzableiterfunktion).

Beschädigungen der Endknospen bzw. der neuen Triebe können zu Verformungen der Hauptachse, zu buschigen Wuchsformen und im ungünstigsten Fall zur Bildung von Zwieseln führen. Bei den letztgenannten Schäden handelt es sich im wesentlichen um Auswirkungen von Spätfrösten (namentlich bei der Esche und der Douglasie) sowie um Beeinträchtigungen, welche durch verschiedene schädliche Insekten, z.B. den Lärchenblasenfuss (*Thaeniothrips laricivorus*), die Tannentrieblaus (*Dreyfusia nordmannianae* früher *Dreyfusia nusslini*) die Eschenzwieselmotte (*Prays curtisellus Dup.*) oder der Waldgärtner der Föhre (*Tomicus piniperda L.*; *Tomicus minor Htg.*) verursacht werden.

### **Zeitpunkt der Eingriffe**

Obwohl der Eingriff nicht zwangsweise an eine bestimmte Jahreszeit gebunden ist, wird die Dickungspflege normalerweise im Sommer und am Anfang des Herbstes durchgeführt. Dies

geschieht aus organisatorischen Gründen, weil die anderen Jahreszeiten i.d.R. durch andere, nicht verschiebbare forstliche Arbeiten ausgelastet sind. Aus Gründen der Arbeitsbedingungen (Ergonomie) soll die Dickungspflege möglichst mit manuellen Werkzeugen (Gertel, Handsäge) bei trockenem Wetter ausgeführt werden. Wichtig ist, dass sie auf die Tierwelt (Brut- und Setzzeit im Frühling und Frühsommer) Rücksicht nehmen.

## 6.4 PHASE DER AUSLESE

### 6.4.1 Charakteristiken der Stangenholzstufe

In der Stangenholzphase haben sich die herrschenden und mitherrschenden Individuen im oberen Teil der Kronenschicht etabliert. Hingegen haben die Bäume der unteren sozialen Klassen den Kontakt zum direkten Licht, und damit meist auch die Chance, je von selbst wieder ans direkte Licht gelangen zu können, verloren. Der Höhenzuwachs der Bestockung ist nun sehr ausgeprägt und wird in dieser Entwicklungsstufe kulminieren. Durch das Ansteigen des Höhenzuwachses wird auch die soziale Differenzierung immer stärker und deutlicher. Ohne regulierende Eingriffe würde der Wettbewerb nun bald seinen Höhepunkt erreichen. Der verstärkte Wettbewerb hat dabei folgende Konsequenzen: Eine systematische negative Veränderung der sozialen Klassen und somit ein allmähliches Verschwinden der Bäume der unteren sozialen Klassen, ein Absterben der untersten Äste und dementsprechend eine Verkürzung der Krone, sowie ein Anstieg des Schlankheitsgrades der Bäume, wodurch eine Verringerung ihrer individuellen Stabilität und damit gleichzeitig eine Erhöhung des Schneebruchrisikos angezeigt wird.

Ferner sind nun auch die Schäfte auf einer genügenden Länge ausgebildet. Damit ist der Moment gekommen, um von der Hauptwirkung der Auslese zu profitieren, indem man die Produktionskräfte auf die bestgeeigneten Individuen konzentriert. Diese Wertträger sind nämlich diejenige Bäume, welche die gewünschten Qualitätseigenschaften ausweisen und andererseits gutes Wuchs- und Entwicklungspotential besitzen. Die Frage, ob die Ausgewählten, in welcher Anzahl und in welchem Ausmass zu begünstigen sind (d.h. mit welchem Befreiungsgrad bzw. zu welchem Zeitpunkt) bedarf einer differenzierten Analyse, bei welcher auch die Kosten und Folgewirkungen der Entnahmen (Gefahren der Destabilisierung bzw. die Risiken von negativen Holzveränderungen) eine wichtige Rolle spielen.

### 6.4.2 Ziel der Auslese

Das Ziel der Phase der Auslese ist das Ausweisen und die Sicherstellung eines Kollektivs von Bäumen (**Wertträger** oder **Ausleseebäume**), auf welches der Hauptanteil der Wertschöpfung erfolgen wird und welches am Schluss der grösste Anteil der Wertleistung liefert. Die Auswahl selber soll ab Erreichung der gewünschten Schaftlänge, so früh wie möglich, erfolgen. Dies gilt zumindest für gewünschte Baumformen, die sich nicht selbst durchsetzen, sowie diejenigen, die rasch zu Enddimensionen zu führen sind (z.B. Esche, Kirschbaum). Dies gilt auch für die sehr lichtbedürftigen Baumarten (z.B. Lärche), und für Baumarten, für welche eine Wertastung vorgesehen ist.

Die Befreiung der ausgewählten Wertträger hingegen kann sehr unterschiedlich in Zeit und auch in der Art ausfallen. Das Ganze soll auch in Rücksicht auf die Risikofaktoren und eventuell der Standraumausnutzung geschehen.

Die Fragen, die es in diesem Zusammenhang mit dieser Entscheidung zu beantworten gilt, sind:

- die Anzahl der Ausleseebäume (entsprechend des anzustrebenden Endkollektives und in welcher Verteilung)
- die Auswahlkriterien
- die Dauer der eigentlichen Auslese
- die Art und Weise der Förderung durch Standraumregulierung. Die Tätigkeit der Auslese und der Wuchsförderung erfolgt nicht notwendigerweise synchron. Die Auslese und die Wuchsförderung können unter Umständen in der Zeit gestaffelt werden.

Das Mittel zur Umsetzung der Auslese und Erwirkung eines günstigen Wertschöpfungseffektes ist die Steuerung des Standraumes um die Wertträger. Dies erfolgt in der Regel durch Baumentnahmen. Der waldbauliche Eingriff dazu wird **Ausleседurchforstung** genannt. Dabei werden die **Ausleseebäume** durch die Entfernung von **Konkurrenten** gefördert. Durch Ausformung im wesentlichen im Lichtkronenbereich der Ausleseebäume wird das Wachstum nach Zielvorgaben gesteuert. Ob mehrere periodisch wiederkehrende Eingriffe dazu notwendig sind oder nur einer, hängt von der Art der Staffelung der Auslese sowie von der Art der darauffolgenden Wuchsregelung.

Ist einmal die definitive Auswahl getroffen, d.h. wenn die Wertträger sich in der Verteilung entsprechend der angestrebten Zielvorgaben einigermaßen befinden, konzentrieren sich die Waldbaueingriffe im wesentlichen nur noch auf die Steuerung des Wuchsganges der Wertträger. Von Auslese sind dann nur allfällige Kleinkorrekturen für den Ersatz von nicht mehr taugenden oder ausgeschiedenen Wertträgern angezeigt. Für solche waldbauliche Eingriffe, bei welchen ausschliesslich die Wuchssteuerung durch Erweiterung des Standraumes im Vordergrund steht, sprechen wir von **Lichtwuchsdurchforstung**.

### 6.4.3 Anzahl Ausleseebäume

Die Herausforderung der Auslese liegt darin, den guten Kompromiss zwischen Werteigenschaften und Wachstumsfreudigkeit zu finden. Wie wir gesehen haben, ist das je nach Baumarten recht unterschiedlich. Bei allen Baumarten gemeinsam stehen die Wuchseigenschaften als wichtiges Auswahlkriterium. Bei den Koniferen und Totasterhaltern stehen sie mit den Stabilitätseigenschaften im Vordergrund, bei der Gruppe Esche/Ahorn sind sie mit unverzweilter Schaffform zu verbinden und bei der Gruppe der sympodisch Neigenden mit der Fähigkeit zur Wipfelschäftigkeit.

Die Ausleseebäume rekrutieren sich also aus dem Kollektiv gut wachsender Bäume d.h., auch im grossen und ganzen aus den sozial Herrschenden. Dies ist begründet, weil die soziale Aufstiegschancen mit zunehmenden Alter immer kleiner werden. Im Stangenholz sind sie zwar noch in einem geringen Ausmass möglich aber es ist klar, dass die Förderung von sozialen niedrigen entsprechend starke Befreiungseingriffe benötigen. Dies kann nur in Ausnahmefällen erfolgen, weil sonst der Wirkungsgrad der Befreiung ungünstig wird bzw. die Gefahr einer Destabilisierung zu hoch ist. Ab Baumholz tendieren die sozialen Aufstiegschancen der Bäume im Bestandesgefüge gegen Null zu, gemäss Arbeiten von Busse (1930), Erteld (1950), Weck (1958), Liebold (1965) und Delvaux (1964).

Weil die Ausleseebäume eine gute Bekronung aufweisen sollen, und weil ihr Standraum entsprechend mit den ständig zunehmenden Raumbedürfnissen sukzessiv erweitert werden sollen die Ausleseebäume zur Instrumentalisierung des Ausleseeffekts nicht in allzu dichter Verteilung (und Anzahl) stehen. In der Tat soll die Auslese faktisch in der Stangenholzstufe vollzogen sein. Die umstrittene Diskussion, ob die Ausleseebäume gemäss **Endverteilung** oder vorletzten auszuwählen sind, lässt sich relativ einfach lösen zugunsten einer Auswahl entsprechend der Endverteilung.

Möchte man am Anfang eine Reserve von Ausleseebäumen in Rücksicht auf die Ausfallrisiken ausschaffen, müsste man entsprechend den Regeln der Raumausnutzungsgeometrie aus drei mal mehr Bäume in vorletzter Verteilung ausgehen. Gemäss Abb. 5.30 erfolgt der Zeitpunkt, ab welchem es keinen Platz mehr gibt für Reservisten im vorletzten Abstand bei der Fichte (mit angenommene Endzahl von 250) zu einem Oberdurchmesser (Do) von 20 cm und bei der Buche (mit Endzahl von 150) zu einem Do von 35cm. Dies zeigt, dass die Phase der wirklichen Auslese von recht kurzer Dauer ist. Während dieser kurzer Zeit von kaum ein bis höchstens zwei Jahrzehnten ist das Risiko des Ausscheidens von Ausleseebäumen sehr klein, dafür ist die Ausschaffung von soviel mehr Ausleseebäumen sehr aufwendig und kann bei ihrer konsequenter Freistellung zu Destabilisierung der Bestockungen führen, gerade in einem Zeitpunkt, da die Schneedruckgefahr hoch ist. Es scheint viel effizienter und sicherer zu sein, die Ausleseebäume von Beginn an gemäss Endverteilung auszuwählen und allfällige Nichttaugende sukzessiv an Ort zu ersetzen (sog. Ersatzprinzip).

Bezüglich Ausfallrisiken von früh ausgewählten Ausleseebäumen, sollen die früher z.T. hohen erwähnten Zahlen (rund 1/3) doch etwas relativiert werden. Klädtke (1997) schätzt z.B. das reelle Risiko des Nichtmehrtaugens in Buchenbeständen auf einen Zeitraum von 25 Jahren auf nur 4 bis 6 % ; und die meisten Ausfälle erfolgen infolge Verlustes der sozialen Stellung.

Es sprechen auch weitere Argumente wie Konzentrationseffekt, Wirkungsgrad der Eingriffe, Kosten, Stabilität für die Auswahl von **«nicht mehr Ausleseebäumen» als die optimale Endstammzahl**. Bei Betrachtung der Kosteneffizienz und der Multifunktionalität kann man sogar bei situativen Eingriffsform nur diejenige als Ausleseebäume betrachten, welche wirklich Wertschöpfungspotential vorweisen. Es sind in diesem Falle weniger Bäume als die in Tabelle 5.21 angegebene Endstammzahl, welche auf der Basis von optimalen Standraumausnutzung ausgerechnet sind.

#### **6.4.4 Ausleseebäume und Wuchsregelungsprogramm: Synchronizität der Auslese und Wuchsregelungsmassnahmen**

Der Ausleseeffekt ist nur dann wirklich wirksam, wenn ein optimal möglicher Anteil der Holzproduktion auf die besten veranlagten Elemente bzw. ihren unteren Stammteil konzentriert wird. Dies erfolgt durch die Steuerung des Wuchsganges, also durch Regulierung des Standraumes. Zwischen dem relativ früh notwendigen Zeitpunkt der Auswahl und der Hiebsreife steht eine breite Zeitspanne von 50 bis 100 Jahren. Ob die ausgewählten Wertträger sofort nach Auswahl freizustellen sind und wie stark und wie lang, oder ob sie zuerst nur zu fördern und erst später zunehmend zu befreien sind, hängt von vielen Faktoren ab. Die Auslese und Wuchsförderung müssen also nicht notwendigerweise synchron erfolgen. Sie können z.T. getrennt (zumindest gestaffelt) vorgesehen werden.

Bei der Formulierung der Standraumregulierungskonzepte ist also zu unterscheiden zwischen:

- der Förderung der Ausleseebäume bzw.
- der Freistellung der Ausleseebäume.

Im ersten Fall streben die Eingriffe nur soviel Standraum zu schaffen an, dass die ausgewählten sich einigermaßen bis zur wirklichen Wuchsregelung in guter Position und Verfassung weiterentwickeln können, ohne Nachteile z.B. bezüglich Stabilität.

Die Buche z.B. besitzt eine ausserordentlich effiziente Art der Erschliessung und Besetzung des Kronenraumes, dank der Fähigkeit, Kurz- und Langtriebe zu bilden. Deswegen reagiert die Buche auch im erwachsenen Alter (sogar noch im hohen Alter) recht gut auf Durchforstungseingriffe (Freist, 1962, Klädtke, 1997, Chollet et al. 1998). Dies zeigt, dass das Konzept, die Wuchsregelung lang zu verzögern, d.h. bis in den Lichtwuchsbetrieb (mit Übergängen im Lichtungsbetrieb) für diese Baumart durchaus denkbar ist.

Der umgekehrte Fall, wo Auslese und Wuchsregelung synchron erfolgen, ist der häufigste in der Praxis. Verschiedene Zwischenformen sind natürlich auch denkbar.

So können wir je nach Wuchstemperament, nach Reaktionsfähigkeit der Kronen (d.h. ihr biologisches System der Kronenexpansion und Exploitation innerhalb der Krone), nach technischen Nutzungssystemen und ihren Folgen (Rotfäule), nach altersbedingten Holzentwertungen (Farbkern der Buche, Holzspannungen) und schlussendlich nach der Kostenwirksamkeit der Eingriffe folgende Produktionsregelungsmodelle skizzieren:

- Auslese früh und gleichzeitig deutliche (d.h. früh kräftige) Freistellung. Das Modell gilt für lichtbedürftige Baumarten (Lärche) sowie Baumarten mit früher Produktionsreife (Kirschbaum, Esche) sowie diejenigen mit schlechter Kronenreaktion im hohen Alter (**Esche**), und schlussendlich Baumarten, für welche ein pflegerischer Nebenbestand später erwünscht ist (**Eiche**)
- Auslese früh und späte Wuchssteuerung. In den Frühstadien wird nur soviel eingegriffen, dass die Zuwachsträger (die wipfelschäftig gut wachsenden) sich in guter sozialer Position und Verfassung mitentwickeln. Dieses Modell, welches sich mehr an den Lichtwuchseffekt anlehnt, gilt für das Fallbeispiel der **Buche**. In diesem Fall wird erst ab Alter von 50 bis 60 Jahren wirklich begonnen, Kronenbefreiungseingriffe vorzunehmen (Altherr, 1971, 1981; Klädtke, 1997).

Es ist nicht das alleingültige Modell für die Buche, weil bei dieser recht reaktionsfähigen und plastischen Baumart auch andere Behandlungsformen mit früher Wuchsregelung vorstellbar sind. Es ist aber der kostengünstigste. Bei der Buche ist darüber hinaus das Problem der Interaktion zwischen Wuchsgang, Alterung und Entwicklung von ungünstigen Holzentwertungen durch z.B. Holzspannungen (ev. auch Farbverkernung) gebührend zu berücksichtigen. Auf Grund der z.T. bisher bekannten Erkenntnisse über den Hergang solcher Entwertungen scheinen Wuchsregelungsmodelle geeignet zu sein, in welchen die Buchenbestände nicht allzu dicht und allzu alt werden.

- Auslese früh und Eingriffe zuerst mässig (falls überhaupt) und dann kräftig auf eine relativ kurze Periode konzentriert. Die Freistellung im Kronenraum erfolgt bei Erreichung eines günstigen Kostendeckungsgrades. Dieses Modell gilt z.B. im Fallbeispiel **Fichte**. Die Durchforstungen werden dann auf eine kurze Dauer konzentriert, gefolgt von einer Periode der Hiebsruhe im höheren Alter. Dies ist im wesentlichen wegen der Gefahr von Rotfäule begründet.

Biologisch optimal in Bezug auf die Wertschöpfung ist es grundsätzlich, wenn die Auslese früh erfolgt. Die Erstdurchforstungen in Stangenhölzern sind aber kostspielig, zumindest wenn man, wie früher üblich, flächendeckend arbeitet und die Nutzung mit Perfektionismus realisiert, auch wenn man die Produkte nicht kommerziell verwertet. Es bestehen aber kostengünstige Methoden, welche sich nur auf die allernotwendigsten Arbeitsschritte und auf die wirklich für die Befreiung notwendigen Konkurrenten konzentrieren. Unter solchen Voraussetzungen lassen sich auch bei motormanueller Nutzung z.B. mit der Methode des vertikalen Schrägschnittes sehr kostengünstige Eingriffe verwirklichen (Arbeitsaufwand in Grössenordnung von 5 bis 10 Std./ha). Daraus ergibt sich ein Kostendeckungsgrad von etwa 25 cm BDH für Fichte und 30 cm BHD für Buche.

#### **6.4.5 Wirkung von verzögerter Auslese**

Untersuchungen von Ammann (1999) haben gezeigt, dass in bis im Alter 40 bis 50 Jahren nicht gepflegten Fichten- und auch Eschenbeständen im grossen und ganzen genügend brauchbare Ausleseebäume sich selbst durchsetzen, in einigermaßen brauchbarer Verteilung. Bezüglich Qualität sind bei der Esche z.B. ähnliche Resultate feststellbar. In den nicht gepflegten Beständen lässt sich ein Verlust in der Qualitätshöhe (Länge des Erdstückes der Ausleseebäume) von 19 % beobachten, was allenfalls annehmbar scheint, umso mehr, als solche Eschenbestockungen eine genügende natürliche Stabilität aufweisen.

Das Problem eines solchen Vorgehens liegt darin, dass es bei der Esche kaum denkbar ist, die angestrebten Enddimensionen in den für diese Baumart kurzen Produktionszeiträumen in Rücksicht auf die altersbedingten ungünstigen Holzveränderungen (Farbverkernung) zu erarbeiten. Bei der Fichte dürfte ein solches Vorgehen besser funktionieren, zumindest vom Standpunkt der Auslese aus.

Im Grunde stellen die Probleme der Holzveränderung (in diesem Falle wegen Rotfäule) einen ähnlichen Hergang wie bei Eschen dar, allerdings mit etwas mehr zeitlichem Spielraum. Immerhin wissen wir z.B., dass Gefahr von Rotfäuleentwicklung erst in Fichtenbestockungen nach 40 Jahren eintritt (Dimitri, 1983). Weil der Fortschritt der Rotfäule nachher sehr deutlich mit zunehmendem Alter zunimmt, sollen sich die Standraumregulierungen auch nach verspäteten Ersteingriffen auf eine kurze Periode konzentrieren. Darüber hinaus sind im Fallbeispiel Fichte die Probleme der Stabilität gegenüber Schneeschäden zu beachten.

#### **6.4.6 Bedeutung der situativen Eingriffsweise bei der Auslese**

Je nach Baumarten ist die Streuung der Qualitätseigenschaften sehr unterschiedlich auch innerhalb der potentiellen Anwärter für die Auslese. Es wird daran erinnert, dass bei der Auslese die nach phänotypischen Merkmalen erfolgt, diese Wahl im wesentlichen aufgrund der Schaffformigenschaften gemacht wird. Die holztechnologische Kriterien sind zumindest zu diesem jungen Zeitpunkt kaum erkennbar und sie werden auch mehr durch die Wuchssteuerung und die Festlegung der Hiebsreifezeitpunktes beeinflusst.

Bei Edellaubholzarten im allgemeinen und insbesondere bei den Arten mit sympodisch neigender Schaftverzweigung sind grosse Formunterschiede feststellbar, und sie sind wesentlich ausgeprägter als bei Koniferen. Diese Unterschiede in der Qualität sind gleitend. Das heisst, dass es innerhalb des Kollektives der Wertträger eine ganze Gradation in der Güte gibt: von sehr schönen bis mässig schönen und noch knapp annehmbaren. Bei situativen Eingriffen gilt das Prinzip, dass die Prioritäten bei der Auswahl je nach Qualitätsausweis auch unterschiedlich sind. Das heisst in der Praxis, dass es aus den allerbesten auszugehen gilt. Es

werden also zuerst die **Spitzenausleseebäume** ausgesucht, und erst wenn sie feststehen, werden die anderen in sinnvoller Verteilung ausgesucht.

Das Prinzip des situativen Vorgehens gilt auch für die Standraumregulierung. Es bedeutet, dass sich die Festlegung der notwendigen Reduzierung der Konkurrenz (durch Entnahme von Konkurrenten) am Selbstentwicklungspotential der Befreiten richtet. Vorherrschende vitale Bäume bedürfen weniger Standraumfreiheit (wenn überhaupt) als etwas mehr zurückgebliebene oder konkurrenzierte.

#### **6.4.7 Bedeutung der Abstände zwischen Ausleseebäumen (Äquidistanz)**

Wir haben schon darauf hingewiesen dass das Kriterium Abstand für die Auswahl nur eine generelle bzw. bestandesweise Bedeutung hat. Seine primäre Aussagekraft ist zu orientieren über die am Schluss der Produktion angestrebten Standräume für den Fall einer optimalen Standraumausnutzung. Bei der Auslese haben die Qualitäts- und/oder Wuchseigenschaften eindeutig Vorrang. Abweichung von der angestrebten Richtdistanz sind umso mehr in Kauf zu nehmen als die Ausleseebäume gute Qualitätseigenschaften vorweisen bis zu einem minimal nicht zu unterschreitenden Abstand von 4 bis 5 Metern. Darüber hinaus gilt das Prinzip, dass Ausleseebäume nie direkt an den Rückegassen auszuwählen sind.

### **6.5 DIE WUCHSFÖRDERUNG**

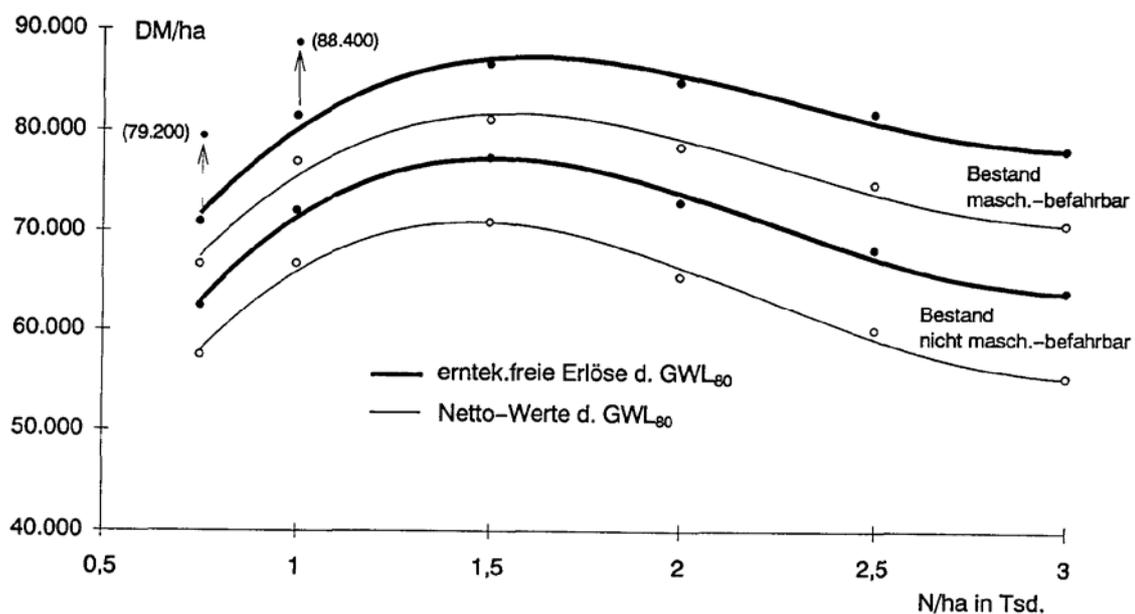
Bei der Steuerung des Standraumes muss unterschieden werden zwischen dem generell anzustrebenden Programm der Regelung der Bestockungsdichte einerseits und andererseits zwischen der Effizienz der Standraumgestaltung um die Ausleseebäume bzw. ihre Reaktion auf die Eingriffe. Im ersten Fall geht es um Betrachtungen des flächenbezogenen Bestandeszuwachses bzw. um die Kostenwirksamkeit der Vornutzungen; im zweiten Fall geht es um die Reaktion der Einzelbäume auf die Eingriffe.

#### **6.5.1 Konzepte der Produktionsregelung**

Die im Abschnitt 5.2.2. (Abb. 5.20) dargestellten Ergebnisse von langfristigen Durchforstungsversuchen hinterlassen den Eindruck, dass insgesamt sehr kräftige Reduktionen der Bestockungsdichten zu den besten Gesamtwertleistungen führen. Die Gründe für die positive Wirkung von starken und wiederholten Durchforstungen auf die Wertleistung liegen zuerst in der deutlichen Förderung des mittleren Durchmessers, abgesehen von der Wirkung auf die Produktionszeitverkürzung. Die Anregung des Durchmesserwachstums erlaubt Sortiment sprünge in besser bezahlte Sortimentklassen und bringen entsprechend bessere Erlöse aus dem Holzverkauf. Eine solche Situation gilt aber nur solange als die Staffelung der Holzpreise die Starkhölzer bevorzugen.

Einige Entwicklungen lassen bezweifeln, ob diese Voraussetzung immer noch ihre volle Gültigkeit haben. Zum einen hat sich seit 1985 die Entwicklung der Kosten-Erlös-Schere dramatisch verändert und führt dazu, dass Eingriffe in Schwachholzdimensionen nicht mehr kostendeckend sind. Das bedeutet, dass Produktionsregelungskonzepte mit zu starken Eingriffen in frühen Stadien gesamthaft ungünstiger ausfallen. Wertmässig wirksam unter diesen Prämissen sind Wuchsregelungsmodelle, welche die Nutzung der Schwachhölzer minimieren, viel mehr als diejenigen, welche die Maximierung des Zieldurchmessers anstreben.

Wegen der Erosion der Holzpreise sind nicht nur die schwachen Sortimente defizitär geworden, sondern je länger je mehr alle Holzprodukte, die nicht Stammholz sind. Sie fallen gerade bei Laubholzarten in erheblichem Masse an. Der Durchforstungseffekt ist nur heute auszuweisen, wenn genügende Anteile an hochwertigen Sortimenten zu Stande kommen. Um nur Massenprodukte zu erzeugen, drängt sich heute eine Minimalisierung der produktionsfördernden Mittel auf. Erzielung von Massenprodukten geht also nach dem Prinzip der Produktionskostenminimierung. Für Massenproduktion lohnen sich die Durchforstungen nicht, oder nicht mehr so wie früher. Hingegen fundiert das Erreichen einer hohen Wertschöpfung auf dem optimalen Verhältnis zwischen Produktionskosten und Holzwertvermehrung.



Baumzahl bei der Begründung

**Abb. 6.7:** Die Wertleistung von Fichtenbeständen bis zum Alter 80 in Abhängigkeit von der Baumzahl (N/ha) vor der ersten Durchforstung. Es sind zwei Kalkulationsmodelle mit motormanueller Nutzung und mit Vollernter. (nach Kenk, 1999; Weise et al. 1998)

Wertleistungskalkulationen von Kenk (1999) und Weise et al. (1998) für Baden-Württemberg zeigen (siehe Abb. 6.7), dass höhere Bestockungsdichten heute wieder günstiger auszufallen scheinen. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt Knoke (1998) für Bayern. Sollte sich bei den Nutzhölzern die Holzpreisabstufung noch mehr in Richtung der Begünstigung der mittleren Holzdimensionen entwickeln, würden sich Modelle mit einer möglichst vollen Bestockung wieder mehr lohnen. Die langjährige Streitfrage, ob Vollbestockung oder Wuchsförderung von wenigen Bäumen günstiger ist (oder der Eichhorn'sche versus Schädelin'sche Ansatz) scheint wieder voll aktuell zu sein.

Wenn wir heute allerdings vermehrt die Steuerung der Produktion situativ lösen, indem durch Rollenverteilung nur bestimmte Elemente (die Wertträger) gezielt für eine Wertschöpfung vorsehen und der Rest der Bestockung die Rolle einer Füllmasse übernimmt, für welcher nur minimale Produktionseinträge sich rechtfertigen, zeigt sich die Produktionssteuerung unter einer anderen Sicht. Im Vordergrund ist nicht mehr die flächenbezogene Leistung, sondern das

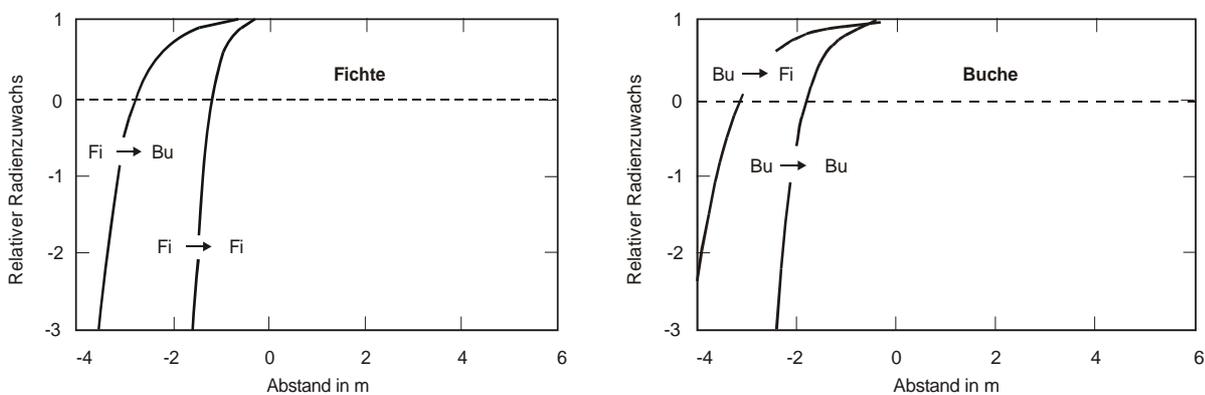
Potential an Wertvermehrung der Wertträger bzw. ihre Anzahl und Verteilung. Bei einem solchen Konzept interessiert primär die baumweise Reaktion auf Standraumregelung. Dabei ist zwischen biologischer Effizienz und der Kostenwirksamkeit ein guter Kompromiss zu finden.

### 6.5.2 Baumweise Reaktion auf Eingriffe

Gemäss den Erkenntnissen der photosynthetischen Leistung der verschiedenen Kronenbereiche (siehe Abschnitt 5.1.2), ist es offensichtlich, dass wirksame Kronenbefreiungseingriffe in erster Linie darauf ausgerichtet sein müssen, die produktivsten Kronenbereiche, d.h. die Lichtkrone der Ausleseebäume vom Konkurrenzdruck bzw. vom Schattenwurf durch Nachbarn zu befreien. In diesem Sinne scheint der Hochdurchforstungscharakter klar ausgewiesen, zumindest bezüglich Wirksamkeit der Befreiung begründet.

Ob der Auslesebaum nur von der Verdrängung durch die Konkurrenz zu lösen ist, oder ob eine Steuerung seines Durchmesserzuwachses durch kräftige Kronenbefreiung erfolgen soll, hat andere Konsequenzen in Bezug auf die Bestimmung der zu entfernenden Nachbarn, bzw. in Bezug auf die Anzahl zu entnehmender Konkurrenten.

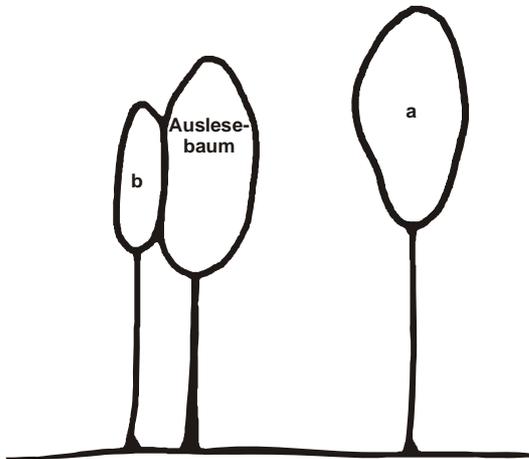
Weil die Kronen nicht absolut undurchdringliche Körpervolumen, sondern eher sternförmig angeordnet sind (zumindest bei Koniferen), könnten nah aufeinander vorkommende Kronen bis zu einem gewissen Grad ineinander treten. Bezüglich Kronenüberlappung und ihre Wirkung konnte Pretzsch (1992) für Fichten und Buchen erwachsene Bestände in reiner Form und in Mischung zeigen, dass eine Rückbildung der Kronen erst bei einer Überlappung von etwa 1,5 m im Falle der Fichtenreinbestände erfolgt und 2 m bei der Buche. (siehe Abb. 6.8). Mischbestände weisen noch grössere Überlappung bevor sie sich zurückbilden.



**Abb. 6.8:** Kronenzuwachs bzw. -rückbildung in Abhängigkeit der seitlichen Nähe der Kronen, für Fichten erwachsene Bestände und Buchen Bestände und ihre Mischungen. Negative Kronenzuwächse (Ordinate) bedeuten seitlicher Rückgang der Kronen. nach Pretzsch, (1992)

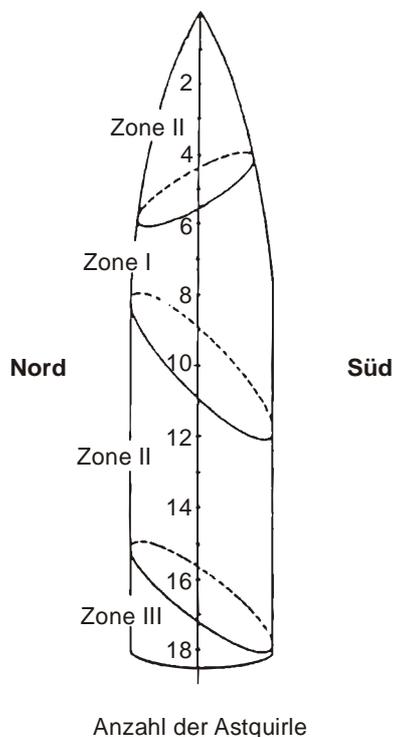
Bezüglich den Schattenwurf und seine Konsequenzen für die Reduktion der Photosynthese stellt sich die Frage, ob eher die Nähe (der horizontale Abstand) der Konkurrenten oder ihre soziale Position, d.h. der Höhenunterschied, massgebender ist. Dieses Problem in der Beurteilung der Konkurrenzwirkung, ob der Distanznächste oder der mit dem grössten Höhenunterschied mehr Wirkung auf den betrachteten Zentralbaum hat, zeigt Abbildung 6.9. Der Baum b scheint mehr zu konkurrenzieren, obwohl er sozial schlechter gestellt ist als der Baum a, der schon zu weit entfernt ist. Der direkteste Konkurrent ist also im allgemeinen

derjenige Baum, welcher im unmittelbaren Umfeld des Auslesebaumes gleichzeitig am höchsten ist und am nächsten beim Elitebaum steht. In der Praxis ist dieser stärkste Konkurrent meist leicht zu erkennen. Er befindet sich nämlich in der Regel auf derjenigen Seite des Auslesebaumes, auf welcher die Lichtkrone am meisten verformt ist.



**Abb. 6.9:** Schematische Darstellung der Konkurrenzwirkung.

Auch dürfte die Exposition zur Sonne eine Rolle spielen. Je nach Himmelsrichtung der befreiten Kronenteile wirken die Entnahme von Bäumen unterschiedlich auf die verbleibenden Bäume. Nach Woodmann (1971) sind die Kronenzonen mit guter photosynthetischer Leistung im Süden, d.h. auf der sonnenzugewandten Seite stärker ausgebildet als auf der Nord- bzw. Schattenseite. Die Ost- und Westseite der Krone weisen dabei mittlere Werte auf. (Siehe Abb. 6.10) Somit ist klar, dass die Entnahme eines Konkurrenten vor allem dann eine grosse Wirkung hat, wenn er sich auf der Südseite des verbleibenden Baumes befindet.



**Abb. 6.10:** Zonen unterschiedlicher photosynthetischer Leistung je nach Himmelsrichtung am Beispiel einer 27 m hohen Douglasie (38 Jahre).

(nach Woodmann, 1971)

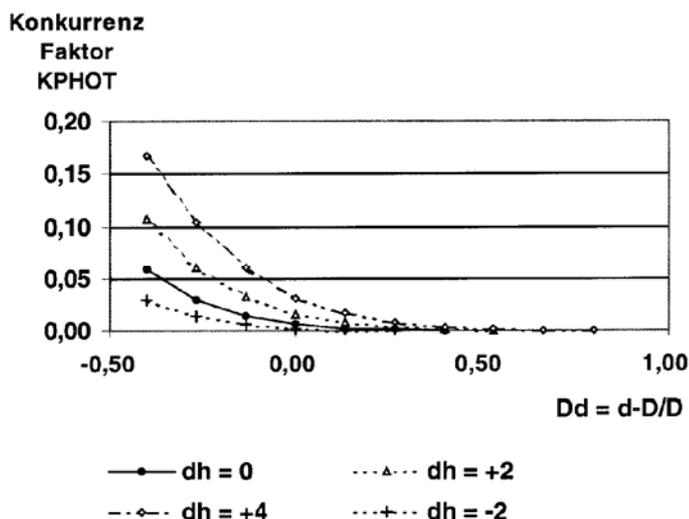
Zone I: maximale Produktivität  
 Zone II: mittlere Produktivität  
 Zone III: geringe Produktivität

In Wäldern an steilen Hanglagen haben die Baumkronen die ungünstige Tendenz, sich aufgrund einer stärkeren talseitigen Entwicklung talwärts zu krümmen und sich deshalb gegenseitig zu überlappen. Die Kronen sind also oftmals asymmetrisch ausgebildet, was aus der Sicht der Stabilität ein offensichtlicher Nachteil ist. Ein Grund dafür ist die Tatsache, dass man im steilen Gelände die Tendenz hat, die reellen horizontalen Distanzen zwischen den Bäumen zu überschätzen und dadurch schwächer einzugreifen als es effektiv notwendig wäre. Die Entwicklung bzw. Ausformung der Baumkronen wie auch die horizontale Distanzen zu den Nachbarbäumen können am Hang am zuverlässigsten beurteilt bzw. abgeschätzt werden, wenn man die Bäume von ihrer Bergseite aus betrachtet. Dies ist einer der Gründe, warum es empfehlenswert ist, in Hanglagen die Anzeichnung von oben nach unten durchzuführen.

Die Neigung des Geländes wäre aber an sich kein ungünstiger Faktor. In einem gewissen Masse verleiht eine mässige Hangneigung sogar einen leichten Vorteil in Form einer gewissen Produktionssteigerung in der Grössenordnung von 10 %. Dieser ist auf eine bessere Ausnützung des Raumes bzw. auf eine bessere Belichtung der Kronen aufgrund ihrer stufenartigen Anordnung zurückzuführen. Gemäss den systematischen Untersuchungen von McArdle et al. (1961) in Douglasienwäldern der USA liegt das Optimum der Produktionssteigerung bei einer Hangneigung von ungefähr 40 %. Wird die Hangneigung sehr gross, so beginnen die Nachteile aber deutlich zu überwiegen.

### Mass für die Konkurrenz

Die Wirkung sowohl der Kronenüberlappung wie der Reduktion der Photosynthese durch Schattenwurf lässt sich aufgrund einfacher experimenteller Modelle mit Baumkronengestalt darstellen. Der resultierende Photosynthesereduktionsgrad lässt sich erfassen in Abhängigkeit der Nähe und der Höhenunterschiede der Konkurrenten (Schütz, 1999). Es zeigt sich (Abb 6.11) dass die Konkurrenz sehr stark exponentiell mit der Nähe der Nachbarn zunimmt (in fünfer Potenz). Sie beginnt, wenn der Kronenabstand 0,5 bis 0,8 (mal die Kronenbreite) beträgt. Weiterhin zeigt es sich, dass die Wirkung der seitlichen Nähe zum Baumhöhenunterschied in einem Verhältnis von etwa 1:1,8 steht. Das heisst, die Näherung von 1 Meter hat die gleiche Wirkung auf die Photosynthesereduktion wie ein Höhenunterschied von 0,6 m.



**Abb. 6.11:** Verlauf des aufgrund der Reduktion der Photosynthese errechneten Konkurrenzfaktors (KPHOT) in Abhängigkeit des relativen Kronenabstandes ( $d-D/D$ ) und der Höhenunterschied ( $dh$ ) zwischen Konkurrent und Zentralbaum.

$d$  = Abstand zw. den Bäumen;  $D$  = Kronenbreite des Zentralbaums. Ein  $d-D/D$  von 0 bedeutet Kronenkontakt, Negativwerte: Kronenüberlappung und Positivwerte Abstand zwischen Kronen:  $dh$  Höhenunterschied in m. Gilt für Modellbeispiel Fichte.

nach Schütz, (1999)

## Situative Konkurrenz

Das Prinzip der situativen Betrachtung lässt sich auch in Bezug auf die Beurteilung der Anzahl zu entfernenden Konkurrenten baumweise interpretieren. Es ist naheliegend, dass hochvitale vorherrschende Bäume weniger Standraumbefreiung bedürfen als noch knapp herrschende Elemente. Im Sinne effizienter und naturoportuner Pflege soll dieses Prinzip viel mehr als bisher bei der Durchforstung berücksichtigt werden. Wenn wir uns nämlich nur um das Kollektiv der herrschenden Bäume in Endverteilung interessieren, müssen wir auch das Selbstentwicklungspotential von nur diesen (je nach Baumarten zwischen 100 und 250 stärksten Stämme pro ha) betrachten und möglicherweise innerhalb dieses Kollektives in ähnlicher Art und Weise wie bei der Qualität die Eingriffe auf die notwendigen Standraumerweiterungsbedürfnisse ausrichten.

Schon Pardé (1981) hat in hundertjährig beobachteten Versuchsflächen in Frankreich gezeigt, dass sich in schwach durchforsteten Versuchsflächen der Buche eine gute Selbstdifferenzierung ergibt und dass die 100 stärksten Bäume praktisch die gleichen Dimensionen erreichen wie in unterschiedlich stark durchforsteten Vergleichsflächen. Zu ähnlichen Ergebnissen führen die Bayerischen Beobachtungen aus ertragskundlichen, langfristigen Versuchsflächen. Nach Utschig (1997) wird der Durchmesserzuwachs der Oberhöhenbäume von Buchenbeständen (100 stärksten pro ha) nur geringfügig beeinflusst durch die Eingriffstärke. Es sieht also so aus, dass in Buchenbestockungen eine genügende Anzahl von Bäumen (zumindest für das Kollektiv der 100 stärksten/ha) mit natürlicher (oder angeborener) hoher Vitalität und Wettbewerbsfähigkeit sich in der Bestockung ohne Hilfe von Durchforstungseingriffen selbst durchsetzen. Bei der Fichte zeigen Preuhsler et al. (1989) ähnliche Tendenzen für 50jährige Fichtenbestände.

Diese Beobachtungen erlauben das Problem der Effizienz der Befreiung kritisch zu beleuchten. Indem eine Befreiung auch Kosten verursacht, aber auch die produktionierende Biomasse vermindert, was im Extremfall zu Zuwachsverlusten führen kann. Solche Verluste lassen sich volumenmässig bei der Buche, wenn die Grundfläche unter 22 m<sup>2</sup> zurückgeht, nachweisen (Freist, 1962; Klädtke, 1997). Wie dem auch sei, es lässt sich überlegen, inwieweit das Selbstentwicklungspotential der Bäume bisher genügend beachtet wurde. Das führt zu differenzierten Eingriffen mit dem Ziel, nicht in jeden Fall gleich stark einzugreifen. Insbesondere gut entwickelte übervitale Bäume mit dominantem Sozialverhalten bedürfen keiner Befreiung. Die Zurückhaltung dürfte ein äusserst wirksames Mittel der biologischen Rationalisierung darstellen.

## Wuchsförderung in Kombination mit der Generationsablösung: Vom Lichtwuchs zur Lichtung

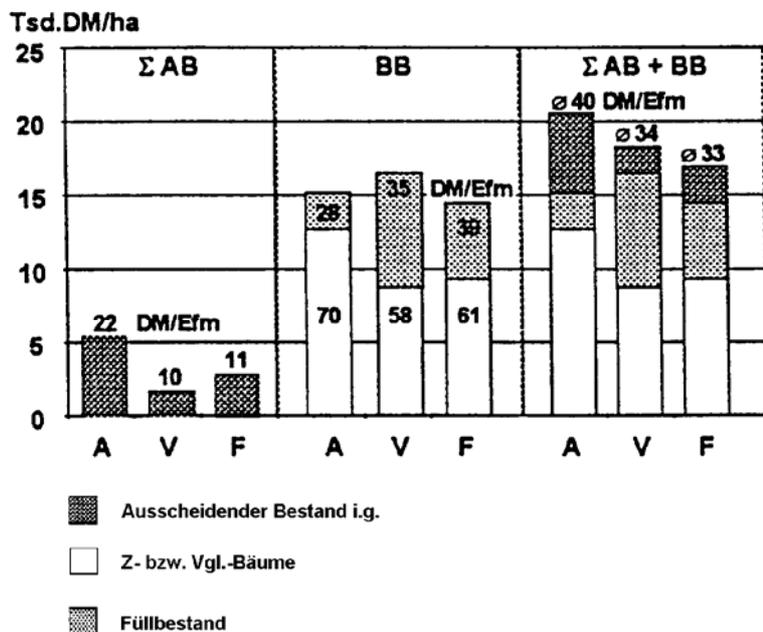
Im Gegensatz zu den Aussagen über soziale Selbstentwicklung der 100 stärksten Buchen konnte Freist (1962) für ältere Buchenbestockungen einen deutlichen Effekt von kräftigen Eingriffen mit Unterbrechung des Kronendaches in der Phase der Lichtung auf den Durchmesserzuwachs der 100 stärksten Bäume nachweisen. Dies unterstützt Konzepte der Förderung des Zuwachses erst gegen Ende der Produktionszeit, sehr oft mit nahtlosem Übergang in die Verjüngung (Lichtungsbetrieb). Zum besseren Verständnis der verschiedenen Formen von waldbaulichen Vorgehen von Abschluss bis Ablösungsphase des Bestandeszyklus siehe Tab. 6.12.

Beim Lichtwuchsbetrieb geht es noch eindeutig um eine Form der Wuchssteuerung, welche sich bemüht, keine Produktionsverluste einzubauen. Es ist also eine Form der Bestandeserziehung. Bei der Lichtung und weiteren Formen mit markanter Unterbrechung des Kronendaches geht es um die Benützung einer Wuchsbeschleunigung während der Ablösung der Generationen. Diese Fragen werden im Skript Waldbau II (Waldverjüngung) diskutiert.

**Tabelle 6.12:** Formen der gestaffelten Ablösung der Generationen bei Buchenbeständen mit entsprechendem Grundflächenrahmen (nach: Freist, 1962)

Nutzungssysteme	Grundflächenbereich (m <sup>2</sup> )
Durchforstungsbetrieb	25 - 30
Lichtwuchsdurchforstung	22 - 25
Lichtungsbetrieb	18 - 20
Zweihiebige Bestände :	
- Am Anfang	16 - 20
- Ab Stangenholz	4 - 8
Überhalt	2 - 4

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



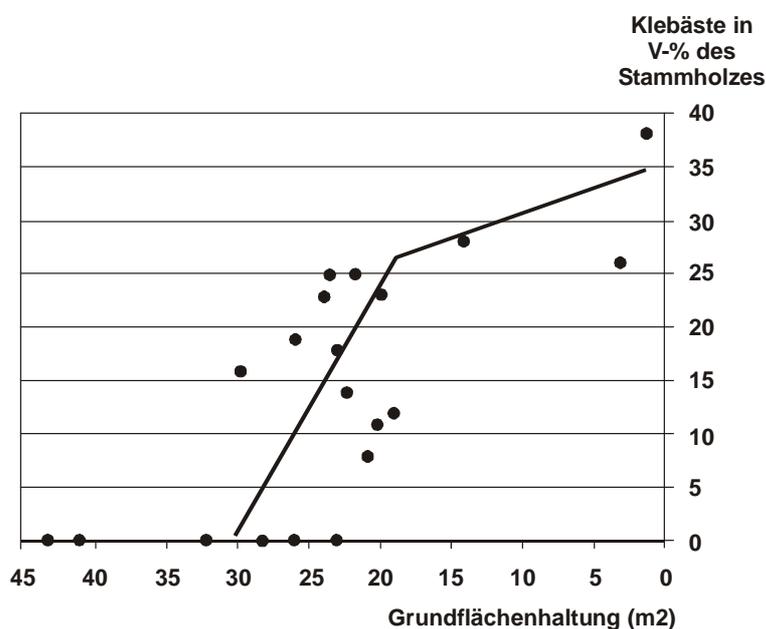
**Abb. 6.13:** Wertkalkulation bei Hiebsreife der Leistung des Lichtwuchs- bzw. Lichtungs- und Durchforstungsbetriebes am Fallbeispiel der Buche.

Dargestellt sind die erntekostenfreien Werte der Vornutzungen ( $\Sigma AB$ ) des Endbestandes ( $\Sigma BB$ ) und der Gesamtwuchsleistung ( $\Sigma AB$  und BB). Kostenpreisbasis 1995, Baden-Württemberg. Die entsprechenden Leistungen der Z-Bäume sind getrennt ausgewiesen gegenüber dem Füllbestand.

A = Lichtwuchsdurchforstung nach Altherr;  
 V = Klassische Durchforstung;  
 F = Lichtungsbetrieb nach Freist (1962)  
 (nach Klädtker, 1997)

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 einen deutlichen Zusammenhang zwischen Kronenschluss und Anteil an Klebästen (siehe Abb. 6.14). 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 (Altherr et al. 1984 ; Klädtke, 1997) ab. Klebastbildungen in noch jüngerer Bestockung (Alter 50 bis 60) bildeten sich stärker zurück als in älteren Bestockungen.

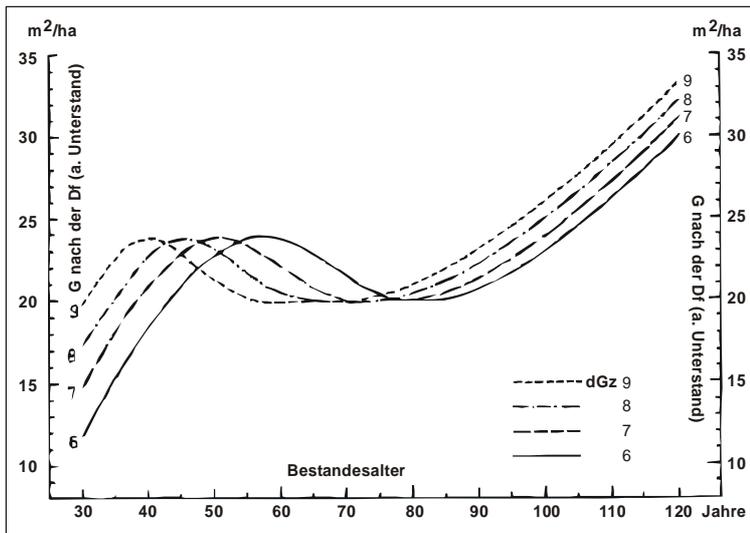


**Abb. 6.14:** Klebastbildung und Bestockungsdichte bei der Buche im Lichtwuchsbzw. Lichtungsbetrieb.

(nach Freist, 1962)

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. Diese Eigenschaft des Vorweisens von Klebästen wird als Auslesekriterium in einem solchen Fall betrachtet.

In Rücksicht auf das heutige grosse Vorkommen und die wirtschaftliche Bedeutung der Farbverkernung bei der Buchenwirtschaft, welches Phänomen in Zusammenhang mit der Alterung primär abhängig zu sein scheint (v. Büren, 1998; Höwecke et al. 1991; Seeling, 1992; Höwecke 1998), müssen die Vorteile solcher Systeme nicht allzu überschätzt werden. Ein frühzeitiger Beginn des Lichtwuchses (d.h. im Alter 45 bis 65 Jahren) scheint aber ein durchaus denkbare Pflegemodell zu sein (Klädtke, 1997 ; Schütz, 1998). Siehe dazu den Verlauf der Grundflächenhaltung im Lichtwuchsbetrieb nach Altherr (1971).



**Abb. 6.15:** Grundflächenverlauf im Fall des Lichtwuchsmodells nach Altherr. (nach Altherr, 1971)

### 6.5.3 Kostenwirksamkeit und Maschineneinsatz

Die lohngelunden hohen Kosten haben unmittelbaren Einfluss auf die Form der Jungwaldbehandlung und entsprechend der Pflegekonzepte. Nebst den Kosten für die Holzernte fallen die Kosten für Jungbestandespflege an zweiter Stelle der forstlichen Betriebsabrechnung. Darunter haben die Kosten für die Pflege von Stangenhölzern den grössten Anteil. Bei motormanueller Nutzung liegt der Grenzdurchmesser, bei welchem noch kostendeckende Ernte möglich ist, bei einem BHD von ca. 25 cm für Fichte und 30 cm für Laubholzarten. Reduzierungen dieser Pflegekosten lassen sich in unterschiedlicher Art überlegen:

- gleiche Intensität der Jungwaldpflege wie bisher, aber:
  - Bäume im Bestand liegen oder sogar stehen lassen, nach einfachem vertikalem Schrägschnitt
  - Devitalisierung der Konkurrenten durch Ringeln
- Veränderung der Intensität: Neue pflegebewusste Behandlungskonzepte mit z.B. situativen Eingriffen und Förderung der biologischen Rationalisierungen
- Verschiebung der Wuchsregelung in Dimensionen mit besserem Kostendeckungsbeitrag
- Integration aller Rationalisierungsmöglichkeiten: technischer und biologischer Art

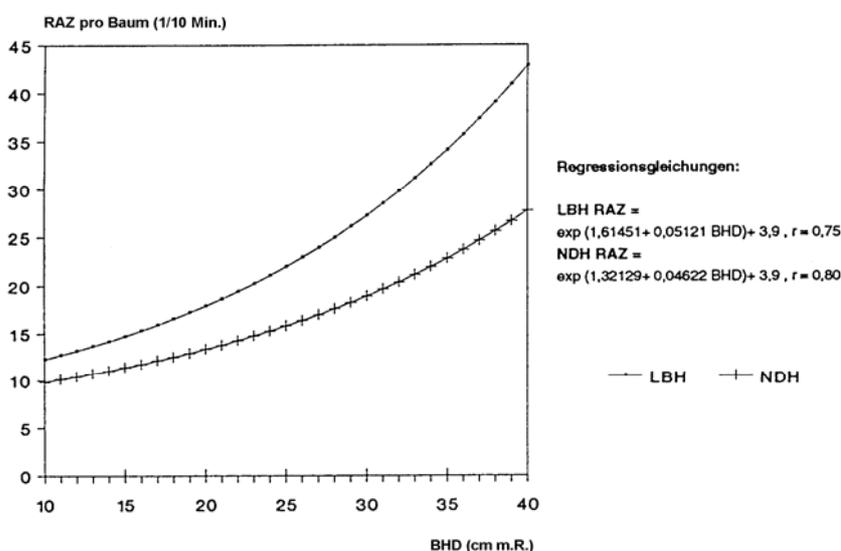
Der Einsatz von Vollerntern lässt heute eine enorme Effizienzsteigerung der Arbeit in einem Verhältnis von 2 bis 2,5 mal erwarten (Pfleiderer, 1998). Die Nutzungskosten pro m<sup>3</sup> werden gegenüber der bisher klassischen motormanuellen Nutzungstechnik um 50 % günstiger (Thieme, 1999; Feller et al., 1997, Weixler et al., 1997). Somit erlauben solche Maschinen, den Grenzdurchmesser bezüglich Kostendeckungsgrad auf eine BHD-Grenze um 20-25 cm herunterzudrücken. Dies wird oftmals als Hoffnungsschimmer für die Weiterführung von intensiver Jungwaldpflege im bisherigen Umfang gesehen. Mit einer situativen Orientierung der Pflegemassnahmen sowie weiteren gezielten Massnahmen zur Effizienzsteigerung mit motormanuellen Nutzungstechniken (grobe, einfache Zerlegung der genutzten Konkurrenten oder vertikaler Schrägschnitt) erreicht man allerdings Rationalisierungen in ähnlichen Grössenordnungen. Weil doch einige Unterschiede zwischen maschineller und biologisch rationaler Jungwaldpflege bestehen, soll kritisch hinterfragt werden, ob der Einsatz der Maschinen nach wie vor angebracht ist, oder ob nicht andere Pflegekonzepte weiterzuentwickeln sind.

Zuerst muss festgehalten werden, dass der Einsatz von Vollerntern im wesentlichen für den günstigsten Fall der Behandlung von Fichtenreinbestockungen auf grossen Flächen und gute Befahrbarkeit gilt. In Wirklichkeit löst die neue Technik nicht alle Probleme, sondern führt neue ein. Die hauptsächlichen sind:

- Einsatzbereich:
  - bis Hangneigungen von 40 % für Radharvester
  - bis Hangneigungen von 60 bis 70 % für Raupenharvester, aber nur auf tragfähigen Böden (Denninger, 1998)
- Beste Leistung in gleichförmigen Koniferenbestockungen. Bei Laubhölzern ist die Wirksamkeit um etwa 30 % geringer (siehe Abb 6.16)
- Arbeitseinsatz bedarf eines Systems von genügend breiten Rückegassen, was in Jungbestockungen zu Destabilisierungseffekten führen kann

Die technischen Fortschritte sind grundsätzlich zu begrüßen. Sie erlauben es, ergonomisch günstig, arbeitssicher, erntetechnisch und ökonomisch effizient zu arbeiten. Aus diesem Grunde ist der Einsatz von Vollernter zu befürworten, sofern dieser nicht durch andere Gesichtspunkte, wie das grundsätzliche Anstreben von differenzierten und strukturierten Bestockungen, z.B. aus Gründen der Naturnähe und der standörtlichen Eignung eingeschränkt wird.

Aus waldbaulicher Sicht wird also von der Technik in erster Linie nicht die maximale Rendite, sondern Arbeitssicherheit und ergonomisches Vorgehen erwartet und dies in Kompatibilität mit den übergeordneten Zielen einer naturnahen, dezentralen Waldbehandlung. Weil die Möglichkeiten der technischen Rationalisierung, d.h. des Maschineneinsatzes im Kontext der Geländetauglichkeit nur auf begrenzten Flächenanteilen überhaupt zur Anwendung kommen können, sind wir ohnehin gezwungen, vorrangig nach Möglichkeiten zur Umsetzung von biologischen Rationalisierungsmassnahmen zu suchen. Für schweizerische Geländebedingungen wird der Einsatz von Vollerntern auf nur 30% der Waldfläche (für Fichtenstarkholz) geschätzt, aufgrund der LFI-Daten und Bodeneignungseigenschaften (Hofer et al. 2000). Für die Region Jura sind es 47 % und für das Mittelland 55 %.



**Abb. 6.16:** Leistung eines Vollernters für Nadel- und Laubholzdurchforstungsbestände in mittlerer Baumholzstufe.

Reine Arbeitszeit pro Baum (RAZ) in Abhängigkeit des Brusthöhendurchmessers.

Maschine FMG 990, Lokomo, Bestand Bern

nach Lüthy & Thees (1992)

Die Fragen, die der Waldbau an die Maschine stellt, können folgendermassen zusammengefasst werden:

- Einsatz in Laub-, Misch- und strukturierten Bestockungen. Dies ist durchaus vorstellbar, allerdings nicht mit der gleichen Wirkungsverbesserung wie in Plantagenwäldern.
- Möglicherweise nicht unbedingt Maschineneinsatz für Erstdurchforstungen, sondern eher für Nutzungen stärkerer Dimensionen, weil biologische Rationalisierungen dahin führen, die biologische Produktion mehr selbsttätig zu gestalten bzw. mit anderen Mitteln als Baumentnahmen zu steuern.
- Einsatz in Verjüngungshieben mit einer zeitlichen wie örtlichen Staffelung des Verjüngungsvorganges.
- Gerade bei erhöhten Hangneigungen sind die Folgeschäden an Boden und Bestand nicht unerheblich. Desgleichen dürfte die Stammzahldichte der Bestockungen zukünftig eine wichtige Einschränkung für den optimalen Einsatz der Maschinen darstellen, weil für stammzahlreiche Jungbestände die Arbeitsorganisation mit dichtem Netz von Maschinengassen nicht unproblematisch erscheint.

Weil flächendeckende starke Eingriffe vom Standpunkt der Stabilität aus nicht ungefährlich sind, soll auch der Maschineneinsatz mit situativen Eingriffen erfolgen. Der Vorteil der hohen Stückzahl wird dann nicht mehr so evident. Der Einsatz in Stangenholz mit hohen Stammzahlen birgt die Gefahr von zu starken Opfern für die Arbeitsweise der Maschine im Bestand, namentlich die Schaffung des relativ engen Gassensystems (30 m Abstand). Zeitlich gestaffeltere Einsätze sind aus dieser Sicht eher anzustreben. Das gleiche gilt für Misch- und Laubholzbestände. Die Alternative zur maschinellen Standraumregelung, zumindest für die Stufe Stangenholz, dürfte in Richtung einfacher motor-manueller Eingriffe (vertikaler Schrägschnitt) oder von Formen von Devitalisierung mit Ringeln oder ähnlichen Manipulationen zu suchen sein.

#### 6.5.4 Folgewirkungen der Nutzungen

Bei den flachwurzelnenden Baumarten sind die Folgen des Schleppereinsatzes die Gefahr der Entwicklung von Fäulen. Diese kommen entweder durch Wurzelverletzungen oder oberirdische Wunden beim Rücken des Holzes aus dem Bestand. Gegen Holzernteschäden geht es vor allem bei der Fichte darum, vorbeugende Schutzmassnahmen vorzusehen. Es geht primär darum, ein systematisches Befahren der Bestandesfläche durch die Rückefahrzeuge zu vermeiden.

Lange Zeit hat man die Auswirkungen der Ernteschäden unterschätzt. Die systematischen Erhebungen von Butora et al. (1986) bringen eine besorgniserregende Tatsache ans Tageslicht, die man nicht unbeachtet lassen darf. 162 Bestände auf verschiedenen Standorten, welche die unterschiedlichen standörtlichen Verhältnisse der Schweiz gut repräsentieren, wurden jeweils nach Durchforstungsschlägen auf zurückgebliebene Holzernteschäden untersucht. Dabei waren die Ernteverfahren im wesentlichen durch die für die damalige Zeit geltende Technik geprägt, nämlich der Seilzug im Bestand und Rücken mit konventionellem Schlepper. Die Untersuchung dieser Bestände hat ergeben, dass nach einer Durchforstung durchschnittlich 33 % der verbleibenden Bäume schwere Verletzungen aufwiesen. Unter schweren Wunden versteht man solche mit einer Grösse von über 10 cm<sup>2</sup>, welche bereits als Grenze für einen erhöhte Fäulebefall bezeichnet werden kann.

Diese Schäden sind hauptsächlich auf die Bringung des Holzes (Rückeschäden) zurückzuführen und hängen einerseits von den Schwierigkeiten des Geländes, namentlich der Hangneigung, sowie andererseits vor allem von der Technik der Holzbringung ab. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen auf, dass schon nach einem Eingriff im Mittel 37 %

der Auslesebäume Verletzungen aufweisen. Selbst mit der Anwendung von Abwehrmassnahmen, wie etwa der Markierung der Elitebäume und dem Gebrauch von Abweisvorrichtungen aus Metall, weisen noch 20 % der Elitebäume schwerwiegende Holzernteschäden auf.

Wie Tabelle 6.17 zeigt, schont die Holzbringung mit dem Pferd, mit durchschnittlich nur 15% Schäden, den verbleibenden Bestand am ehesten. Hingegen werden beim Rückeverfahren mit dem Bodenseilzug durchschnittlich 33%, und in Schlägen, wo das Holz unter Ausnützung der Schwerkraft direkt auf dem Waldboden den Hang heruntergelassen (gereistet) wird, im Mittel sogar 38% der Bäume des verbleibenden Bestandes beschädigt. Unter solchen Bedingungen lässt sich der begünstigende Effekt von Durchforstungen wirklich bezweifeln. Schönhar (1975), Meng (1978) und Delatour (1972) berichten aus den benachbarten Ländern von Holzernteschäden derselben Grössenordnung.

**Tabelle 6.17:** Holzernteschäden im verbleibenden Bestand in Abhängigkeit des Rückeverfahrens

Rückeverfahren	Anteil der beschädigten Bäume am verbleibenden Bestand
Pferd	15 %
Schleppen mit dem Traktor	25 %
Bodenseilzug mit Seilwinde	33 %
funkgesteuerte Seilwinde	29 %
Seilkran	34 %
Reisten	38 %

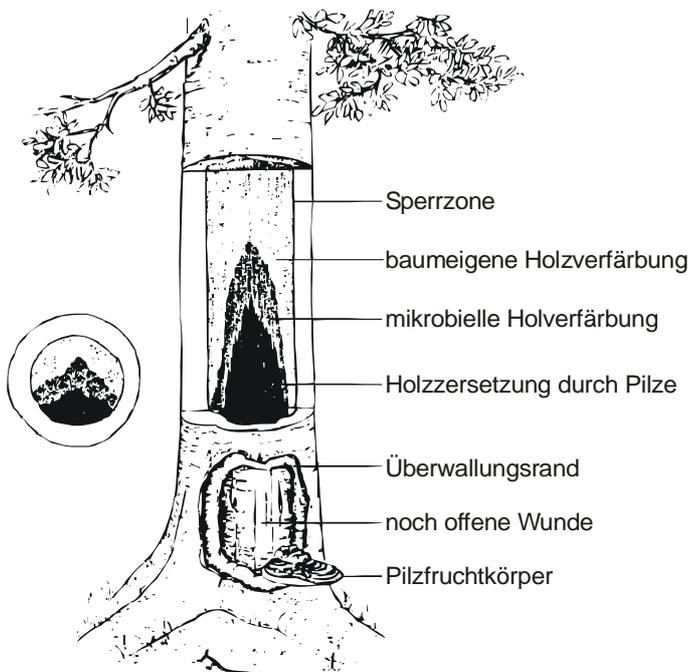
Die Auswirkungen des Maschineneinsatzes erfolgt auf zwei Wegen, durch Schaffung von Verletzungen an Grosswurzeln (> 2cm Durchmesser) und Stammwunden am Holzkörper. Das Fahren der Traktoren verursacht in den Beständen **Wurzelverletzungen**, indem die Belastung der Räder wenn sie sich den Stammanläufen um weniger als 2 m nähern, zu einem Abscheren der Wurzeln führt. Dies ist besonders bei schon natürlicherweise flachwurzelnden Bäumen wie z.B. der Fichte, sowie auf physiologisch flachgründigen Böden schwerwiegend. Man weiss, dass das Risiko einer Infektion durch pathogene Pilze von der Dicke der verletzten Wurzel abhängt. Die kleinen Wurzeln, mit Durchmesser unter 2 cm, haben normalerweise noch die Fähigkeit, den Infektionsfortschritt zu verhindern (Dimitri, 1983).

Als Erreger sind in diesem Fall pathogene Pilzarten wie der Wurzelschwamm (*Heterobasidion annosum* (Fr. Bref. (früher *Fomes annosus*)) bekannt. Sie befallen hauptsächlich Nadelbäume und führen zu schwerwiegenden Wurzel- und Kernfäulen. Die **Wurzelfäule** ist also die Folge einer Infektion von dicken, lebenden Wurzeln (und nicht von bereits abgestorbenen Wurzeln, wie man früher glaubte). Sie dringt also über die Wurzeln in den Baum ein und breitet sich von unten her, d.h. in aufsteigender Richtung, allmählich im Inneren des Stammes aus.

Wie Shigo (1976) gezeigt hat, versucht sich der Baum durch verschiedene Mechanismen gegen das Eindringen bzw. gegen die Ausbreitung einer Fäule zu wehren. So kann man im Baum verschiedene Zonen bzw. verschiedene Kompartimente erkennen, welche gegenüber Fäulen eine verteidigende Wirkung zeigen, indem sie deren Ausbreitung verzögern oder gar ganz einzudämmen vermögen. So stellt z.B. schon jeder Jahrringmantel für sich ein kleines solches Kompartiment dar, welches die Ausbreitung einer Fäule in radialer Richtung zu bremsen vermag. In tangentialer Richtung stellen v.a. die Markstrahlen ein gewisses Hindernis dar.

Zu den statischen Resistenzeigenschaften gehört an erster Stelle die natürliche Dauerhaftigkeit des Holzes, die bei den einzelnen Baumarten unterschiedlich ist. Bei einigen Laubbaumarten und der Föhre ist es im wesentlichen das Vorhandensein von obligatorisch verkerntem Holz, welches eine Fäule aufhalten kann. Im Gegensatz dazu lässt sich aber fakultativ verkerntes Holz leichter von einem Pilz erobern, was z.B. bei der Fichte der Fall ist.

Nach einer Infektion hat ein Baum verschiedene Möglichkeiten, aktiv zu reagieren: So kann durch Imprägnierung bereits vorhandenen oder durch Neubildung besonders widerstandsfähigen Gewebes das noch gesunde Gewebe von befallenen oder geschädigten Bereichen abzugrenzen. Im bestehenden Holz entsteht eine Reaktionszone, welche einen Wund- oder Fäulebereich einschliesst oder abgrenzt und welche auch mit Phenolen und Monoterpenen angereichert sein kann. Beim Laubholz erfolgt die Imprägnierung von bereits bestehendem Gewebe z.B. durch die Einlagerung von Thyllen. Um eine offene Verletzung so rasch wie möglich zu verschliessen, reagiert das Kambium am Rand der Wunde mit der Bildung von Narbengewebe, welches zur allmählichen Überwallung der Wunde führt, was allerdings mehrere Jahre dauern kann (siehe Abb. 6.18).



**Abb. 6.18:** Schematische Darstellung des Eindringens von Fäulen infolge von Nutzungswunden und die Verteidigungsmechanismen der Pflanze.

nach Shigo, (1967); in: Butin, (1983)

Je nach Baumarten sind die um- oder neugebildeten Gewebe und damit auch die verschiedenen ausgeschiedenen Substanzen mehr oder weniger wirksam im Kampf gegen die Ausbreitung der Fäule: So besitzt die Tanne, mit ihrer Fähigkeit traumatische Harzkanäle zu bilden, abgesehen von ihrem eventuellen Nasskern, der ihr eine zusätzliche Widerstandsfähigkeit gegen Kernfäulen verschafft, gegenüber der Wurzelfäule ein besseres Abwehrsystem als die Fichte und die Lärche (beides wurzelfäuleempfindliche Arten) oder die Föhre und die Douglasie, welche eine mittlere Empfindlichkeit gegenüber Wurzelfäule aufweisen.

Bei der Fichte dringt die Wurzelfäule, die durch *Heterobasidion annosum* und andere Pilzarten verursacht wird, in die zentralen, verkernten Teile der Wurzel und anschliessend auch des Stammes vor. Sie führt dort zu einer sogenannten **Kernfäule**, welche in diesem Fall auch als **Rotfäule** bezeichnet wird. Funktionell handelt es sich dabei (paradoxaerweise) um eine Weissfäule, da sie zu einer Zersetzung des Lignins, also des Stützgewebes des Holzes, und

damit zu einer allmählichen Verringerung der Widerstandsfähigkeit des Holzes führt. Diese Rotfäule wird auch als **trockene** Fäule bezeichnet.

Im Gegensatz dazu wird die Fäule, die der Hallimasch (*Armillaria mellea* (spez.) Karst.) verursacht, als **Nassfäule** bezeichnet. Da die Kernfäule, die durch den Hallimasch verursacht wird, nicht so schnell fortschreitet und im allgemeinen auf die Wurzeln und die Stammbasis beschränkt bleibt, spricht man hier auch von einer Stockfäule. Aus der Sicht der Holzentwertung ist sie weniger schwerwiegend als die Fäule, welche durch den Wurzelschwamm hervorgerufen wird. Eine Rotfäule durch den Wurzelschwamm stellt eine schwerwiegende Holzentwertung dar, da sie den wertvollsten Teil des Stammes in stärkster Masse beeinträchtigt. Da sie und ihre Eintrittspforte nicht sichtbar sind, sind sie am stehenden Stamm sehr schwierig festzustellen.

Andererseits muss man Holzfäulen, die sich in Folge einer **oberirdisch entstandenen Verletzung** gebildet haben, unterscheiden. Sie entstehen i.d.R. als Folge eines komplexen Sukzessionsprozesses unter Mithilfe anderer Mikroorganismen (Shigo, 1967). In diesem Prozess der sukzessionalen Besiedelung des Holzes sind es Hefepilze, Bakterien und andere niedere Pilze, welche als erste ins Holz eindringen. Sie bereiten das Feld für die Besiedelung durch höhere Pilze, insbesondere der Gattung *Stereum* (Schichtpilze) vor. Jene dringen einige Tage später in die Verletzungen ein, wobei bis zur Infektion einige Monate vergehen können.

Das Risiko einer Infektion über Verletzungen, wo das Holz ungeschützt freiliegt, hängt massgeblich von der Grösse der Wunde ab. Man stimmt heute überein, dass das Infektionsrisiko gegeben ist, wenn das flächige Ausmass einer Wunde die Grösse von 10 cm<sup>2</sup> übersteigt. Ebenfalls entscheidend ist dabei die Nähe bzw. die Entfernung einer Verletzung zur Bodenoberfläche. Je näher bei der Bodenoberfläche sich eine Verletzung befindet, desto grösser ist das Risiko einer Infektion des Baumes. Das ist der Grund, weshalb die Rückeschäden, und dabei besonders jene an den Wurzelanläufen, viel schwerwiegender sind als die Fällschäden.

Auf diese Weise infizierte Verletzungen führen i.d.R. nur zu einer lokalen Holzfäule mit einer beschränkten Ausdehnung. Im allgemeinen kommt die Ausbreitung einer Holzfäule zum Stillstand, wenn die Wundstelle vollständig überwältigt und damit wieder geschlossen ist; wodurch jedoch im Holz trotzdem eine Fäuletasche zurückbleibt (Dimitri, 1983). Dies gilt, solange nur das Splintholz von der Fäule erfasst wurde. In solchem Fall sind die Konsequenzen, sowohl für den Baum wie auch aus der Sicht der Holzentwertung, weniger gravierend als im Fall einer sich ausbreitenden Wurzelfäule.

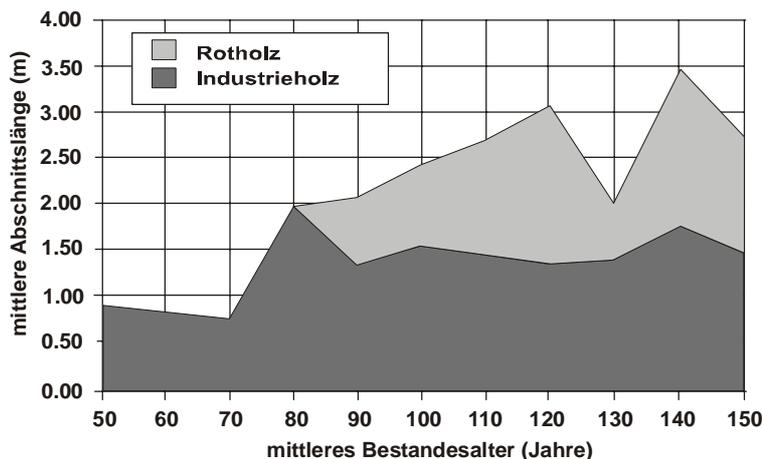
Wenn jedoch auch das Kernholz infiziert wird, so kann die als Folge einer oberflächlichen Verletzung entstandene Wundfäule ebenfalls zu einer eigentlichen Kernfäule ausarten. Dies ist v.a. bei tiefgreifenden Verletzungen und in gealterten Beständen, wo der Splintholzanteil der Bäume immer kleiner wird, der Fall. Eine auf diese Weise entstandene Kernfäule unterscheidet sich in ihrer weiteren Entwicklung und in ihren Folgen praktisch nicht mehr von einer Kernfäule, durch Wurzelverletzungen verursacht.

Das Risiko von holzentwertenden Fäulen hängt also einerseits vom Alter der Bestände und von der Grösse der Verletzungen ab, andererseits sind aber auch die Fähigkeiten der einzelnen Bäume, eine Infektion abzuwehren, von Bedeutung. So ist nach Dimitri (1983) in sehr jungen Fichtenbeständen das Risiko von Infektionen durch Fäulepilze sehr gering. In Beständen unter 40 Jahren ist das Infektionsrisiko sogar praktisch gleich null, steigt danach aber beträchtlich an.

Die Bedeutung der Schäden, welche auf oberflächliche Verletzungen durch die Holzbringung zurückgehen, ist zwar nicht so gross wie diejenige der Schäden infolge der Wurzelfäulen. In ihren Auswirkungen sind aber auch die Holzentwertungen infolge von oberflächlichen Verletzungen nichtsdestoweniger besorgniserregend. So kann man schätzen, dass die Folgen

eines einzigen Eingriffes, Holzwertverluste in der Höhe von 12% verursachen. Meng (1978) schätzt für die jährlichen, fäulebedingten Verluste an Holzvolumen für Baden-Württemberg Werte der Grössenordnung von 10 bis 14 % der Hiebsätze.

Graber (1994, 1996) hat in einer breit angelegten Studie über Ausmass der Rotfäule in der Schweiz die reellen Verluste in Fichtenbeständen (Abb. 6.19) gezeigt. Die Schäden haben wirtschaftlich zwei Formen. Das entwertete Rotholz (Nagelfest) lässt sich zu verminderten Preise noch verkaufen. Das Faulholz bringt praktisch Totalverlust, lässt sich höchstens als Industrie- oder Brennholz noch verwerten. Das Ausmass der Schäden nimmt mit dem Bestandesalter deutlich zu.



**Abb. 6.19:** Entwertung der Holzproduktion von Fichtenbeständen durch Fäulen. Abschnittslängen von Rotholz und Faulholz in Abhängigkeit des Bestandesalters.

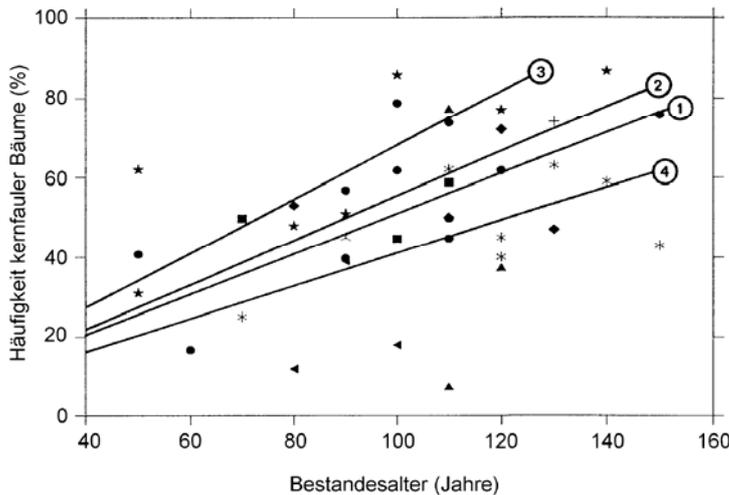
(nach Graber, 1995)

Die Ablösung des Pferdes durch den Forstraktor als Rückemittel brachte zwar eine deutliche Verbesserung in Form einer deutlichen Senkung der Rückekosten. Man kann aber berechnen, dass diese Verbesserungen durch einen Anstieg der fäulebedingten Verluste, in einem Verhältnis von 2,5 wieder weitgehend negativ kompensiert werden (Schütz, 1985). Der sogenannte Rationalisierungseffekt, den man sich durch die Mechanisierung der Holzernte erhofft, ist also in Wirklichkeit kontraproduktiv. Damit ist in jedem Falle bei gesamthafter ökonomischer Betrachtung nicht diejenige Maschine am rationellsten, welche aus der Sicht der Holzerntekosten am leistungsfähigsten ist, sondern diejenige, welche bei möglichst niedrigen Kosten eine möglichst schonende Holzernte erlaubt.

Die Untersuchungen von Graber (1995) zeigen, dass der Standort eine gewisse Rolle spielt. Wie Abb. 6.20 zeigt, führen gutwüchsige Standorte zu grösserem Befallrisiko als etwa kalkreiche Buchenwaldstandorte.

Als weitere Einflussgrössen für die Entstehung und Entwicklung der Fäulen fand Graber (1995) :

- Bestandesalter. Es ist eine deutliche Zunahme der Schäden ab 40 Jahren feststellbar
- Begründungsart : Bei Naturverjüngung ist deutlich weniger Befall vorhanden
- Schattenwuchs : Bei Pflanzung unter Schirm entwickeln sich später wesentlich weniger Fäulen
- Mischung : mit Tanne ergeben sich weniger Fäulen, mit Buchen mehr



- 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)

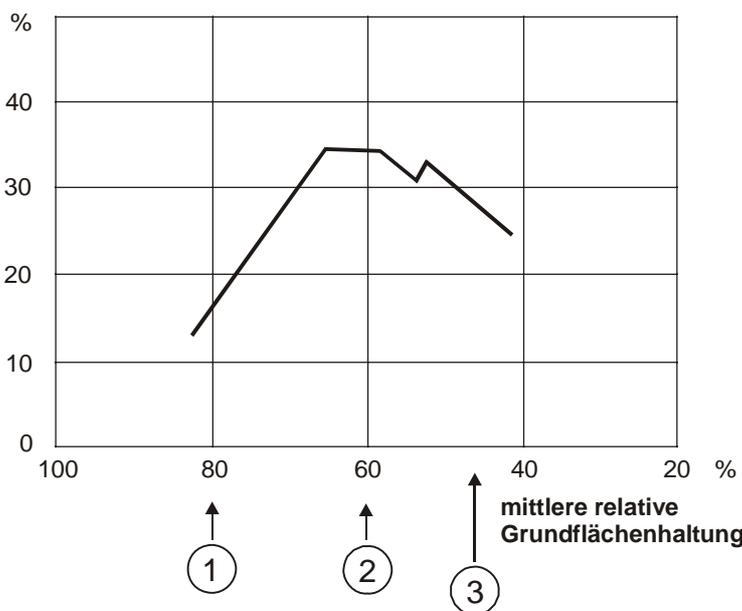
**Abb. 6.20:** Einfluss des Standortes über die Gefahr von Rotfäulebefall bei der Fichte. Rotkernhäufigkeit in Abhängigkeit des Bestandesalter von repräsentativen Standortseinheiten.

nach Graber (1995)

**Auswirkung der Durchforstungsstärke auf Rotfäule**

Abgesehen von der Tatsache, dass die Rotfäule die jungen Fichtenbestände unter 40 Jahren noch nicht stark zu gefährden scheint (Dimitri, 1983), ist die Anzahl der von der Rotfäule von *Heterobasidium annosum* (Wurzelschwamm) befallenen Bäume von der Intensität der Durchforstungen abhängig. Dies bezeugen die Beobachtungen von Bryndum (1969) in den bereits erwähnten dänischen Fichten-Durchforstungsversuchen von Gludsted (siehe Abb. 6.21).

**Anteil der durch *Heterobasidium annosum* befallenen Bäume**



**Abb. 6.21:** Rotfäule im Fichten-Durchforstungsversuch Gludsted (Dänemark) im Alter 70 nach Durchforstungsart und -grad.

nach Bryndum (1969)

- ① Dichte der Ertragstafel von Assmann und Franz (1963) (optimale Volumenproduktion)
- ② Dichte der schweizerischen Ertragstafel von Badoux (1968) (Auslesedurchforstung)
- ③ optimale Wertproduktivität im Versuch von Bryndum (1969)

Nach einer anfänglichen Zunahme nimmt die Anzahl der befallenen Bäume bei einer sehr kräftigen Eingriffspraxis allerdings wieder ab. Dies lässt sich dadurch erklären, dass in schwach durchforsteten Beständen die Verletzung entsprechend der kleineren Zahl der Baumentnahmen geringer ausfallen. In starken Varianten sind die Abstände zwischen den verbleibenden Bäumen derart breit, dass Kollisionen beim Rücken der Baumentnahmen entsprechend geringer sind. Der Bekronungsgrad bzw. Vitalitätsstand der Bäume scheinen keinen wesentlichen Einfluss auszuüben, wie die Ergebnisse von Graber gezeigt haben.

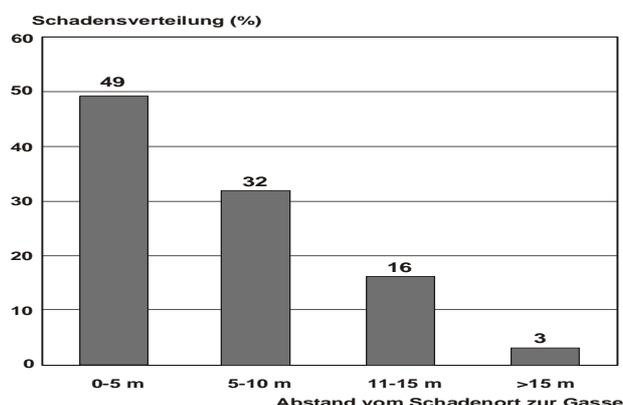
### **Massnahmen zur Abwehr von Fäulen**

Durch verschiedene Massnahmen ist es möglich, die schwerwiegenden Nachteile der Pflegeeingriffe in akzeptablen Grenzen zu halten (Dimitri, 1986). Eine wichtige Möglichkeit liegt, erneut, in der Wahl der Baumarten. Dabei sind die Baumarten mit einer dünnen Rinde, wie etwa die Fichte oder die Buche, besonders anfällig auf Holzernteschäden (Dimitri, 1983; Knorr, 1980). Es bestehen ebenfalls gewisse Möglichkeiten in der Wahl der Provenienzen. Nach Dimitri (1980) scheinen nämlich bei der Fichte gewisse Provenienzen zu geben, welche offensichtlich weniger anfällig auf Fäulen sind als andere.

Durch eine Reihe von präventiven, organisatorischen und anderen Massnahmen, wird es möglich, die Ernteschäden merklich einzuschränken. Wie dem auch sei, so steht jedenfalls fest, dass die Produktion von Qualitätsholz mit einer schonenden Holzernte einhergehen muss, welche durch qualifiziertes (d.h. gut ausgebildetes) Personal und unter der Verwendung von angemessenen Maschinen ausgeführt werden muss.

Weil das Fäulerisiko bzw. die Fäuleanfälligkeit von Beständen mit deren zunehmendem Alter ansteigt, müssen auch die Pflege- bzw. Durchforstungseingriffe mit zunehmendem Alter immer behutsamer ausgeführt werden. Deshalb empfiehlt es sich, die erzieherischen Eingriffe im Rahmen des Möglichen auf die Jugendphasen der Bestände zu konzentrieren, wo sowohl die Verletzungsgefahr wie die Grösse der einzelnen Verletzungen geringer ist, und entsprechend auch die Infektionsgefahr weniger gross ist.

Im Falle des Einsatzes des Vollernters, auch wenn diese Technologie als bestandes- und bodenschonender gilt als der Seilzug mit Traktor, entstehen Bestandesschäden (siehe Abb. 6.22). Dies ist insbesondere der Fall, wenn der Einsatz während der Vegetationsperiode erfolgt. Eine genügend dichte Feinerschliessung (Abstand: 30 m, entspricht etwa zwei Kranlängen) ist entsprechend angebracht. Weil die Maschine in der Arbeitsgasse herumschwenkt, ist eine grössere Breite des Feinerschliessungssystems anzustreben als beim Schleppereinsatz. Die Gefahr einer Destabilisierung der Bestockung ist dabei nicht zu unterschätzen.



**Abb. 6.22:** Ernteschäden infolge des Vollerntereinsatzes, dargestellt in Abhängigkeit der Distanz zur Arbeitsgasse. Gilt für einen mittleren Vollernter Typ FMG 990 Lokomo.

nach Lüthy & Thees, (1992)

Weitere organisatorische Abwehr gegen Ernteschäden sind:

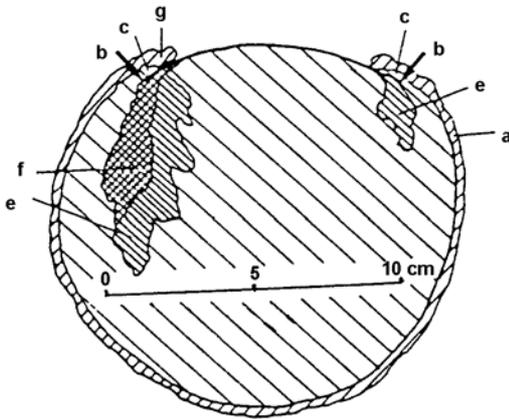
- Es sollen angemessene Rückefahrzeuge, wie zum Beispiel Forstraktoren mit funkgesteuerten Seilwinden verwendet werden.
- Die Arbeiten sollen von gut ausgebildetem Personal in Regie (d.h. im Stundenlohn) ausgeführt werden.
- Die Fäll- und insbesondere die Rückearbeiten sollen während der Vegetationsruhe und bei möglichst günstigen Bedingungen durchgeführt werden.
- Die Arbeiten und besonders deren Ergebnisse sollen kontrolliert und hinsichtlich deren Qualität bewertet werden. Für schonungsvoll ausgeführte Arbeiten können Qualitätszulagen gewährleistet, d.h. vereinbart werden.
- Eine Markierung der Ausleseebäume zeigt klar, auf welche Bäume besonders Rücksicht genommen werden muss. Die Markierung ist gut sichtbar, aber nicht auf permanente Art und Weise anzubringen. Um eine Entfremdung des natürlichen Waldbildes zu verhindern, soll auf die Verwendung von nicht natürlich abbaubaren Materialien, wie etwa Plastikbänder, verzichtet werden.
- An besonders gefährdeten Stellen (z.B. bei Änderungen der Ruckerichtung oder in den Einmündungsbereichen von Rückegassen) lohnt es sich, die Ausleseebäume durch angemessene Schutzvorrichtungen (z.B. Abweisstangen aus Holz, Asthaufen oder auch Abweisvorrichtungen aus Metall) vor Beschädigungen zu schützen.
- Durch eine Organisation des Holzschlages erreicht man, neben einer bedeutenden Verringerung der Unfallgefahr, dass die Bäume, notfalls unter Verwendung von Seilzugvorrichtungen, in eine günstige Richtung gefällt werden können, was einerseits die Schäden am verbleibenden Bestand verringert und andererseits die Aufrüst- und Rückearbeiten erleichtert.
- Auch die eigentliche Rückearbeit soll organisiert sein und, zum Beispiel durch die Verwendung von Umlenkrollen, mit der notwendigen Sorgfalt ausgeführt werden.

Letztendlich darf man sich trotz Anwendung der besten vorbeugenden Schutzmassnahmen keine allzugrossen Illusionen machen. In einem gewissen Ausmass wird man bei jeder Holzerei mit Holzernteschäden zu rechnen haben. Wenn nun diese Schäden entstehen, so ist es durchaus angebracht, durch eine angemessene Wundbehandlung wenigstens das Infektionsrisiko zu verringern.

### **Die Behandlung von holzerntebedingten, und dabei namentlich durch Rückeschäden verursachten Verletzungen**

Man weiss heute, wie an holzerntebedingten Verletzungen der Infektionsprozess durch Pathogene abläuft. Dadurch wird es möglich, bei entstandenen Verletzungen durch die Anwendung von geeigneten Massnahmen eine gewisse Abhilfe zu schaffen. Seit den Arbeiten von Shigo (1967) und Dimitri (1983) ist bekannt, dass sich der Infektionsprozess (von der Verletzung bis zur Holzfäule) in einer Art von Sukzession abspielt. Dabei dringen als erstes niedrige Mikroorganismen in die Verletzung ein. Es handelt sich um Bakterien, Hefepilze und niedere Pilze, welche noch keine pathogene Wirkung haben. Sie führen auch noch nicht zu einer eigentlichen Fäule, sondern bereiten in gewissem Sinne das Terrain für eine Infektion durch höhere Pilze vor. Letztere dringen erst einige Tage oder gar erst einige Wochen nach der Entstehung der Verletzung in die Wunde ein; wobei sie sich erst einige Monate später zu einer eigentlichen Holzfäule entwickeln (Dimitri, 1983). Die Infektion und die Entwicklung der Fäulen findet bevorzugt an den Rändern der Wunde statt; dies ist vor allem dann der Fall, wenn diese Wundrandbereiche Risse, Rindenreste oder Partien aufweisen, in denen das Holz gequetscht oder aufgerissen ist. Kurz gesagt sind vor allem diejenigen Stellen infektions- und fäulegefährdet, an denen eine gewisse Feuchtigkeit aufrechterhalten bleibt. Die Abb. 6.23 zeigt das Ergebnis eines solchen Infektionsprozesses.

Der erste Schritt der Wundbehandlung ist die Vorbereitung der Wunde (Schumann, 1985). Es geht dabei darum, die Umrandung der Wunde mit einem geeigneten Werkzeug, z.B. einem gut geschliffenen Messer oder einem speziellen Hohlmeißel freizuschneiden. Dadurch soll erstens der Überwallungsprozess angeregt und zweitens die Entstehung von Bereichen mit erhöhter Feuchtigkeit vermieden werden. Unter Verwendung eines Messers oder einer Metallbürste, werden noch vorhandene Rindenreste von der Wundoberfläche entfernt, sowie diejenigen Partien sorgfältig herauspräpariert, in denen der Holzkörper aufgerissen oder gequetscht ist.



**Abb. 6.23:** Bevorzugte Stellen der Infektion und Fäuleentwicklung an einer holzerntebedingten Stammverletzung.

(nach Schumann, 1985)

- a intakte Rinde
- b ursprüngliche Breite der Verletzung
- c bereits überwallter Bereich
- d Schutzschicht
- e Holzverfärbung
- f beginnende Holzersetzung
- g Bereiche mit noch anhaftenden Rindenresten

Anschliessend können die Wunden mit einem geeigneten Wundverschlussmittel angestrichen werden. Die Arbeit wird am besten so schnell wie möglich nach der Rückarbeit durchgeführt. Wenn es möglich ist, soll die Wundbehandlung noch am selben Tag, an dem die Wunde entstanden ist, oder sonst zumindest in den darauffolgenden Tagen durchgeführt werden. Regnerisches Wetter und Frost sind dabei jedoch zu meiden. Der Schutzanstrich bietet allerdings keinen absoluten Schutz vor einer Infektion. Nach Schumann (1985) verleiht eine solche Behandlung in etwa 60 % der angewendeten Fälle einen effektiven Schutz. Diese nicht unbedingt überaus hohe Erfolgsrate ist ein weiterer Grund für die möglichst konsequente Anwendung der vorbeugenden Schutzmassnahmen.

In Wäldern, in denen das Holz mit dem Seilkran gerückt wird, besteht das Feinerschliessungsnetz aus permanenten Seillinien. Bei den hier zu befürchtenden Holzernteschäden handelt es sich vor allem um Stammverletzungen. Obwohl Beschädigungen der Wurzeln oder des Waldbodens bei der Holzernte mit dem Seilkran kaum zu erwarten sind, versucht man auch hier die Auswahl von Ausleseebäumen direkt entlang der Seillinien zu verhindern.

---

## 7. DIE WERTASTUNG

---

### 7.1 GRÜNDE FÜR DIE KÜNSTLICHE ASTUNG

Das Entfernen der Äste, die sogenannte **künstliche Astung** (auch **Wertastung** genannt) stellt eine der Massnahmen dar, welche es erlauben, die Produktion von hochwertigem Qualitätsholz beträchtlich zu verbessern. Im Falle eines auf hoher Wertschöpfung ausgerichteten Waldbaus, gehört die Wertastung daher zweifellos zu den anzuwendenden Massnahmen. Wie bereits aufgezeigt wurde, stellen die Äste für die Verarbeitung sämtlicher Werkhölzer den wichtigsten, d.h. schwerwiegendsten Holzfehler dar. Bei totasterhaltenden Baumarten findet, auch unter den idealsten Bedingungen, die natürliche Astreinigung nicht frühzeitig genug oder überhaupt nicht statt. Deshalb drängt sich bei diesen Baumarten die Notwendigkeit auf, die Äste rechtzeitig auf künstliche Art zu entfernen. Dies gilt mit Ausnahme der Lärche, bei allen Nadelbäumen, und unter den Laubbäumen beim Kirschbaum, der Roteiche, der Pappel und dem Nussbaum.

Die sog. Totastverlierer hingegen besitzen natürliche Mechanismen zur natürlichen Abschottung der dürr gewordenen Äste, nachdem zuerst eine Trennungszone durch Einlagerung von Parenchymzellen im Holz am Ansatz der Äste gebildet wird (Gelinsky, 1933). So können die Pilzorganismen, welche in den Ast eindringen nicht weiter in den Holzkörper eintreten, und wenn der Ast genügend vermorscht ist, fällt er durch das Eigengewicht in einem Stück. Solche Baumarten können also ihre Äste im Gegensatz zu den Totasterhaltern rechtzeitig auf natürliche Weise verlieren. So ist die künstliche Astung für Totasterhalter eine waldbauliche Massnahme, die systematisch ausgeführt werden kann bzw. soll. Ihr Effekt, stellt zweifellos einen der wirksamsten wertschöpfenden Massnahmen im Waldbau dar. Olischläger (1971) misst diesem Effekt sogar noch eine grössere Bedeutung zu als demjenigen der Durchforstungen.

Wird nämlich die Wertastung nach den Regeln der Kunst und im richtigen Zeitpunkt ausgeführt, so ermöglicht sie in der Tat bedeutende Wertsteigerungen. Man erhält so hochwertige Sortimente, z.B. in Form von schäl- oder messerfurniertauglichen Stämmen mit einem astfreien Holzanteil von über 90 % (Beda, 1987), die zu Preisen gehandelt werden, welche, zum Beispiel bei der Fichte, 150 bis 450 % der nicht geasteten Stämme erzielen kann (Olischläger, 1971). Für andere Baumarten kann man ähnliche Preisverbesserungen verzeichnen. So bewirkt nach Hubert und Courraud (1987) die korrekte künstliche Astung entsprechende Wertverbesserungen in der Grössenordnung von 550 % für die Kastanie, 450 % für den Kirschbaum sowie 400 % für die Esche und die Ahorne. Die finanziellen Vorteile dieser Massnahme sind so beträchtlich, dass es sehr erstaunlich ist, dass die Wertastung in der Praxis nicht viel konsequenter und systematischer angewandt wird.

Die Entfernung von Ästen, ob sie nun noch lebend oder bereits abgestorben sind, stellt jedoch einen, wenn auch nicht sehr brutalen, dann doch zumindest künstlichen Eingriff in den Holzkörper bzw. den Assimilationsbereich des Baumes dar. Die künstliche Astung kann demnach gewisse Unannehmlichkeiten mit sich bringen. Im Falle der Abtrennung von lebenden Ästen entsteht einerseits ein gewisser Verlust an Blattmasse; andererseits hat jede Astung Verletzungen des Holzkörpers zur Folge, und stellt Eintrittsporten für Holzverfärbungen und holzfäuleverursachende Pathogene dar. Man muss sich also auch der ungünstigen Auswirkungen eines solchen Eingriffes bewusst sein.

Neben dem in erster Linie erwünschten Vorteil der Homogenisierung der Holzstruktur durch die Entfernung von strukturstörenden Fremdkörpern, führt die Wertastung aus holztechnologischer Sicht auch zu keiner Verschlechterung anderer technologischer Eigenschaften. Dies, weil die Wertastung ferner zu einer Erhöhung des Spätholzanteiles, der Faserlänge und der Holzdichte führt, und zudem auch eine Verminderung der Drehwüchsigkeit und des Druckholzes bewirken kann (Keller et al., 1984; Polge et al., 1973). So kann die künstliche Astung nach Polge (1969) in keinerlei Weise als ungünstig bezeichnet werden. Ferner kann man hinzufügen, dass die Abtrennung der lebenden Äste, durch die Förderung der Vollholzigkeit (Keller et al., 1987; Keller et al., 1984) zu einer Verbesserung der Stammform und damit auch zu einer Erhöhung der Holzsausbeute in der Sägerei führt. All diese Aspekte tragen dazu bei, dass man die Durchführung der Wertastung nur empfehlen kann. Zahlreiche Untersuchungen aus Sägereien und Furnierwerken bezeugen, dass sowohl Holzfäulen wie auch Holzverfärbungen, die man beide sehr wohl als eine Folge der künstlichen Astung vermuten könnte, bei wertgeastetem Holz nur in sehr geringem Masse auftreten (Zumer, 1966), so gut wie vernachlässigbar sind (Meyer, 1968) oder gar überhaupt nicht vorkommen (Nägeli, 1952).

Ein anderer Holzfehler, der beim Furnierholz, und dabei insbesondere bei Messerfurnier-sortimenten der Fichte als schwerwiegend zu betrachten ist, ist das Vorhandensein von Harztaschen. Es gibt keinen Hinweis von irgendeinem Zusammenhang zwischen dieser Art von Holzfehlern und der Wertastung (Keller und Thiercelin, 1984). Die Harzausflüsse, die man bei einigen Bäumen nach der Astung beobachten kann, sind nichts anderes als ein natürliches, und im übrigen günstiges Phänomen zur Förderung des Wundverschlusses durch natürliche Substanzen, um den Baum dadurch möglichst schnell vor einer Infektion zu schützen. Im übrigen wird in solchen Fällen das Harz ja immer nach aussen ausgeschieden, was zu keinen Einschlüssen führt (Zumer, 1966; Keller et al., 1984).

## 7.2 BIOLOGISCHE UND TECHNISCHE GRENZEN DER WERTASTUNG

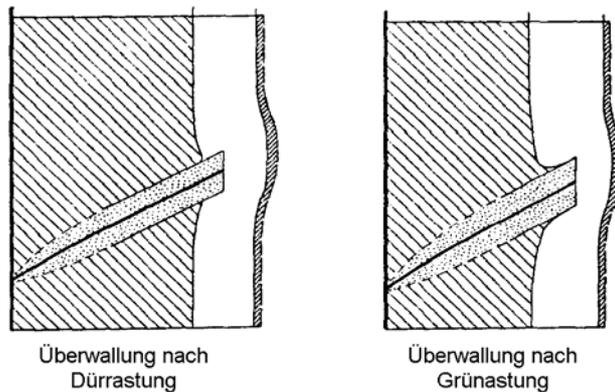
### 7.2.1 Die Art der Entfernung von abgestorbenen oder lebenden Ästen (Dürrastung oder Grünastung)

Die Befürchtung, dass die Astabschnittstellen in erster Linie als Eintrittspforte für Pathogene dienen, erweist sich im allgemeinen als unbegründet ausser für die Totastverlierer (Gelinsky, 1933). Bei dieser Baumartengruppe empfiehlt es sich zumindest, die lebenden Äste zuerst abzutrennen und oberhalb einen genügend langen Aststummel zu lassen, so dass sich das schützende Trenngewebe natürlich bilden kann.

Bei der Esche besteht ein gewisses Infektionsrisiko, namentlich hinsichtlich des Eschen-Bakterienkrebses (*Pseudomonas syringae*), bei der Buche gegenüber des Buchenkrebses (*Nectria ditissima*) (Hubert und Courraud, 1987), und bei der Douglasie besonders hinsichtlich der Phomopsis-Krankheit (*Phomopsis pseudotsugae*). Dieses Risiko kann jedoch durch die Astung während der Vegetationsperiode weitgehend verhindert werden (Butin, 1983). Ferner hat Winterfeld (1955) am Beispiel der Buche aufgezeigt, dass keine grossen Unterschiede zwischen der natürlichen Astreinigung und dem künstlichen Abschneiden der Äste bestehen.

Obwohl es eigentlich keine treffenden Gründe gegen das Entfernen von grünen Ästen gibt, stösst die Grünastung in der Praxis immer noch auf wenig bis mässige Akzeptanz. Und dies, obwohl schon Nägeli (1952) bei der Fichte offensichtlich aufgezeigt hat, dass die Verheilung und Überwallung der Wunden, nach der Entfernung von grünen Ästen, besser und schneller vor sich geht als die Überwachsung nach der Entfernung von Totästen. Der Hauptgrund dafür liegt darin, dass bei der Grünastung an der Astansatzstelle noch lebendes Kambium angeschnitten

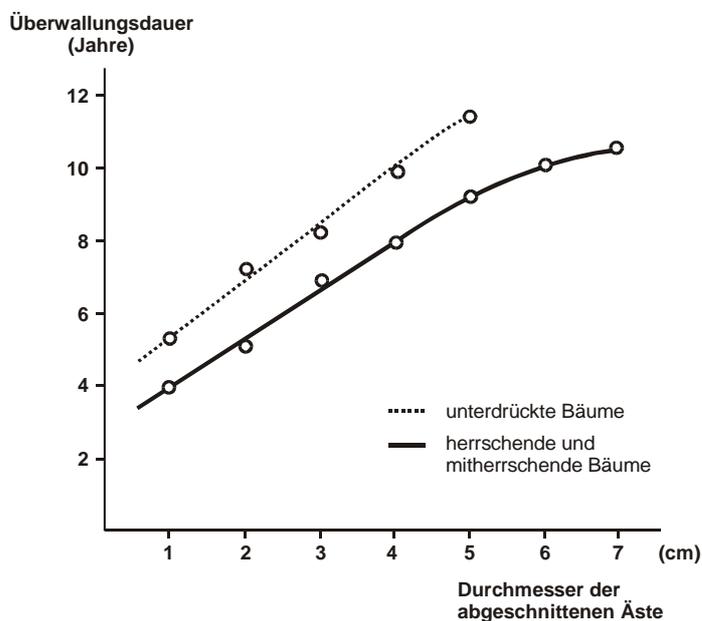
wird, welches durch die Verletzung zur raschen Bildung von Wundgewebe angeregt wird (siehe Abb. 7.1). Dieser Überwallungsprozess verläuft umso besser, je sorgfältiger die Arbeit ausgeführt wird. Genügende Sorgfalt bei der Arbeitsausführung ist also eine wichtige Bedingung. Diese für die Planung und Durchführung der Wertastung grundlegenden Beobachtungen und Erkenntnisse sind durch weitere Untersuchungen (Polge et al., 1973; Lenz et al., 1991) mehrmals bestätigt worden, und deshalb heute kaum mehr umstritten.



**Abb. 7.1:** Unterschiede bei der Überwallung von Astabschnittsstellen nach der Astung von abgestorbenen und noch grünen Ästen

(gemäss Nägeli, 1952)

Die Grünastung kann für Totasterhalter generell empfohlen werden. Nichtsdestoweniger muss aber darauf geachtet werden, dass sie auf Astdurchmesser von zwei bis maximal drei cm beschränkt wird, da bei grösseren Wunden das Infektionsrisiko beträchtlich ansteigen kann. Das Risiko, dass fremde Organismen (und darunter vor allem Pathogene) in einen Baum eindringen können, hängt in erster Linie von der Überwallungszeit ab, bis die Wunden vollständig überwallt sind.



**Abb. 7.2:** Dauer der Überwallung von grünastungsbedingten Verletzungen am Beispiel der Buche

(nach Winterfeld, 1955)

Wie Lenz et al. (1991) gezeigt haben, hängt diese Zeit vor allem vom Durchmesser der Verletzungen ab. Gleichzeitig spielen aber auch die Vitalität und die Wachstumsgeschwindigkeit der Bäume eine Rolle. Bei Bäumen mit einer hohen sozialen Stellung verheilen die Wunden schneller als bei niederen. Im allgemeinen werden für die vollständige Überwallung der Wunden etwa fünf bis sechs Jahre benötigt (siehe Abb. 7.2). In den schweizerischen Versuchen von Nägeli (1952) waren dazu meist sogar nur zwei bis drei Jahre notwendig.

### 7.2.2 Blattmassenverluste durch Grünastung

Auch wenn die Grünastung heute zweifellos als praktikabel anerkannt wird, so bringt sie zwangsläufig eine Reduktion der assimilierenden Blattmasse mit sich. Wird sie über ein gewisses Ausmass durchgeführt, so kann die Grünastung zu Durchmesser- und Höhenwachstumsverlusten führen, deren Auswirkungen, namentlich auf die Aufrechterhaltung der sozialen Stellung und damit auf die Chancen, sich weiterhin erfolgreich innerhalb des Kollektives behaupten zu können. Zahlreiche Feldversuche belegen, dass eine starke Reduktion der Kronenlänge (in der Regel an der Länge des entfernten Kronenbereiches in Prozent der vorher vorhandenen Gesamtkronenlänge gemessen) Auswirkungen auf das weitere Wachstum eines Baumes hat.

#### Auswirkungen der Reduzierung der Blattmasse auf das Durchmesserwachstum eines Baumes

Bei solchen Fragen ist zwischen kurzfristigen (5 bis 10 Jahre) und langfristigen Konsequenzen zu unterscheiden. Die kurzfristigen Auswirkungen der Blattmassenreduktion auf den Durchmesserzuwachs (5 Jahre) sind in der Abb. 7.3 dargestellt. Man kann diese Ergebnisse im wesentlichen wie folgt zusammenfassen: Bei einer Verkürzung der Krone um mehr als 50 % lässt sich kurzfristig eine sehr deutliche Abnahme des Durchmesserzuwachses feststellen. Es muss aber betont werden, dass die Zuwachsreduktion von sehr kurzer Dauer ist. Nach Keller und Pfäffli (1987) ist der Zuwachs schon nach drei Jahren wieder normal.

Durchschnittlicher Dickenzuwachs in den fünf nach der Astung folgenden Jahren (%)

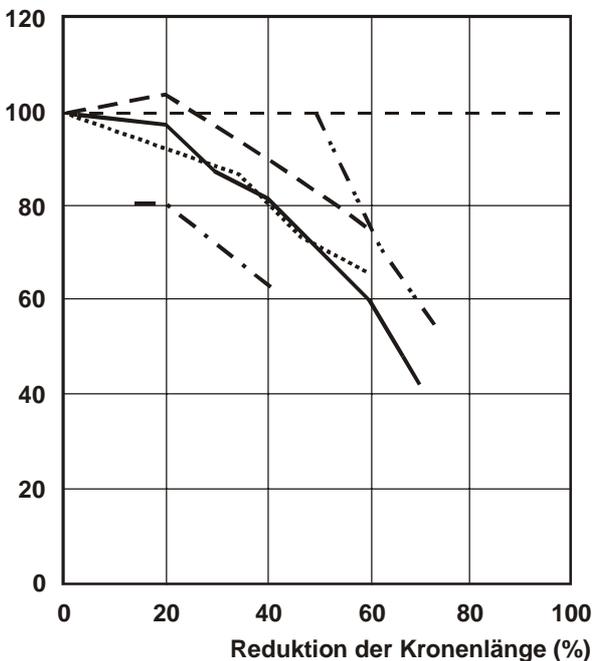


Abb. 7.3: Abnahme des Durchmesserzuwachses infolge von Kronenverkürzungen durch Grünastung.

nach Keller und Pfäffli (1987); Zumer (1966); Meyer (1968); Mitscherlich und v. Gadow (1968)

- ..... Keller und Pfäffli (1987)
- · - Zumer (1966)
- - - Meyer (1968), cl III/IV
- - - Meyer (1968), cl I/II
- Mitscherlich und v. Gadow (1968)

Auf die gesamte Produktionsdauer bezogen sind derartige vorübergehende Zuwachsreduktionen also vollkommen vernachlässigbar. Ausnahmen gibt es allerdings bei Eingriffen, die so einschneidend sind, dass sie einen sozialen Abstieg der geasteten Bäume zur Folge haben. Im schlimmsten Fall können Bäume durch eine solche, zu starke Grünastung sogar zum Absterben gebracht werden. Die Versuche von Zumer (1966), welche in jungen Fichtenbeständen von vier bis sechs Metern Höhe im Süden Norwegens durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass diese

kritische Grenze erreicht wird, wenn bei einer Grünastung mehr als 60 % der Kronenlänge entfernt werden (siehe Tabelle 7.4).

Ist aber die Kronenreduktion kleiner als 30 %, so kann man andererseits in zahlreichen Fällen nicht nur keine Abnahme, sondern sogar leichte Zunahme des Durchmesserzuwachses beobachten (siehe Abb. 7.3). Dieses Phänomen lässt sich folgendermassen erklären: Entfernt man die untersten Äste der Krone, die ja aus der Sicht der Netto-Photosynthese nicht sehr produktiv arbeiten, so erreicht man dadurch eine Verbesserung des Assimilations-Atmungs-Verhältnisses des Baumes.

**Tabelle 7.4:** Auswirkungen extrem starker Grünastungen auf das Überleben und den sozialen Abstieg der geasteten Bäume  
(hier gültig für 4 bis 5 m hohe Fichtendickungen im Süden Norwegens)

Astungseingriffe		infolge der Astung abgestorbene Bäume	soziale Abstiege		Bäume, die ihre soziale Stellung beibehalten können
Anzahl der verbleibenden Astquirle	Kronenreduktion		um 1 Klasse	um 2 Klassen	
	%	%	%	%	%
4	49	0	45	10	45
3	61	13	45	50	5
2	73	35	10	90	0
1	85	94			
0	100	100			

(nach Zumer, 1966)

Kronenreduktionen zwischen 30 und 50 % führen zwar zu momentanen, d.h. vorübergehenden Zuwachsverlusten. Diese sind aber, zumindest auf Standorten normaler Bonität, vollkommen tolerierbar. An Standorten schlechter Bonität muss man sich hingegen vor allzu ausgeprägten Kronenreduktionen in Acht nehmen (Meyer, 1968; Keller und Pfäffli, 1987).

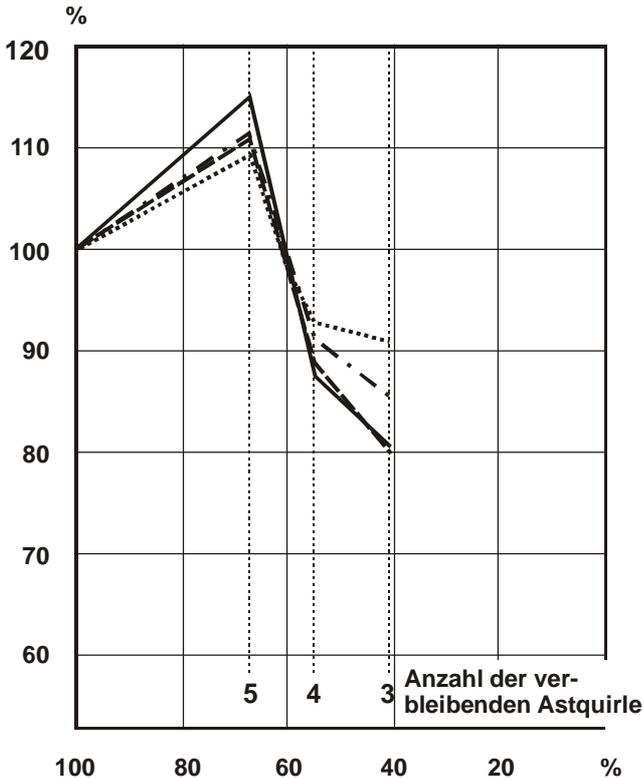
### Auswirkungen der Grünastung auf das Höhenwachstum und die soziale Stellung

Eher noch als die Verluste an Durchmesserzuwachs, deren Auswirkungen, mit Ausnahme von Beständen mit schlechter individueller Stabilität, von sekundärer Bedeutung sind, sind für die weitere Entwicklung der geasteten Bäume vor allem die Abnahme des Höhenzuwachses sowie deren Auswirkungen auf die Aufrechterhaltung der sozialen Stellung von Bedeutung. Die Auswirkungen der Kronenreduktion auf den weiteren Verlauf des Höhenzuwachses sind allerdings deutlich weniger offensichtlich als die bereits geschilderten Auswirkungen auf den Durchmesserzuwachs. In ihrer generellen Tendenz sind sie aber ähnlich.

Keller und Pfäffli (1987) haben für Fichten-Stangenhölzer auf Mittelland-Standorten gezeigt, dass nur ziemlich starke Astungseingriffe, bei denen nur 4 bzw. 3 Astquirle belassen wurden, eine generelle Verminderung des Höhenzuwachses (in der Grössenordnung von 10 %) zur

Folge haben (siehe Abb. 7.5). Entnahmen von ungefähr einem Drittel der Kronenlänge bewirken, zumindest auf dem besseren der beiden Standorte, nicht eine Abnahme, sondern sogar eine Verbesserung des Höhenzuwachses. Ferner ist nur bei der extremsten Astungsvariante (d.h. bei einer Kronenverkürzung um 58 %) wirklich ein Rückgang der sozialen Stellung zu verzeichnen; und sogar in diesem Fall handelt es sich um soziale Abstiege von bescheidenem Ausmass. Der Einfluss der Konkurrenz im Bestand hatte statistisch gesehen eine grössere Wirkung auf den sozialen Abstieg als den der Wertastung.

Relativer Zuwachs



**Abb. 7.5:** Auswirkung starker Grünastungen auf den 5 jährigen Höhenund Durchmesserzuwachs.

Hier am Beispiel von Fichtenstangenhölzern, welche im Alter von 15 Jahren geastet wurden. Standort: Galio odorati - Fagetum typicum.

nach Keller und Pfäffli (1987)

- ..... Höhenzuwachs
- Dickenzuwachs auf Brusthöhe
- Dickenzuwachs auf 3 m Höhe
- . - . - Dickenzuwachs auf 5 m Höhe

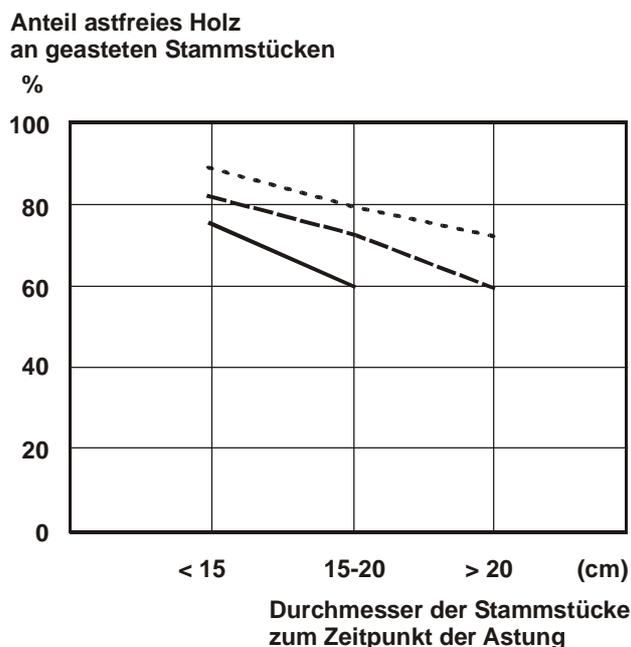
Wie dem auch immer sei; lassen sich für die Durchführung der Wertastung die zwei wichtigen Schlussfolgerungen ziehen:

- Bei Kronenreduktionen bis zu 50 % sind noch keine nennenswerte Auswirkungen, namentlich auf die soziale Stellung der geasteten Bäume zu erwarten. Solche Reduktionen zeigen bei der Fichte, dass mindestens vier Astquirle zurückbleiben sollen. Astungen von einer solchen Stärke können also ohne nennenswerte Nachteile in Betracht gezogen werden.
- Im Zusammenhang mit der Durchführung der Wertastung ist es empfehlenswert, auch die Wettbewerbsverhältnisse zu regeln und dabei die ausgewählten und geasteten Bäume von ihren Konkurrenten zu befreien. Die Begünstigung der Ausleseebäume kann gleichzeitig mit der Astung erfolgen. Um aber zu grosse Schockwirkung und zu plötzliche destabilisierende Wirkung auf den Bestand und insbesondere auf die Ausleseebäume zu verhindern, ist es empfehlenswert, die Begünstigung der Ausleseebäume zeitlich etwas hinauszuschieben.

### 7.3 OPTIMALE WERTASTUNGSKONZEPTE

Der letztendliche Nutzen einer Wertastung ist umso grösser, je kleiner die Ausdehnung des Astkerns des geasteten Stammes ist. Er hängt in erster Linie vom Durchmesser ( $d$ ) des Baumes im Zeitpunkt der Astung ab und vom Durchmesser ( $D$ ) des Baumes im Zeitpunkt der Holzernte ist. Olischläger (1970) hat gezeigt, dass die Wirksamkeit einer Wertastung in Funktion der vierten Potenz der Differenz dieser zwei Grössen,  $(D - d)^4$  ansteigt. Dies bedeutet, dass man so früh wie möglich, und ferner nur auf denjenigen Standorten asten soll, welche die Produktion genügend starker Sortimente erlauben. Letztendlich ist eine Wertastung auch nur bei denjenigen Bäumen sinnvoll, welche genügend lange, d.h. möglichst bis zur Hiebsreife des Bestandes, im Bestand verbleiben werden.

Eine der goldenen Regeln der Wertastung besagt, dass eine Astung nur dann wirklich einen Sinn hat, wenn das Verhältnis zwischen dem Durchmesser des Astkerns und dem voraussichtlichen Durchmesser zum Zeitpunkt der Hiebsreife mindestens eins zu drei beträgt. Die Astung soll also im Stangenholz durchgeführt werden, wobei der optimale Astungsdurchmesser zwischen 12 und 15 cm liegen soll.



**Abb. 7.6:** Verbesserung der Holzqualität durch die Wertastung in Abhängigkeit des Erntedurchmessers sowie des Baumdurchmessers zum Zeitpunkt der Astung

nach Lenz et al., (1991)

..... > 40 cm  
 - - - - - 30 - 40 cm  
 ————— < 30 cm

Schon aus diesen ersten Bedingungen lässt sich schliessen, dass eine Wertastung nur für jene Ausleseebäume wirklich von Vorteil ist, die bis zum Ende der Produktionszeit stehen bleiben. Bei der Untersuchung von geasteten Bäumen des Versuches von Nägeli (1952) bis zur Sägerei haben Lenz et al. (1991) jedoch gezeigt, dass auch bei Bäumen mit noch relativ bescheidenen Erntedimensionen von 25 bis 35 cm eine rechtzeitig (d.h. bei einem Durchmesser  $d < 15$  cm) ausgeführte Wertastung durchaus lohnenswert sein kann, indem auch aus solchen Bäumen noch Schreinersortimente mit einem astfreien Holzanteil von 75 bis 80 % gewonnen werden können (siehe Abb. 7.6). Es ist also nicht ganz ausgeschlossen, dass auch eine Astung von mehr als Endstammzahlen doch noch rentabel sein kann.

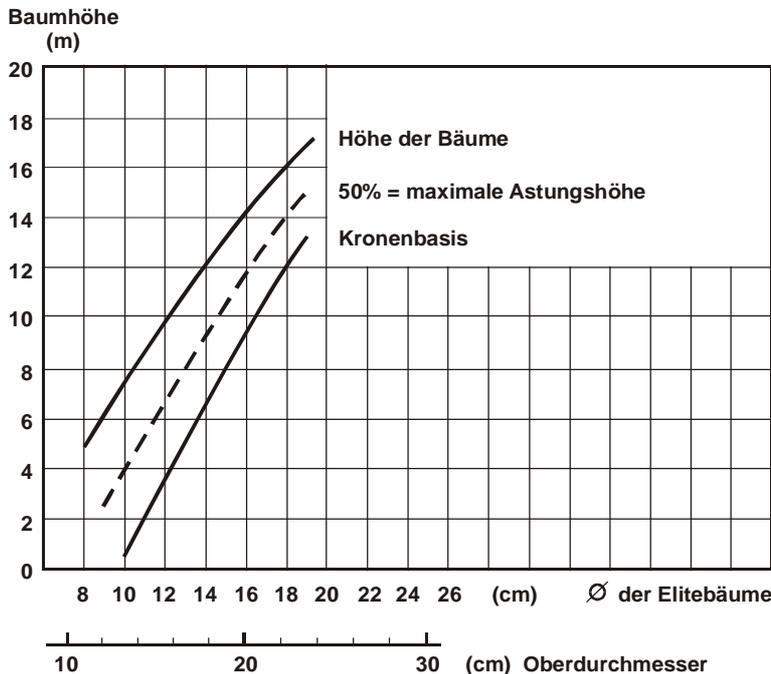
Ein entscheidender Punkt eines optimalen Astungskonzeptes noch vor der Kosten oder dem Nutzen der verschiedenen Ausführungsmethoden, besteht vor allem in der Qualität der Arbeit,

welche einen bedeutsamer Einfluss auf die Überwachung der Astabschnittsstellen hat. Des weiteren ist der Zeitpunkt des Eingriffes von Bedeutung.

Geht man davon aus, dass bei einer Wertastung bis zu 50 % der vorhandenen Kronenlänge keine wesentliche Risiken betreffend den sozialen Abstieg bestehen, kann man den optimalen Astungszeitpunkt bestimmen sowie bis auf welche Höhe und in wieviel Arbeitsschritten die Arbeit erfolgen kann.

Bezüglich Astungshöhe bestehen unterschiedliche Meinungen: So gehen die Empfehlungen von einer Astungshöhe von 4 m (Schulz 1961), über 9 m Nägeli (1952) (es handelt sich dabei um die am häufigsten empfohlene Astungshöhe), bis 12 m oder gar 15 m. Schon aus der Sicht der Nutzungssusancen kann man eine Höhe von 4 bis 5 m oder mehrfach davon (z.B. 9 m) als geeignet ansehen. Im letzten Fall ist der Zeitpunkt der Astung zeitlich verschoben, vorausgesetzt dass nur in einem Arbeitsschritt geastet wird. Mit der Alpinistenmethode ist es heute sowohl aus der Sicht der Ergonomie wie der Arbeitsqualität kein Problem, in einem einzigen Arbeitsschritt bis auf eine Höhe von 9 m zu asten, so dass aus dieser Sicht eher längere Höhen angestrebt werden als kürzere.

Abb. 7.7 erlaubt den frühesten Astungszeitpunkt zu bestimmen unter der Annahme, dass nicht mehr als 50 % der grünen Krone reduziert werden darf. Für eine Astungshöhe von 9 m ist dies z.B. möglich, wenn die Ausleseebäume einen Durchmesser (BHD) von 14 bis 15 cm erreichen. Es entspricht einem Oberdurchmesser (Do) von 18 bis 19 cm oder gegen Ende des schwachen Stangenholzes.



**Abb. 7.7:** Baumhöhen, Kronenansatzhöhen und Astungshöhen in Abhängigkeit des Baumdurchmessers. Als Astungshöhe gilt eine Verkürzung der Krone von 50 %

## 7.4 DURCHFÜHRUNG DER WERTASTUNG

### 7.4.1 Allgemeine Prinzipien

Die Wertastung erfolgt etwa zum Zeitpunkt des ersten Durchforstungseingriffes im Stangenholz, d.h. wenn die Ausleseebäume einen Durchmesser (BHD) von 14 bis 15 cm erreichen. Unter Umständen ist es ratsam, die Wertastung vom eigentlichen Durchforstungseingriff getrennt, nach einem besonderen Arbeitsprogramm durchzuführen.

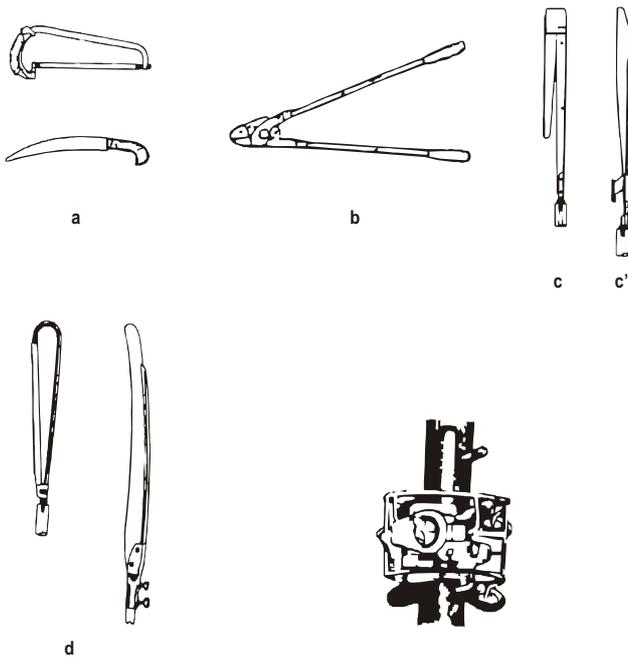
Primär zu asten sind die Totasterhalter, von denen man eine Produktion von Qualitätsholz erwartet, nämlich die Fichte, die Tanne und die Föhre, wie auch die Douglasie, der Kirschbaum allenfalls die Roteiche, Pappel. Aufgrund ihrer hohen Infektionsanfälligkeit müssen die Douglasie und Kirschbaum während der Vegetationsperiode geastet werden; wobei gerade diese Eingriffe mit besonderer Behutsamkeit ausgeführt werden müssen. Es handelt sich in diesem Zusammenhang namentlich um die Notwendigkeit, die Werkzeuge zu desinfizieren; was zum Beispiel mit brennbarem Alkohol (Brennsprit) erfolgen kann (Hubert und Courraud, 1987). Bei den Totastverlierern (z.B. Eiche, Buche) erfolgt normalerweise eine gute natürliche Astreinigung, so dass eine Wertastung nicht notwendig ist, ausser in Beständen mit grob-astigen Individuen, welche nur eine schlechte natürliche Astreinigung aufweisen (Winterfeld 1955).

Je nach der Arbeitsmethode für das Abtrennen der Äste kann die Arbeit ausserhalb der Vegetationszeit oder während des ganzen Jahres durchgeführt werden. Die Astung während der Periode der Vegetationsruhe wird u.a. dann obligatorisch, wenn man Arbeitsmittel wie etwa ein Baumvelo oder eine Klettersäge benutzt, welche den Baum hochklettern und dadurch einen Druck auf die Rinde ausüben, welcher das Kambium beschädigen kann.

Der biologisch optimale Zeitpunkt zur Durchführung der Wertastung befindet sich im Vorfrühling in der Zeit vor dem Saftaufstieg, d.h. in den Monaten Februar bis März. Allerdings soll während Frostperioden nicht geastet werden. Wird die Wertastung im Herbst ausgeführt, so besteht die Gefahr einer Austrocknung des Kambiums am Rand der Schnittwunden, und somit der Vergrösserung der Astwunde (Winterfeld, 1955). Eine Wertastung im Herbst ist jedoch für jene Bäume empfehlenswert, welche, wie z.B. die Eichen, die Ulmen, die Linden u.a., als Reaktion auf die Astung normalerweise vermehrt Klebäste bilden. Die Häufigkeit von Klebästen kann so deutlich vermindert werden (Hubert und Courraud, 1987).

### 7.4.2 Werkzeuge und Maschinen

Man muss zwischen zwei grundsätzlich verschiedenen Arbeitsverfahren unterscheiden. Einerseits kann die ganze Wertastung vom Boden aus ausgeführt werden. Für die Entfernung der Äste verwendet man in diesem Fall entweder langgestielte Werkzeuge (z.B. langgestielte Sägen) oder selbstkletternde Maschinen wie z.B. Klettersägen. Andererseits gibt es das Verfahren, bei dem die ausführende Person am Stamm hochklettert und die Astung direkt von Hand durchführt. Dazu werden Fuchsschwanz-Sägen mit feiner Zahnung oder langgestielte Baumscheren mit flacher Klinge verwendet. Es hat sich erwiesen, dass mit diesen Werkzeugen die Arbeit am sorgfältigsten durchgeführt werden kann. In dieselbe Kategorie von Werkzeugen gehören auch die Druckluftscheren, welche vor allem für den Obstbau entwickelt wurden. Ihre Kosten sind um rund einen Drittel höher als bei den anderen Werkzeugen (Bouillet, 1985). Ihr Einsatz im Walde ist begrenzt wegen den Umständlichkeiten (Transport eines Kompressors und Schläuche).

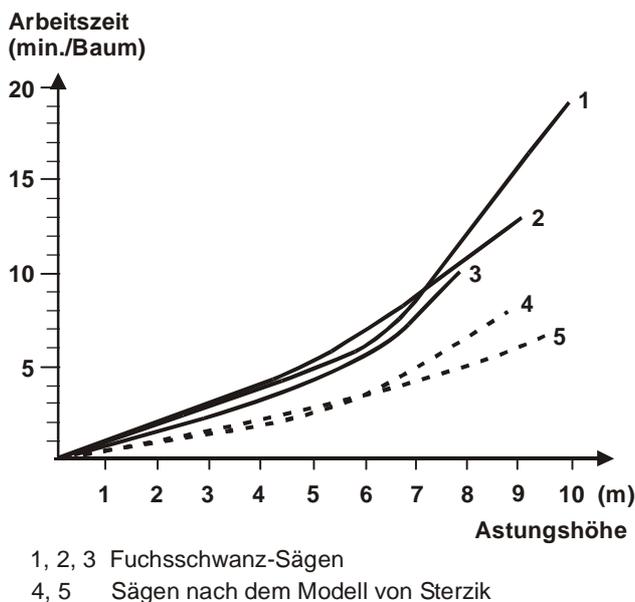


**Abb. 7.8:** Astungswerkzeuge: (a) klassische Handsägen; (b) langgestielte Baumschere mit flacher Klinge; Sägen nach dem Modell von Sterzik: (c) Standardausführung, (c') Ausführung für Pappeln; (d) ältere Typen langgestielter Sägen.

(nach Burschel und Huss, 1987)

**Verfahren, bei denen die Astung vom Boden aus durchgeführt wird**

An die Stelle der früher verwendeten langgestielten Fuchsschwanz-Sägen sind heute die Haifischzahn-Sägen nach dem Modell von Sterzik (Sterzik und Heil, 1969) getreten. Diese sind erstens viel einfacher in der Anwendung und erlauben es zweitens, die Eingriffskosten bis fast auf die Hälfte zu senken (Hinterstoisser, 1971). Siehe dazu Abb. 7.8 und 7.9.



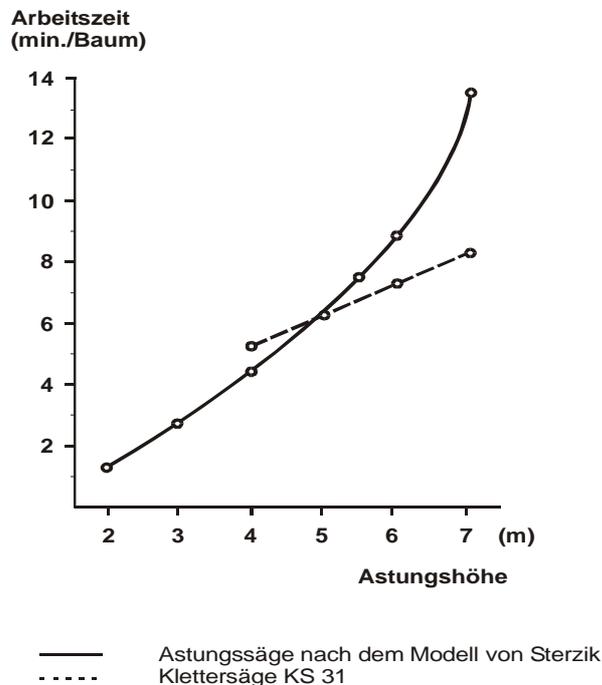
**Abb. 7.9:** Arbeitszeit für die Wertastung mit verschiedenen Typen von langgestielten Sägen.

(nach Sterzik und Heil, 1969)

Für die Astung der Pappeln gibt es ein leicht abgeändertes Modell, das aber nach demselben Prinzip funktioniert. Diese Methoden weisen die Vorteile auf, dass sie einfach und billig sind. Wird aber über eine Höhe von 4 bis 5 m geastet, so erweisen sie sich aus arbeitstechnischer (ergonomischer) Sicht als relativ mühsam. Vor allem die Qualität der Astung, welche bei diesen

Methoden ohnehin nur mittelmässig ist, wird oberhalb dieser Höhe wahrlich mangelhaft, da am Stamm zu grosse Aststummel verbleiben.

Verwendung von **Klettersägen**: Diese Maschine, in der forstlichen Umgangssprache auch „Baumaffe“ genannt, bezeichnet sich korrekterweise Klettersäge vom Typ KS 31. Sie wurde vom Schweizer Ingenieur P. Meier - ursprünglich für die stehende Entastung der normal zu schlagenden Bäume - entwickelt. Nach Beda (1987) beginnt der sinnvolle Einsatzbereich der Klettersäge ab einer Astungshöhe von 5,5 m (siehe Abb. 7.10). Zwei gewichtige Nachteile führen allerdings dazu, dass von einem Einsatz der Klettersäge generell dennoch eher abgeraten werden muss: Erstens können, aufgrund ihres Gewichtes, mit dieser Maschine nur Stammbereiche geastet werden, deren Durchmesser bei der Endastungshöhe mindestens noch 10 cm beträgt. Es sind dann grössere Dimensionen als im Fall des oben angegebenen optimalen Astungszeitpunktes. Zweitens ist die Qualität der Arbeit der Abtrennung der Äste nur mangelhaft. Schliesslich kann zudem die Einwirkung der Räder auf den Stamm, sogar bei einer Astung während der Vegetationsruhe, zu Quetschungen des Kambiums führen (Lenz et al., 1991).



**Abb. 7.10:** Vergleich der für die Astung notwendigen Arbeitszeit der Astungssäge nach dem Modell von Sterzik und der Klettersäge

### Verfahren, bei denen an den Bäumen hochgeklettert wird

Diese Art der Arbeitsausführung, bei welcher vorzugsweise eine langgestielte Baumschere mit flacher Klinge oder eine Säge mit feiner Zahnung verwendet wird, ermöglicht eine Arbeit von einwandfreier Qualität. Das Erklettern des Baumes kann entweder mit Hilfe von Leitern, von Steighilfen oder mit dem Baumvelo erfolgen. Im Fall von Leitern gibt es unterschiedliche Ausführungen. Normale Leitern müssen an der Stelle, an der sie am Baum anlehnen, gepolstert sein. Das Baumvelo, eine schweizerische Erfindung (ursprünglich für Saatgutgewinnung) ist gut geeignet. Es gibt eine Ausführung mit Hartplastikbändern anstelle von Metall, welche den Stamm weitgehend schonen. Ergebnisse eines Versuches im Zollikerberg (ZH) vergleichen die Qualität der verschiedenen Astungstechniken miteinander. Nach den Beobachtungen von Lenz et al. (1991) erlaubt das Baumvelo in 88 % aller Fälle eine qualitativ einwandfreie Astung. Bei der Astung mit Hilfe einer Leiter ist dies noch bei 77 % und bei der Verwendung einer Klettersäge gar nur noch bei 58 % der Fall. Aufgrund des Risikos, das Kambium verletzen zu

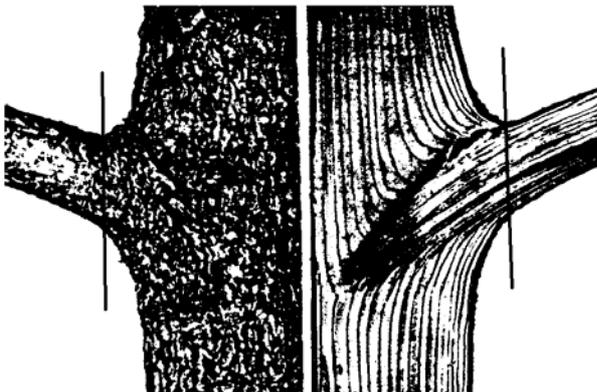
können, soll das Baumvelo jedoch nur ausserhalb der Vegetationsperiode zum Einsatz kommen.

Die Qualität der Arbeit hat einen entscheidenden Einfluss auf die Verheilung und anschliessende Überwachung der Wunden. Sie kann deshalb als das ausschlaggebendste Kriterium zur Bewertung einer Astungstechnik betrachtet werden.

Die heute günstigste Methode, welche auch eine einwandfreie Arbeitsausführung und gute Ergonomie aufweist, ist die Alpinistenmethode. Sie wurde von Förster Engeli entwickelt. Der Ausführende verwendet eine kurze Leiter, um bis zu den untersten soliden Ästen zu gelangen. Er klettert dann in der Baumkrone bis zur gewünschten Astungshöhe, sichert sich an zwei fingerdicken Ästen oberhalb der Astungshöhe mit einem Seilzug und lässt sich für die Astungsarbeit sukzessiv im Alpinistensessel sitzend abseilen. Er verwendet dabei eine gestielte Baumschere zur Abtrennung der Äste.

### 7.4.3 Die Abtrennung der Äste

Wie Nägeli (1952) gezeigt hat, entstammen die Holzfasern des Astes im wesentlichen derjenigen Region des Holzkörpers, welche sich unterhalb des Astansatzes befindet. Dies ist mit ein Grund, warum man die Äste von oben nach unten abtrennen soll. Um eine möglichst rasche Überwachung der Abschnittsstellen zu gewährleisten, sollen die Äste so nah wie möglich am Stamm abgeschnitten werden (siehe Abb. 7.11). Wie Nägeli (1952) gezeigt hat, werden durch einen solchen stammnahen Schnitt die leitenden Gewebe des Holzes und der Rinde zunehmend auch in ihrer Längsrichtung angeschnitten. Da die Teilungsfähigkeit der Zellen in dieser Richtung grösser ist, beschleunigt diese Art der Gewebeverletzung den Verheilungs- und Überwallungsprozess. Um bei der Astung von Ästen ein Aufreissen der unterhalb des Astansatzes liegenden Rinde zu verhindern, sollen solche Äste zuerst grob, d.h. in einem Abstand von etwa 30 cm zum Stamm, abgeschnitten werden. Der noch verbleibende Aststummel wird direkt anschliessend durch einen sauberen Trennschnitt entfernt.



**Abb. 7.11:** Verlauf der Holzfasern am Astansatz und optimale Ansatzstelle des Astungstrennschnittes. (nach Nägeli, 1952)

### 7.4.4 Nachweis der Wertastung

Durch die künstliche Astung werden die Voraussetzungen für eine beträchtliche Aufwertung des später geernteten Holzes geschaffen. Der Verbraucher eines Stammstückes bzw. Holzsorti-

mentes ist stets bestrebt, die bestmögliche, d.h. idealste Verwendung des Holzes zu ermöglichen, um dadurch auch den grösstmöglichen Nutzen erzielen zu können. Wenn der Verbraucher weiss, dass die Qualität des Holzes stimmt, so ist er auch bereit, den entsprechenden guten Preis dafür zu bezahlen. Der Käufer von angeblich geastetem Holz muss dafür aber die Gewissheit haben, dass das Holzlos, welches er erwirbt, einst auch wirklich nach allen Regeln der Kunst, d.h. bei den richtigen Dimensionen, auf die richtige Höhe und mit der dazu notwendigen Sorgfalt geastet wurde. Wie Schulz (1961) hervorhebt, ist es schwierig, eine früher eventuell einmal erfolgte Wertastung allein anhand des äusseren Eindruckes des Rindenbildes (z.B. anhand der Narben von ehemaligen Ästen) zu beurteilen. Dieser äussere Eindruck kann nämlich täuschen. So weisen, namentlich bei der Föhre und der Fichte, einst korrekt geastete Bäume noch viele Jahre später Astnarben auf, welche oftmals viel deutlicher sind, als die Astnarben welche ihre Äste viel später im Zuge der natürlichen Astreinigung verloren haben. Es ist nämlich so, dass bei der Abtrennung der Äste relativ grosse Wunden entstehen, welche beinahe deutliche Spuren im Rindenbild hinterlassen.

Die Durchführung einer Wertastung verliert einen grossen Teil ihres Sinnes bzw. ihrer wertsteigernden Wirkung, wenn sie nicht gut dokumentiert wird. So soll es insbesondere bei der Ernte des geasteten Holzes, d.h. 60 bis 80 Jahre später, noch möglich sein, die Richtigkeit und die sachgemäss richtige und gute Ausführung der einstigen Wertastung bescheinigen zu können. Um dies zu ermöglichen sind bereits verschiedene Methoden vorgeschlagen worden. Diese reichen von einer Markierung der geasteten Bäume mit Farbe über die Erstellung einer schriftlichen Astungs-Ausweis (Hubert und Courraud, 1987) bis hin zur Erstellung von eigentlichen Astungs-Karten, nach dem Muster der Bestandeskarten (Beda, 1987).

Im wesentlichen geht es darum, eine Art der Arbeitsdokumentation zu finden, welche eine langfristige Aufbewahrung der Dokumente und damit eine langfristige Zugänglichkeit und Wieder-Abrufbarkeit der Daten garantiert. Was den Inhalt der Astungsdokumentation betrifft, sollen sowohl die Art und Weise des Eingriffes wie auch die genaue Lage der Bestockungen, bis hin zur genauen Position der geasteten Bäume sicher und unmissverständlich festgehalten werden. Der Astungsnachweis soll also genügend genaue Angaben über die Anzahl der geasteten Bäume, deren genaue Lage und deren Dimensionen (Durchmesser und Astungshöhe) zum Zeitpunkt des Eingriffes beinhalten. Ferner soll er genaue Auskunft über die angewandten Astungstechniken geben und auch allfällige weitere Besonderheiten mitberücksichtigen.

---

## 8. ORGANISATION UND KONTROLLE DER WALDPFLEGE

---

### 8.1 GRUNDSÄTZE DER PLANUNG VON WALDBAULICHEN EINGRIFFEN

Die Waldpflege besteht aus einer Gesamtheit von einzelnen, sich ergänzenden Massnahmen, welche aufeinander abgestimmt sein müssen. Die Garantie des Erfolges der Waldpflege beruht in der guten Organisation sowohl der einzelnen Pflegeeingriffe wie auch ihres Ablaufes als Ganzes. Dies ist heute umsomehr von Bedeutung, wenn man kosteneffiziente Eingriffe verfolgt auf der Basis der biologischen Rationalisierung. In der Tat ist die leitende Devise für effiziente Pflegeeingriffe: Nur das notwendigste zum richtigen Zeitpunkt realisieren.

Die Notwendigkeit einer guten Organisation wird durch zahlreiche Randbedingungen unterstrichen: Man hat im Waldbau sehr lange Produktionszeiträume, welche eine Koordination der verschiedenen einzelnen Eingriffe und Massnahmen verlangen, zum angestrebten Ziel führen. Die verschiedenen Pflegeeinheiten sind jeweils räumlich aufgeteilt und voneinander abgegrenzt. Die Organisation sowie die praktische Ausführung der einzelnen Eingriffe erfolgen auf verschiedenen Ebenen. Die Eingriffe müssen gegebenenfalls zu verschiedenen Jahreszeiten ausgeführt werden. Die Periodizität der Eingriffe kann je nach Zustand der zu pflegenden Bestockung sehr verschieden sein.

Der Erfolg der Waldpflege beruht aber, wohlverstanden, in erster Linie auf den beruflichen Kompetenzen derjenigen Mitarbeiter, die mit der Organisation und der Ausführung der Pflegemassnahmen beauftragt sind. Das hat zur Folge, dass nicht nur eine gute Organisation der Arbeit notwendig ist, sondern dass sich auch eine klare und unmissverständliche Formulierung der Anweisungen zur Arbeitsausführung, eine klare Zuteilung der Ausführungskompetenzen, sowie eine Kontrolle der Arbeitsausführung (Vollzugskontrolle) wie sinnvollerweise auch eine Erfolgskontrolle als notwendig erweisen.

#### **Ermittlung der Flächengrösse:**

aufgrund entweder :

- der reellen Flächengrössen der verschiedenen Entwicklungsstufen (erfasst z.B. durch Planimetrierung aus der Bestandeskarte). Leider werden diese Grössen nur selten auf den aktuellen Stand gebracht  
oder:
- einer theoretisch abgeleiteten Verteilung der Entwicklungsstufen gemäss den Nachhaltigkeitsbedingungen, ähnlich wie in Abb. 7.1.

Die für die Pflegeplanung elementaren operationellen Einheiten (die sog. Pflegeeinheiten) sind die Bestände (bzw. Bestockungseinheiten). Die Bestandeskarte wird somit zur unerlässlichen Grundlage für die Planung der Pflegeeingriffe. Für jede Pflegeeinheit müssen genaue Weisungen bestehen, welche mindestens das Pflegeziel und die der besonderen zu treffenden Massnahmen enthalten. Solche Arbeitsweisungen sollen vorzugsweise schriftlich vorliegen. In Wirklichkeit sind im Normalfall die gut ausgebildeten Pflegezuständigen in der Lage, selbst und ohne grosse Anweisungen eine Pflege durchzuführen ohne vorgängige technischen Anweisungen. Es bedarf aber einer ständige Überwachung der Arbeiterqualifikationen, am

besten in Form regelmässiger Schulung im Betrieb. Bei schwierigen Eingriffen oder in besonderen Situationen wird die Lage explizit an Ort besprochen bzw. angezeichnet.

Das Hauptproblem der guten Arbeitsorganisation liegt in der guten zeitlichen Abstimmung von Eingriffen mit unterschiedlicher Wiederkehr, saisonaler Fälligkeit und örtlichen Verteilung. Es ist angebracht, zwischen einer operationellen Ebene (oder Art der Pflege) und einer organisatorischen Ebene zu unterscheiden, welche Prioritäten und saisonale Fälligkeit bestimmt. Grundlage für die organisatorische Ausführung ist die **Eingriffskarte**, die Pflegeeinheiten mit Eingriffsarten kombiniert. Aus Gründen der unterschiedlichen Periodizität der Pflegeeingriffe sowie insbesondere der Notwendigkeit, diese Planungsgrundlage stets auf dem aktuellsten Stand zu halten, kann es sich als nützlich erweisen, die Eingriffskarte in zwei verschiedene Karten zu unterteilen: einerseits die Karte der Pflegeeingriffe in den Jungbestockungen (von den Jungwüchsen bis in die schwachen Stangenhölzer) und andererseits der Karte mit den Eingriffen in den erwachsenen Beständen. Im ersten Fall werden die Eingriffe im Rahmen eines Jahres-Arbeitsprogrammes, im allgemeinen unter der direkten Kompetenz des Pflegezuständigen ausgeführt. Dies verlangt eine laufende (mindestens jährliche) Nachführung der Planungsgrundlagen (Eingriffskarte, Kartei bzw. Datei mit den Eingriffseinheiten). Die anderen Pflegeeingriffe ergeben sich aus der mittelfristigen Planung; sie werden nach vorgängigen Anzeichnungen vorbereitet.

## 8.2 ORGANISATION DER ARBEIT

Die Planung der Arbeitsausführung stellt den Kern der waldbaulichen Pflegeplanung dar (siehe dazu Tab. 8.1). Es geht dabei darum, den Ablauf der Eingriffe so zu organisieren, dass die Kapazitäten an Personal auf die Dringlichkeit der Eingriffe abgestimmt werden kann. Dadurch soll letztendlich auch die Einhaltung der angestrebten Periodizität der verschiedenen Pflegeeingriffe einigermaßen gewährleistet werden. Soweit es möglich ist, soll man auch eine zu zerstreute, geographische Verteilung der Eingriffe vermeiden. Auch dabei erweist sich eine Aufteilung der Eingriffe auf die Jungwaldpflege und die erwachsenen Bestände als sinnvoll. Letztere Eingriffe sollen nicht nur in Abhängigkeit waldbaulich organisatorischer Kriterien (wie z.B. ihrer Dringlichkeit), sondern unter gleichzeitiger Berücksichtigung der holzerntetechnischen Gegebenheiten sowie der Möglichkeiten der besseren Vermarktung der Produkte geplant werden. Deshalb wird für die Durchforstungen der erwachsenen Bestände als organisatorische Einheit bereits vorzugsweise die Abteilung verwendet. Die Abteilungen stellen in der Tat eine geographische, gut erkennbare bzw. bekannte Unterteilung des Waldes dar, welche in erster Linie durch das Gelände bestimmt wird. Eine Abteilung enthält im allgemeinen mehrere, ja sogar zahlreiche Bestände. Im Gegensatz dazu werden als organisatorische Einheiten für die Pflegeeingriffe in den Jungbestockungen die Pflegeeinheiten, d.h. die einzelnen Bestände.

**Tabelle 8.1:** Tätigkeiten bei der waldbaulichen Planung der Waldpflege:

- Festlegung der Pflegeziele und der weiteren besonderen Massnahmen
- Abschätzung und Bereitstellung der zur Durchführung der Pflege notwendigen Arbeitsmittel: Erstellung eines Arbeitsbudgets.
- Organisation des Ablaufes der Pflegeeingriffe: Eingriffskarte, Organisationskonzept, Jahres-Arbeitsprogramm
- Vollzugskontrolle
- Erfolgskontrolle
- Rückkoppelung: Nachführung der Planung, Verwertung der Information, Schwachstellen ausloten und verbessern (Kompetenzen, Qualifikationen, Fortbildungsbedarf)
- Nachführung der Planungsdokumente

Die waldbauliche Planung liefert die Grundlage für den jährlichen Arbeitsplan. Sie gibt die Liste der fälligen Pflegeeinheiten an. Ist kein effizientes System zu einer wirksamen Kontrolle der Eingriffe, z.B. mit PC-unterstützten Planungssystem, vorhanden, so ist ein einfaches Organisationskonzept zu benutzen, welches erlaubt, die Übersicht zu behalten. Das erfolgt beispielsweise, indem man als Umsetzungsraster die gleiche organisatorische Einteilung wie für die Hauptschläge (nämlich die Abteilung) benützt, mit falls notwendig einer Zwischenpflege in der Mitte der Umlaufzeit.

### 8.3 KONTROLLEN

Keine Planung ist vollständig ohne entsprechende Kontrollen. Dabei soll sowohl der Vollzug wie auch das Ergebnis (und damit auch der Erfolg) der ausgeführten Arbeiten kontrolliert und beurteilt werden. Eine einfache Methode der Vollzugskontrolle besteht in der jährlichen Eintragung der ausgeführten Eingriffe auf eine Kopie der Eingriffskarte. Gleichzeitig soll dabei die Nachführung der Planungsdokumente erfolgen. Die Erfolgskontrolle erfolgt am besten in Form eines alljährlichen Kontrollganges. Es erlaubt nicht nur die Zielkonformität der ausgeführten Pflege zu prüfen, sondern die Schwachstellen zu finden, zu analysieren und Verbesserungsmassnahmen vorzunehmen. Zu überprüfende Punkte dabei sind z.B. die Bedürfnisse für:

- die berufliche Weiterbildung des Personals
- den Einsatz von mehr oder anderen Mitteln
- die Verbesserung in der Übermittlung der Ausführungsbestimmungen
- die Klärung der Kompetenzen.

---

## LITERATUR

---

- Abegg, B., 1978: Schätzung der optimalen Dichte von Waldstrassen in traktorbefahrbarem Gelände. Mitt. Eidg. Anst. forstl. VersWes. 54, 2: 99-213.
- Abetz, P., 1970: Bestandesdichte und Astdurchmesser bei der Rheintalkiefer. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 141, 12: 233-238.
- Abetz, P., 1975: Eine Entscheidungshilfe für die Durchforstung von Fichtenbeständen. Allg. ForstZ. 30: 666-667.
- Abetz, P., 1975: Ende oder Wende der Durchforstung? Allg. ForstZ. 30: 653.
- Abetz, P., 1976: Beiträge zum Baumwachstum. Der h/d Wert: mehr als ein Schlankheitsgrad! Forst u. Holz. 31: 389-393.
- Abetz, P., 1976: Reaktion auf Standraumerweiterungen und Folgeerscheinungen für die Auslesedurchforstung bei Fichte. Allg. Forst. u. J. Ztg. 147: 72-75.
- Abetz, P., 1979: Zur Problematik der Anwendung von Durchforstungshilfen. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 150, 11/12: 234-238.
- Abetz, P., 1993: Ein Plädoyer für den Z-Baum. Holz-Zbl. 119: 305-310.
- Altherr, E., 1971: Wege zur Buchen-Starkholzproduktion. Festschr. 15. Hauptversamml. Bad.-Württemberg. Forstver. U. 100 Jahr-Feier Bad. Württemb. Forstl. ForschAnst. : 123-127.
- Altherr, E., 1981: Erfahrungen bei der Anwendung quantifizierter Durchforstungshilfen in Buchenbeständen. Allg. ForstZ. 36: 552-554.
- Altherr, E., Unfried, P., 1984: Zur Wasserreiserbildung bei der Buchen-Lichtwuchsdurchforstung. Mitt. forstl. Versuchs. u. ForschAnst. Baden-Württemberg, H. 108: 59-65.
- Ammann, P.-L., Burkhard, M. 1997. Untersuchungen zur Wirksamkeit der Jungwaldpflege: Analyse des waldbaulichen Zustandes von unbehandelten Dickungen und Stangenhölzern im Vergleich zu normal gepflegten Beständen und Kosten-Nutzen-Betrachtungen zu diesen Pflegekonzepten und Massnahmen. Diploma Thesis, Faculty of Forest Science, Chair of Silviculture, ETH-Zürich, pp 124.
- Ammann, P.-L., 1999: Die Analyse unbehandelter Jungwaldbestände als Grundlage für neue Pflegekonzepte. Schweiz. Z. Forstwes. 150 (eingereicht für Publ.)
- Ammon, W., 1937: Das Plenterprinzip in der schweizerischen Forstwirtschaft. Böhler, Bern & Leipzig, 108 S.
- Amorini, E., Fabbio, G., Frattegiani, M., Manetti, M., 1988: L'affraacamento die polloni: Studio sugli apparati radicali in un soprassuolo avviato ad altofusto di faggio. Ann. Istit. Sperim. per la Selvic. 29: 199-253.
- Arbez, M., 1987: Les ressources génétiques forestières en France. Tome I: Les conifères. Inst. Nat. Rech. Agronom. & Bureau ress. génét., Paris, 236 S.
- McArdle, R.E., Meyer, W.R., Bruce, D., 1961: The yield of Douglas-fir in the pacific northwest. U.S. Dep. Agr., Techn. Bull. 201.
- Arnswaldt, R.J., v., 1950: Die wipfelschäftige Buche. Allg. ForstZ. 5, 23: 265-267.
- Assmann, E., 1954: Grundflächenhaltung und Zuwachsleistung Bayerischer Fichten-Durchforstungsreihen. Forstw. Cbl. 73, 9/10: 257-271.
- Assmann, E., 1955: Bedeutung des "erweiterten EICHHORNschen Gesetzes" für die Konstruktion von Fichten-Ertragstafeln. Forstw. Cbl. 74: 321-330.
- Assmann, E., 1957: Standraumregelung und Ertragsleistung. Forstarchiv 28, 11: 217-223.
- Assmann, E., Franz F., 1963: Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. Inst. f. Ertragskunde. forstl. ForschAnst. München, München, 112 S.
- Assmann, E., 1964: Der Fichten-Durchforstungsversuch Bowmont. Allg. Forstu. J.-Ztg. 135: 213-226.

- Aussenac, G., 1973: Effet de conditions microclimatiques différentes sur la morphologie et la structure anatomique des aiguilles de quelques résineux. *Ann. Sci. forest.* 30, 4: 375-392.
- Aussenac, G., Granier, A., Naud, R., 1984: Eclaircie systématique dans un jeune peuplement de Douglas. Modifications microclimatiques et influences sur la croissance. *Rev. forest. Fr.* 36, 4: 279-288.
- Aussenac, G., Granier, A., 1988: Effects of thinning on water stress and growth in Douglas-fir. *Can. J. For. Res.* 18, 1: 100-105.
- Bachmann, P., 1990: Produktionssteigerung im Wald durch vermehrte Berücksichtigung des Wertzuwachses. *Ber. Eidg. Forsch. Anst. Wald Schnee Landsch.* Nr. 327, 73 S.
- Bacon, F., 1620: Aphorisms concerning the interpretation of nature and the kingdom of man. In: *Novum Organum*, Vol. 4: *Instauratio magna*. J. Spedding & Ellis & Heath Eds., Longman & Co, London.
- Badoux E., 1939: De l'influence de différents modes et degrés d'éclaircie dans les hêtraies pures. *Mitt. schweiz. Anst. forstl. VersWes.* 21, 1: 59-146.
- Badoux, E., 1946: Relations entre le développement de la cime et l'accroissement chez le pin sylvestre. *Mitt. schweiz. Anst. forstl. VersWes.* 24, 2: 405-516.
- Badré, L., 1983: Histoire de la forêt française. Arthaud, Paris, 310 S.
- Bagnéris, G., 1873: Manuel de sylviculture. Berger-Levrault, Paris & Nancy 311 S.
- Bagnéris, G., Broillard, Ch., 1870: Etude sur la production et l'emploi du chêne en France. *Rev. Eaux For.* 9: 193-220; 241-258.
- Balsiger, R., 1914: Der Plenterwald und seine Bedeutung für die Forstwirtschaft der Gegenwart. Büchler, Bern, 103 S.
- Barnola, P., Crochet, A., Payan, E., Gendraud, M., Lavarenne, S., 1986: Modification du métabolisme énergétique et de la perméabilité dans le bourgeon apical et l'axe sous-jacent au cours de l'arrêt de croissance momentanée de jeunes plants de chêne. *Physiol. Vég.*, 24: 307-314.
- Barnola, P., Alatou, D., Lacoite, A., Lavarenne, S., 1990: Etude biologique et biochimique du déterminisme de la croissance rythmique du chêne pédonculé (*Quercus robur* L.): Effets de l'ablation des feuilles. *Ann. Sci. For.* 21: 619-631.
- Barnola, P., Alatou, D., Parmentier, C., Vallon, C., 1993: Approche du déterminisme du rythme de croissance endogène des jeunes chênes pédonculés par modulation de l'intensité lumineuse. *Ann. Sci. For.* 50: 257 - 272.
- Barthélémy, D., Blaise, F., Fourcaud, T., Nicolini, E., 1995: Modélisation et simulation de l'architecture des arbres: bilan et perspectives. *Rev. For. Fr.*, 47, No. sp.: 71-96.
- Barthod, Chr., 1997: Les services forestiers français et la réponse de l'Etat: Déconcentrations, décentralisation et restructuration. Actes Journée thématique Antenne Romande FNP 27.11.1997, Lausanne: 31-36.
- Bazzigher, G., Schmid, P., 1969: Sturmschäden und Fäule. *Schweiz. Z. Forstwes.* 120, 10: 521-534.
- Beck, O., Götsche, D., 1976: Untersuchungen über das Konkurrenzverhalten von Edellaubhölzern in Jungbeständen. *Forstarchiv* 47, 5: 89-91.
- Becker, D., Freist, H., Ollgard, M., 1989: Zielstärkennutzung und Buchenrotkern. *Forst u. Holz* 44, 1: 12-14.
- Becking, J.H., 1952: The economy of heavy thinning in Douglas-fir plantations (Nederl.). *Nederl. Boschbouw Tijdschrift* 24, 10: 257-269.
- Beda, G., 1968: Zur Frage der Wahl des Pflanzabstandes und seiner Herleitung unter besonderer Berücksichtigung der Fichte. *Mitt. Eidg. Anst. forstl. VersWes.* 44, 1: 5-80.
- Beda, G., 1987: Gezielte Wertastung der Fichte. *Mitt. Eidg. Anst. forstl. VersWes.* 63, 1: 7-53.
- Bégin, J., Schütz, J.-Ph., 1994: Estimation of total yield of Douglas fir by means of incomplete growth series. *Ann. Sci. For.* 51, 4: 345-355.

- Beninde, 1943: Die Behandlung natürlich verjüngter Kiefer unter Schirm. *Deutsch. Forstwirtsch.* 25, 105/106: 435-437.
- Bénizry, E., Durrieu, G., Rouane, P., 1968: La pourriture de coeur de l'épicéa *Picea Abies* (L) Karst. en Auvergne. Etude écologique. *Ann. Sci. forest.* 45, 2: 141-156.
- Bergel, D., 1985: Schätzverfahren zur Bestimmung des Ertragsniveaus von Fichtenbeständen. *Cbl. ges. Forstwes.* 102, 2: 86-96.
- Bibelriether, B., 1966: Die Bewurzelung einiger Baumarten in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften. *Allg. ForstZ.* 21: 808-815.
- Bichlmaier, F., 1979: Zur räumlichen Verteilung und Gestaltung von Erholungswäldern. *Forstwiss. Cbl.* 89, 6: 356-362.
- Biolley, B., 1901: Le jardinage cultural. *J. for. suisse* 52, 6: 97-104 + 7/8: 113-131.
- Biot, Y., 1986: Principaux apports de la génétique et de l'amélioration des arbres forestiers à la sylviculture. In: Amélioration génétique des arbres forestiers. *Rev. forest. Fr.* 38, No spécial 1986: 208-220.
- Blanckmeister, J., 1956: Die räumliche und zeitliche Ordnung im Walde des mitteleuropäischen Raumes. Neumann. Radebeul, 145 S.
- Bohdanecky, J., 1926: Zur Frage der Erziehung junger Fichtenbestände. *Forstw. Cbl.* 48: 777-783.
- Bolvansky, M., 1980/81: Einige Ursachen von Gabelung des Stammes bei jungen Buchenindividuen in der Wachstumsphase der Dückung (Tschech.). *Acta dendrobiologica* 3/4: 199-245.
- Borggreve, B., 1885: Die Holzzucht. Ein Grundriss für Unterricht und Wirtschaft. Parey, Berlin, 195 S.
- Bossel, F., 1983: Analyse de l'aoûtement de 37 provenances vaudoises du Plateau. Document non public.
- Bouchon, J., 1987: Etat de la recherche relative aux dégâts forestiers dus aux tempêtes. *Rev. forest. Fr.* 39, 4: 301-312.
- 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.
- Boudru, M., 1986: Forêt et sylviculture: Sylviculture appliquée. Presses agronom. Gembloux, Gembloux, 244 p.
- Bouillet, J.P., 1985: Au sujet de la rentabilité de l'élagage des branches vertes des résineux. *Rev. forest. Fr.* 37, 1: 61-70.
- Brassel, P., 1980: Populationsentwicklung des Lärchenblasenfusses (*Taeniothrips laricivorus* Krat. & Far.) und seine Schäden an Lärchen im schweizerischen Mittelland. *Mitt. Eidg. Anst. forstl. VersWes.* 56, 4: 615-703.
- Broillard, Ch., 1881: Le traitement des bois en France à l'usage des particuliers. Berger & Levrault, Nancy, 470 S.
- Broillard, Ch., 1901: Des résultats de l'éclaircie. *Rev. Eaux For.* 40: 1-10.
- Brown, A., 1986: The effects of tree mixtures on soil and tree growth: And the role of buried seed in the dynamics of woodland vegetation. In: 1st Meeting Discussion group on Uneven-aged silviculture. Oct. 29th 1986 at Pershore College of Horticulture: 32-36.
- Brown, A., H., F., 1992: Functioning of mixed-species stands at Gisburn N.W. England. In: The ecology of mixed-species stands of trees. Cannell, Malcolm, and Robertson (Editors). Oxford Blackwell Scientific Publ., London: 125-150.
- Bryndum, H., 1969: A thinning experiment in Norway spruce in Gludsted plantations (Dän.). *Det forstl. Forsøgsvaesen i Danmark* 32, 1: 5-155.
- Bryndum, H., 1978: Der Einfluss verschiedener Durchforstungsstärken auf Massen- und Wertleistung der Fichte am Beispiel der dänischen Versuchsflächen. *Forstw. Cbl.* 97: 302-313.
- Bryndum, H., 1980: Der Buchen-Durchforstungsversuch im Waldort Totterup (Dän.). *Det forstl. Forsøgsvaesen i Danmark* 38, 1: 1-76.

- Bryndum, H., 1987: Buchendurchforstungsversuche in Dänemark. Allg. Forst u. J.-Ztg. 158, 7/8: 115-121.
- Bucher, J., 1985: Zur Diagnose von Ozonsymptomen auf Waldbäumen. Schweiz. Z. Forstwes. 136, 10: 863-865.
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 1989: Ergebnisse einer Erhebung über den Aufwand bei der Jungwaldpflege. Möglichkeiten der Pauschalierung. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 6p.
- Büren, S.v., 1997: 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-Z, Zürich, 178 S.
- Büren, S. v., 1998 : Buchenrotkern : Erkennung, Verbreitung und wirtschaftliche Beeutung. Schweiz. Z. Forstwes. 149 : 955-970.
- Buess Chr., 1987: Tannennadelprojekt. ETH-Bull. 204: 14-15.
- Burckhardt, H., 1855: Säen und Pflanzen nach forstlicher Praxis. Rümpler, Hannover, 252 S.
- Burger, H., 1921: Ueber morphologische und biologische Eigenschaften der Stiel- und Traubeneichen und ihre Erziehung im Forstgarten. Mitt. schweiz. Centralanst. forstl. VersWes. 11, 3: 306-377.
- Burger, H., 1926: Untersuchungen über das Höhenwachstum verschiedener Holzarten. Mitt. schweiz. Centralanst. forstl. VersWes. 14, 1: 29-158.
- Burger, H., 1931: Einfluss der Herkunft des Samens auf die Eigenschaften forstlicher Holzgewächse. III. Mitteilung, Die Föhre. Mitt. schweiz. Centralanst. forstl. VersWes. 26, 2: 153-230.
- Burger, H., 1939: Baumkrone und Zuwachs in zwei hiebsreifen Fichterbeständen. Mitt. schweiz. Anst. forstl. VersWes. 21, 1: 147-175.
- Burger, H., 1941: Beitrag zur Frage der reinen oder gemischten Bestände. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes. 22: 164-203.
- Burschel, P., Schmaltz, J., 1965: Untersuchungen über die Bedeutung von Unkraut- und Altholzkonkurrenz für junge Buchen. Forstwiss. Cbl. 84: 230-243.
- Burschel, P., 1987: Der Wald von morgen, Ergebnis des Waldbaues von heute. Allg. ForstZ. 42, 45: 1162-1165.
- Burschel P., 1987: Karl Gayer und der Mischwald. Allg. ForstZ. 42, 23: 587-603.
- Burschel, P., Huss J., 1987: Grundriss des Waldbaus. Ein Leitfaden für Studium und Praxis. Pareys Studentexte 49. Parey, Hamburg & Berlin, 352 S.
- Busse, J., 1930: Vom "Umsetzen" unserer Waldbäume. Tharandt. Forstl. Jahrbuch 81: 118-130.
- Busse, J., 1935: Gruppendurchforstung. Forstl. Wochenschr. Silva 23: 145-157.
- Butin, H., 1983: Krankheiten der Wald- und Parkbäume. Thieme, Stuttgart, 172 p.
- Butin, H., Kowalski T., 1983: Die natürliche Astreinigung und ihre biologischen Voraussetzungen. I. Die Pilzflora der Buche (*Fagus silvatica*). Eur. J. for. Path. 13: 322-334.
- Butin, H., Kowalski T., 1983: Die natürliche Astreinigung und ihre biologischen Voraussetzungen. I. Die natürliche Pilzflora der Stieleiche *Quercus robur* (L.). Eur. J. for. Path. 13: 428-439.
- Butin, H., Kowalski T., 1986: Die natürliche Astreinigung und ihre biologischen Voraussetzungen. III. Die Pilzflora von Ahorn, Erle, Birke, Hagebuche und Esche. Eur. J. for. Path. 16, 3: 129-138.
- Butora A., Schwager, G., 1986: Holzernteschäden in Durchforstungsbeständen. Ber. Eidg. Anst. forstl. VersWes. 288, 51 S.
- BUWAL, 1999: Perspektiven der Starkholznutzung in der Schweiz. In: Starkholz; Problem oder Chance? Eine Standortbestimmung. Buwal, Eidg. Forstdirektion, Bern. 110 S.
- Carbonnier, Ch., 1951: [The problem of undergrowth in cultivated oak stands] (Schwed.). Meddel. f. stat. skogs. ForkInst. 40, 1: 1-59.
- CEE, FAO, 1987: Déclaration concernant les incidences sur les politiques, de l'étude intitulée "Tendances et perspectives du bois en Europe jusque'en l'an 2000 et

- au-delà" de la réunion commune du Comité du bois de la Commission économique pour Europe et de la Commission européenne des forêts de la FAO. FO: EFC/87/7, 6S.
- Champagnat, Y., 1954: Recherches sur les "rameaux anticipés" des végétaux ligneux. Rev. Cytol. Biol. veg. 15: 1-54.
- Champagnat, P., 1965: Physiologie de la croissance et de l'inhibition des bourgeons: dominance apicale et phénomènes analogues. Encyclopedia of plant physiolog. 15, 1: 1106-1164.
- Champagnat, P., 1969: La notion de facteurs de préséances entre bourgeons. Bull. soc. bot. Fr. 116: 323-348.
- Champagnat, P., Barnola, P., Lavarenne, S., 1986: Quelques modalités de la croissance rythmique endogène des tiges chez les végétaux ligneux. In: Colloque international sur l'arbre, Naturalia monspeliensia: 279-302.
- Choisnel, E., Jacq, V., Guehl, J., M., Aussenac, G., 1990 : Simulation de la variabilité de la photosynthèse hivernale du douglas (*Pseudotsuga menziesii* Mirb.) dans les conditions climatiques françaises. Ann. Sci. For. 47 : 495-508.
- Chollet, F., Demarcq, Ph., 1998 : Réaction des hêtraies de montagne aux éclaircies tardives. Rev. For. Fr. 50, 4 : 349-355.
- Chroust, L., 1965: Das Bestandesklima der Fichtenstangenhölzer bei einer Pflege durch starke Eingriffe (Orig. Tsch.). Les. Cas. 11: 1067-1088.
- Ciancio, O., Nocentini, S., 1995: Idéologies ou nouveau paradigme scientifique dans la gestion forestière? Rev. For. Fr. 47: 189-192.
- Cieslar A., 1887: Ueber den Einfluss des Fichtensamens auf die Entwicklung der Pflanzen nebst einigen Bemerkungen Über schwedische Fichten- und Weissföhrensamen Cbl. ges. Forstwes. 13.
- Cieslar, A., 1895: Ueber die Erbllichkeit des Zuwachsvermögens bei Waldbäumen. Cbl. ges. Forstwes. 21.
- Cieslar A., 1907: Die Bedeutung klimatischer Varietäten unserer Holzarten für den Waldbau. Cbl. ges. Forstwes. 33.
- Comps, B., Paule, L., Sugar, I., Thiébaut, B., Trinajstic, I., 1991: Genetic variability in beech woods (*Fagus sylvatica* L.) over Central Europe, allozymic variation in six enzyme systems: spatial differentiation among and within populations. In: 3. IUFRO Buchen-Symposium, 3.-6. Juni 1988 in Zvolen: 5-21.
- Cot, J., 1992: Synthèse sur les pratiques en foresterie écologique. ENGREF, Nancy
- Cotta, J.H., 1817: Anweisung zum Waldbau. Arnold, Dresden.
- Cotta, J.H., 1832: Grundriss der Forstwissenschaft. Arnold, Dresden & Leipzig, 379 S.
- Coulon, M. de, 1988: Pourquoi un paysage est-il beau? Off. central féd. imprimés et mat. Berne, 94 p.
- Coutts, M.P., 1983: Root architecture and tree stability. Plant and soil 71:171-188.
- Crabbé, J., 1987: Aspects particuliers de la morphogénèse caulinaire des végétaux ligneux et introduction à leur étude quantitative. Bruxelles: IRSIA, 116 p.
- Decourt, N., 1972: Méthode utilisée pour la construction rapide de table de production provisoires en France. Ann. Sci. forest. 1: 35-48.
- Delatour, C., 1972: Le fomes annosue. Rev. for. Fr. 24, 1: 21-38.
- Delvaux, J., 1964: A propos de l'éclaircie des hêtraies en forêt de Soignes. Trav. Stat. Rech. Eaux et For. Groenendaal-Hoeilaart. Sér. B, No. 30, 70 p.
- Delvaux, J., 1964: Contribution à l'étude de l'éducation des peuplements. I. Aquisition de la position dominante dans les jeunes plantations équiennes d'épicéa. Trav. Stat. Rech. Eaux et For. Groenendaal-Hoeileart. Sér. B, No. 29, 38 p.
- Delvaux, J., 1977: Les arbres de place. Ann. Gembloux 83: 235-251.
- Delvaux, J., 1981: Différenciation sociale. Schweiz. Z. Forstwes. 132, 9: 733-749.
- Delvaux, J., 1984: Forêt de Soignes. Propos d'un iconoclaste. Les Natural. belg. 65, 1: 1-45.
- Denninger, W., 1998: Vergleich der Einsatzeignung von Raupenharvestern und Rad-Harvestern in der Holzernte. Holz-Zbl. 124, 79: 1160-1162.

- Dietrich, V., 1941: Forstliche Betriebswirtschaftslehre. Bd. III, Erfolgsrechnung, Zielsetzung. Parey, Berlin & Hamburg, 310 S.
- Dimitri, L., 1980: Untersuchungen über die Widerstandsfähigkeit der Fichte (*Picea abies* Karst.) gegenüber dem Wurzelschwamm *Fomes annosus* (fr.) Cooke. Schriftenr. forstl. Fak. Univ. Göttingen 66, 126 S.
- Dimitri, L., 1983: Die Wundfäule nach Baumverletzungen in der Forstwirtschaft: Entstehung, Bedeutung und die Möglichkeiten der Verhütung. Forstw. Cbl. 102: 68-79.
- Dimitri, L., 1986: Biologie der Stammfäulen, ihre Bedeutung für den Waldbau und die Möglichkeiten ihrer Verhütung. Schweiz. Z. Forstwes. 137, 5: 377-388.
- Dittmar, O., 1991: Der Seebachsche Lichtungsbetrieb. Ein interessanter Aussenseiter der Buchenwirtschaft des 19. Jahrhunderts. Der Wald (Berlin), 41: 165-168.
- Dralet, M., 1820: *Traité des forêts d'arbres résineux, sur les montagnes de France et terrains adjacents*. Vieusseux, Toulouse, 271 S.
- Drescher, W., 1965: Aus der Bestands- und Ertragsgeschichte von Beständen des südlichen Hochschwarzwaldes. SchrReihe Landesforstverw. Bad.-Württemberg 19.
- Duc, Ph. Le, 1869: *Oeuvres agronomiques et forestières de Varenne de Fenille*. Rothschild, Paris, 512 S.
- Ducrey, M., 1981: Etude bioclimatique d'une futaie feuillue de l'Est de la France. III. Potentialités photosynthétiques des feuilles à différentes hauteurs dans le peuplement. Ann. Sci. forest. 38, 1: 71-86.
- Duhamel du Monceau, H.-L., 1755: *Traité des arbres et arbustes qui se cultivent en France en pleine terres* 2 vol. Desaint, Paris.
- Duhamel du Monceau, H.-L., 1760: *Des semis et plantations des arbres et de leur culture*. Guerin & Delatour, Paris, 383 S.
- Dunham, R.A., Cameron, A.D., 2000: Crown, stem and wood properties of wind-damaged and undamaged Sitka spruce. For. Ecol. Managem. 135: 73-81.
- 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. forest. 43, 1: 85-102.
- Eberhard, J., 1919: Was will der Abrückschlag (Keilschlagbetrieb)? Forstw. Cbl. 41: 441-448.
- Eberhard, J., 1920: Die Technik der Naturverjüngung einst und jetzt. Forstw. Cbl. 42: 161-183 + 204-226.
- Eberhard, J., 1922: Der Schirmkeilschlag und die Langenbrander Wirtschaft. Forstwiss. Cbl. 44: 41-54: 103-109: 135-150.
- Eggenherger, U., 1985: Charakterisierung der Plenterverfassung in Wäldern des Bergsturzgebietes von Flims Schweiz. Z. Forstwes. 136, 6: 503-513.
- Eiberle, K., Nigg, H., 1987: Grundlagen zur Beurteilung des Wildverbisses im Gebirgswald. Schweiz. Z. Forstwes. 138, 9: 747-785.
- Eichhorn, F., 1904: Beziehungen zwischen Bestandeshöhe und Bestandesmasse. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 80: 45-49.
- Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, 1968: Ertragstafel für Fichte in der Schweiz. Eidg. Anst. forstl. Verswes., Birmensdorf.
- Ellenberg, H., 1963: *Vegetation Mitteleuropa mit den Alpen*. Ulmer, Stuttgart, 943 p.
- Engler, A., 1900: Wirtschaftsprinzipien für die natürliche Verjüngung der Waldungen mit besonderer Berücksichtigung der verschiedenen Standortverhältnisse der Schweiz. Schweiz. Z. Forstwes 51, 11: 264-274 + 12: 300-310.
- Engler, A., 1905: Einfluss der Provenienz der Samen auf die Eigenschaften der forstlichen Holzgewächse. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. VersWes. 8: 81-236.
- Engler, A., 1924: Die Hochdurchforstung. Mitt. Schweiz. Centralanst. forstl. Verswes. 13, 2: 285-351.
- Erteld, W., 1950: Der Verlauf des Umsetzens bei der Fichte. Forstwirtsch. Holzwirtsch. 4, 19/20: 301-309.
- Erteld, W., 1986: *Grundriss der Kiefernwirtschaft*. Lehrstuhl f. Waldwachstumskunde. Univ. München, München, 259 S.

- Eutener, G.A., 1970: Aerodynamische Beobachtungen im Pforzheimer Wirbelsturm vom 10. Juli 1968. Arch. Meteo. Geoph. Biokl., Serie A, 19: 355-371.
- Evans, J., 1983: Le contrôle des gourmands. Etat actuel des recherches en Grande-Bretagne. Rev. forest. Fr. 35, 5: 369-375.
- Evelyn, J., 1664: Silva: or a discourse of forest trees and the propagation of timber in His Majesty's dominions. 3<sup>rd</sup> ed by A Hunter, Wilson & Spencer, High-Ousegate, 1801.
- Evers, F.H., 1973: Zusammenhang zwischen chemischen Bodeneigenschaften und Kernfäulebefall in Fichtenbeständen. Mitt. Ver. forstl. Standortskunde Forstpflanzenzucht. 22: 65-71.
- Feller, S., Weixler, H., Pausch, R., 1997: Holzernte in Fichtenaltbeständen mit einem Raupenharvester. Allg. Forst. Z./Der Wald 52: 478-481.
- Ferlin, F., Bobinac, M., 1999: Natürliche Strukturentwicklung und Umsetzungsvorgänge in jüngeren ungepflegten Stieleichenbeständen. Allg. Forst. U. J.Ztg. 170, 8: 137-142.
- Ferrand, J.-Ch., 1982: Etude des contraintes de croissance. 1<sup>ère</sup> partie: méthode de mesure sur carottes de sondage. 2<sup>ème</sup> partie: variabilité en forêt des contraintes de croissance du hêtre (*Fagus sylvatica* L.). Ann. Sci. For., 39, 2: 109-142; 39, 3: 187-218.
- Fisher, R.F., Woods, R.A., Glavicic, R.M., 1978: Allelopathic effects of goldeurod 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.
- Fleder, W., 1981: Fourniereichenwirtschaft heute. Qualitätsansprüche, Produktionszeitraum und waldbauliche Folgerungen. Holz-Zentralbl. 107, 98: 1509-1511.
- Fleder, W., 1987: Erziehungsgrundsätze für Buchenbestände. Forst- u. Holzwirt. 42, 5: 107-111.
- Flury, Ph., 1926: Ueber Zuwachs, Massen- und Geldertrag reiner und gemischter Bestände. Schweiz. Z. Forstwes. 12: 337-342.
- Flury Ph., 1930: Untersuchungen über Zuwachs, Massen- und Geldertrag reiner und gemischter Bestände. Mitt. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes. 16: 453-472.
- Fölster, H., Degenhardt, M., Flor, T., Lux, M., 1991. Untersuchungen zur Tiefendurchwurzelung und Durchwurzelungsintensität auf Braunerdepseudogleyen im Vorderen Hundsrück in Abhängigkeit von Baumart und Bestandesstrukturparametern. Mitt. Forstl. Versuchsanst. Rheinland-Pfalz. 19/91: 91-106.
- Fontaine, F., Druelle, J.-M., Clément, Chr., Burrus, M., Andran, J.-Cl., 1998: Ontogeny of proventious epicormic buds in *Quercus petraea*; I. In the 5 years following initiation. Trees 13: 54-62.
- Fontaine, F., Colin, F., Jarret, P., Druelle, J.-L., 2001: Evolution of the epicormic potential on 17-year-old *Quercus petraea* trees: first results. Ann. For. Sci. 58: 583-592.
- Fournier, M., Rogier, P., Costes, E., Jaeger, M., 1993: Modélisation mécanique des vibrations propres d'un arbre soumis aux vents, en fonction de sa morphologie. Ann. Sci. For. 50: 401-412.
- Franz, F., 1971: Grundlagen und Verfahren standortsbezogener Leistungsschätzung. Mit Fichtenleistungstafeln für einige Standortseinheiten in Mittelschwaben. ForschBer. forstl. ForschAnst. München 2/1971.
- Freist, H., 1962: Untersuchungen über den Lichtungszuwachs der Rotbuche und seine Ausnützung im Forstbetrieb. Beih. Forstwiss. Cbl. 17. 78 S.
- Frochot, H., Lévy, G., 1986: Efficacité d'un paillage de papier journal sur la croissance initiale du merisier (*Prunus avium* L.) Ann. Sci. forest. 43, 2: 263-267.
- Ganther, S., 1983: Untersuchung über die Wuchsdynamik, Nachbarschaft, soziologische Umsetzung und Qualitätsentwicklung in natürlich verjüngten Föhrenjungwäldern in der Gemeinde Glattfelden. Schweiz. Z. Forstwes. 134, 11: 905-914.
- Gayer, K., 1880: Der Waldbau. Wiegandt & Hempel & Parey, Berlin, 700 S.

- Gayer, K., 1886: Der gemischte Wald, seine Begründung und Pflege, insbesondere durch Horst- und Gruppenwirtschaft. Parey, Berlin, 168 S.
- Geburek, Th., Thurner, G., 1993: Verändert sich der Genpool von Waldbeständen durch forstwirtschaftliche Massnahmen? Cbl. Ges. Forstwes. 110, 2:49-62.
- Gelinsky, H., 1933: Die Astreinigung der Rotbuche. Z. Forst. U. J.wes. 65, 6: 289-322.
- Gerhardt, E., 1925: Fichten-Schnellwuchsbetrieb. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 101: 276-283.
- Glück, F., 1987: Das Wertsystem der Forstleute. Cbl. ges. Forstwes. 104, 1: 44-51.
- Glück, P., Pleschberger, W., 1982: Das Harmoniedenken in der Forstpolitik. Allg. ForstZ. 37, 22: 650-655.
- Goltz, H. v.d., 1991: Strukturdurchforstung der Fichte: Ein Weg zu stufigen Bestandesaufbau. Allg. ForstZ. 46: 677-679.
- Graber, D., 1994: Die Fichtenkernfäule in der Nordschweiz. Schadenausmass, ökologische Zusammenhänge und waldbauliche Massnahmen. Schweiz. Z. Forstwes. 145: 905-925.
- Graber, D., 1996: Die Kernfäule 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, ETH-Zürich, 236 S + Anh. p.
- Gruber, F., 1987: Das Verzweigungssystem und der Nadelfall der Fichte als Grundlage zur Beurteilung von Waldschäden. Ber. Forsch-Zentrum Waldökosysteme-Waldsterben, Reihe A, Bd. 26, 214 p.
- Gruber, F., 1987: Zur Proventivtrieb Bildung der Fichte. Allg. ForstZ. 42. 49: 1285-1288.
- Gurraud, A., 1884: La sylviculture francaise. Jacquin, Besancon, 94 S.
- Gurraud, A., 1886: La sylviculture francaise et la methode du contrôle. Jacquin, Besancon, 121 S.
- Guttenberg, A., v. 1915: Die Formausbildung der Baumstämme Oesterr. Vierteljahresschr. f. Forstwes. 33: 217-262.
- Guyot, Ch., 1898: L'enseignement forestier en France: l'école de Nancy. Crépin-Leblond, Nancy, 398 p.
- Hamilton, G.J., 1976: The Bowmont Norway spruce thinning-experiment 1930-74. Forestry 49: 109.
- Halle, F., Oldeman, R.A.A., Tomlison, P.B., 1978: Tropical trees and forests: an architectural analysis. Springer, Heidelberg, 441 p.
- Hart, H.M.F., 1928: Stamtal en dunning, Een orienteerend onderzoek naar de beste plantwijde en dunningswijze voor den djati. Veenman & Zonen, Wageningen, 219 S.
- Hartig, G.L., 1791: Anweisung zur Holzzucht für Förster. Neu Akad. Buchhandl., Marburg, 144 S.
- Hase, W., 1976: Forstschädlinge in Schleswig-Holstein. Forstarchiv 47: 5-7.
- Hasel, K., 1985: Forstgeschichte. Ein Grundriss für Studium und Praxis. Pareys Studentexte 48, Parey, Hamburg & Berlin, 258 S.
- Hausrath, H., 1982: Geschichte des deutschen Waldbaus. Von seinen Anfängen bis 1850. Hochschulverlag, Freiburg i.Br., 416 S.
- Heck, C.R., 1904: Freie Durchforstung. Springer, Berlin, 115 S.
- Herzog, M., Rotach, P., 1988: Trockenresistenz und Immissionshärte der Weissstanne (*Abies alba Mill.*). Frühstuntersuchungen mit vier Provenienzen. Inst. f. Wald- u. Holzforsch., Fachbereich Waldbau, ETH-Z, Zürich, 147 S.
- Hess H.E., Landolt, E., Hirzel R., 1976: Flora der Schweiz und angrenzender Gebiete. Bd. I. Birkhäuser, Basel & Stuttgart, 858 p.
- Hiley, W.E., 1959: Conifers: South African methods of cultivation. Faber & Faber, London, 123 S.
- Hinterstoisser, F., 1971: Zeitstudien zur Kiefernwertastung mit der Sterzik-Säge. Allg. ForstZ. 26, 12: 238.
- Hocevar, M., 1975: Freischneiden von Kulturen mit Einachstraktoren und Mulchgerät. Ber. Eidg. Anst. forstl. VersWes. 144, 8 S.

- Hofer, P., Taverna, R., Kaufmann, E., 2000. Charakterisierung der Starkholzvorkommen nach Nutzungsparametern. In: Starkholz Problem oder Chance?; eine Standortsbestimmung. Bundesamt Umwelt Wald Landschaft, Bern: 37-82.
- Höwecke, B., Mahler, G., 1991 : Untersuchungen zur Farbverkernung bei der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L) in Baden-Württemberg. Mitt. Forstl Versuchs- u. Forschungsanst. Baden Württemberg, Nr. 158 I, 106 S.
- Höwecke, B., 1998 : Untersuchungen zum Farbkern der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in Baden-Württemberg. Schweiz. Z. Forstwes. 149 : 971-990.
- Holling, C.S., 1973: Resilience and stability of ecological systems. Ann. Rev. Ecol. and Systematics 4: 1-23.
- Holzer, K., 1978: Die Kulturkammertestung zur Erkennung des Erbwertes bei Fichte (*Picea abies* (L.) Karsten). 2. Merkmale des Vegetationsablaufes. Cbl. ges. Forstwesen 95, 1: 30-51.
- Holzer, K., Tranquillini, W., 1979: Physiologische Grundlagen der Höhenverbreitung der Fichte in den Alpen. Allg. Forstztg. 90, 7: 172-173.
- Horn, H., C., 1971 : The adaptive geometry of trees. Princeton Univ. Press, Princeton New Jersey. 144 S.
- Hubert, M., Courraud, R., 1987: Elagage et taille de formation des arbres forestiers. Inst. p. le dévelop. forest., Paris, 292 S.
- Huss, J., 1982: Die Bekämpfung der Konkurrenzvegetation von Waldverjüngungen in der forstlichen Praxis. Allg. ForstZ. 37, 14: 398-400.
- Huss, J., 1998: Der Fichten-Durchforstungsversuch Göggingen. Eisschäden an Fichten in einem Durchforstungsversuch. Allg. ForstZ. 53 ,8: 430-432.
- Hussendörfer, E., 1992: Untersuchungen zur Verzweigungsform und anderen phänotypischen Merkmalen der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) unter besonderer Berücksichtigung der Zusammenhängen mit ausgewählten genetischen Merkmalen. Diplomarbeit forstwiss. Fak. Alb.-Ludw. Univ. Freiburg i.Br., 75 p, (nicht publ.)
- Hussendörfer, E., 2001: Beiträge zum Thema: Nachhaltigkeit genetischer Variation durch naturnahe Waldwirtschaft; dargestellt am Beispiel der Weisstanne (*Abies alba* Mill.). Habilitationsschrift, ETHZ, Zürich, 135 S.
- Hussendörfer, E., Schütz, J.-Ph., Scholz, F., 1996: Genetische Untersuchungen zu phänotypischen Merkmalen an Buche (*Fagus silvatica* L.). Schweiz. Z. Forstwes. , 147:785-802.
- Jalas, J., 1955: Hemerobe und hemechore Pflanzenarten; Ein terminologischer Versuch. Acta Soc. Fauna Flora Fenn. 72, 11: 1-15.
- Johann. K., 1987: Standraumregulierung bei der Fichte. Ber. forstl. BundVersAnst. Wien Nr. 22, 64 p.
- Kastofer. K.A., 1828/29: Der Lehrer im Walde; zweiter Teil: von der Waldbehandlung und Waldbenutzung und von der Baumsaat und Baumpflanzung. Jenni,
- Kato, F., 1973: Begründung der qualitativen Gruppendurchforstung. Habil. Schrift. Univ. Göttingen. 132 S.
- Kato, P., Mülder, D., 1978: Ueber die soziologische und qualitative Zusammensetzung gleichaltriger Buchenbestände. SchrReihe forstl. Fak. Univ. Göttingen u. niedersächsisch. forstl. VersAnst. 51.
- Kato, F., Mülder, D., 1988: Qualitative Gruppendurchforstung der Buche: Wertentwicklung nach 20 Jahren. Allg. Forst. u. J.Ztg. 159: 51-56.
- Kazarajan, V.O., 1969: Le vieillissement des plantes supérieures. Edit. origin. Russe: Navka, Moscou, 1969. Traduction fr.: Centre nat. rech. for. Champenoux, 1969, 228 S.
- Keller, W., Imhof, P., 1987: Zum Einfluss der Durchforstung auf die Waldschäden. 2. Teil: Erste Ergebnisse von Waldschaden-Untersuchungen in Plenterversuchs-flächen der EAFV. Schweiz. Z. Forstwes. 138, 4: 293-320.
- Keller, W., Pfäffli, F., 1987: Zuwachsverhältnisse in zwei Fichtenbeständen nach Grünastung. Mitt. Eidg. Anst. forstl. Verswes. 63, 1: 55-84.

- Keller, R., Timbal, J., Le Tacon, F., 1976 : La densité du bois de hêtre dans le Nord-Est de la France. Influence des caractéristiques du milieu et du type de sylviculture. Ann. Sci. For. 33, 1 : 1-17.
- Keller, R., Thiercelin, F., 1984: L'élagage des plantations d'épicéa commun et de douglas. Rev. forest. Fr. 36, 4: 289-302.
- Kenk, G., Unfried, P., 1980: Aststärken in Douglasienbeständen. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 151, 11: 201-210.
- Kenk, G., 1980: Pflegeprogramm "Werteiche": Ueberlegungen zu einem Betriebszieltyp. MELU Stuttgart. Nr. EM-8-80: 89-116.
- Kenk, G., 1981: Jungbestandspflege in den wichtigsten Betriebszieltypen. Allg. ForstZ. 36, 30: 753-754.
- Kenk, G., 1985: Der Volumen- und Wertzuwachs im Stadium der natürlichen Verjüngung eines Kiefern-Tannenbestandes im Nordschwarzwald. Tagungsber. Jahrestag. in Kälberbronn, Sek. Ertragsk., Deutsch. Verb. forstl. Forschungsmant.: 2/1-2/23.
- Kenk, G., Neue Waldbehandlungskonzepte in Zeiten der Mittelknappheit: Das Jungwaldpflegemodell Baden-Württemberg. Schweiz. Z. Forstwes. 150 (in Vorbereitung).
- Kennel, R., 1965: Untersuchungen über die Leistung von Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 136, 7: 149-161, 8: 173-189.
- Kennel, R., 1973: Die Bestimmung des Ertragsniveaus bei der Buche. Forstw. Cbl. 92: 226-234.
- Kiffmann, R., 1978: Alpenpflanzenflora. Eigenverl., Freizing-Weihestephan, 72 p.
- Klädtker, J., 1997: Buchen-Lichtwuchsdurchforstung. Allg. ForstZ. 52, 19: 1019-1023.
- Klädtker, J., 1997: 25 Jahre Buchen-Lichtwuchsdurchforstung nach Altherr. Tagungsber. Deutsch. Verb. Forstl. Forsch.Anst., Sekt. Ertragsk., Grüneberg: 246-258.
- Klebs, G., 1914: Ueber das Treiben der einheimischen Bäume speziell der Buche. Abhdl. d. Heidelberg. Akad., math.-naturwiss. Kl., 3: 1-113.
- Klebs, G., 1917: Ueber das Verhältnis von Wachstum und Ruhe bei den Pflanzen. Biol. Zbl. 37: 373-415.
- Kleinschmit, J., Svolba, J., 1995: Results of the Krahl-Urban beech (*Fagus sylvatica* L.) provenance experiments 1951, 1954 and 1959 in northern Germany. In: Genetics and silviculture of Beech, Proceedings from the 5th Beech-symposium of the IUFRO Project Group P1.10-00, 19.-24. Sept. 1994, Mogenstrup, Denmark. Forschnngsserien no 11, 1995: 15-34.
- Knoke, T., 1998: Die Stabilisierung junger Fichtenbestände durch starke Durchforstungseingriffe: Versuch einer ökonomischen Bewertung. Forstarchiv 69: 219-226.
- Knoke, T., Schulz-Wenderoth, S., 2001: Ein Ansatz zur Beschreibung von Wahrscheinlichkeit und Ausmass der Farbkernbildung bei Buche (*Fagus sylvatica* L.). Forstwiss. Cbl. 120: 154-172.
- 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 Weihestephan f. Ernähr. Landnutz. Und Umwelt der Techn. Univ. München, München, 204 S.
- Knorr, G., 1980: Zur Wundreaktion der Fichte und Buche nach mechanischen Baumverletzungen. Kolloq. Tharandt/Brno 16.-19. Juni 1980, Techn. Univ. Dresden, Sek. Forstwirtschaft. Tharandt, 29-41.
- Kodrik, J., 1970: Die Stabilität der Tanne gegen Schneebrüche. Lesnice Prace 49: 74-77.
- Kodrik, J., 1972: Der Einfluss der bestandesbildenden Faktoren auf die Beschädigung der Tannenbestände durch Schnee. Acta Fac. forest. Zvolen 14: 115-129.
- Kodrik, J., 1982: Beurteilung dispositiver Eigenschaften von Kiefernbeständen gegenüber der Intensität von Schneebruchschäden. Lesnictvi 28, 1: 43-57.
- Kodrik, J., 1991: Einfluss der bestandesbildenden Kennziffern auf die Intensität der Beschädigung von Buchenbeständen durch Schnee. In: 3. IUFRO-

- Buchensymposium. S. Korpel & L. Paule (Eds), Hochschule für Forstwirtschaft und Holztechnologie, Zvolen:326-330.
- König, E., 1976: Waldschadenprobleme bei der Waldverjüngung. Schweiz. Z. Forstwes. 127: 40-58.
- Köstler, J.N., 1950: Waldbau. Grundriss und Einführung als Leitfaden zu Vorlesungen über Bestandesdiagnose und Waldtherapie. Parey, Hamburg & Berlin, 418 S.
- Köstler, J.N., 1952: Ansprache und Pflege von Dickungen. Parey, Berlin & Hamburg, 80 p.
- Korpel, S., 1974: [Durchforstungen in Eichenbeständen und Möglichkeiten ihrer Rationalisierung] (Orig. Slowak.) Lesn. Cas (Zvolen) 20, 3: 185-204.
- Korpel, S., 1975: [Das Schutzgebiet Kasivarovaer Eichenwald] (Orig. Slowak.) Zbornik Vedeckych Prac 17, 1: 19-52.
- Korpel, S., 1982: Degree of equilibrium and dynamical changes of the forest on example of natural forests of Slovakia. Acta. Fac. forest. Zvolen, 24: 9-31.
- Korpel, S., 1995: Die Urwälder der Westkarpaten. G. Fischer, Stuttgart, 310 S.
- Kowarik, I., 1988: Zum menschlichen Einfluss auf Flora und Vegetation. Theoretische Konzepte und ein Quantifizierungsansatz am Beispiel von Berlin (West). Landschaftsentwicklung Umweltforsch. 56: 1-280.
- Kraft, G., 1884: Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben. Klindworth's, Hannover, 147 S.
- Krahl-Urhan, J., 1953: Baumtypen bei Eichen und Buchen. Allg. ForstZ. 8, 20: 245-248.
- Krahl-Urhan, J., 1953: Rassenfragen bei Eichen- und Buchen. Allg. ForstZ. 8: 478-480.
- Krahl-Urhan, J., 1955: Forstgenetik in der Eichen- und Buchenwirtschaft. Forstarchiv 26, 6: 121-131.
- Krahl-Urhan, J., 1958: Drehwuchs bei Eichen und Buchen. Allg. ForstZ. 8, 49: 540-542.
- Krahl-Urhan, J., 1959: Die Eichen. Forstliche Monographie. Parey, Hamburg & Berlin, 288 S.
- Kramer, H., 1978: Der Bowmont-Durchforstungsversuch. Forstw. Cbl. 97: 131-141.
- Kramer, H., 1979: Zum Wachstum der Uralfichten "Dicke Tannen". Forstarchiv 50, 10: 214-219.
- Kramer, H., 1988: Waldwachstumslehre Oekologische und anthropogene Einflüsse auf das Wachstum des Waldes, seine Massen- und Wertleistung und die Bestandessicherheit. Parey, Hamburg & Berlin, 374 p.
- Krecmer, V., 1967: Das Mikroklima der Kieferlockkahlschläge. Wetter u. Leben 19: 203-214.
- Kreutzer, K., 1961 : Wurzelbildung junger Waldbäume auf Pseudogleyböden. Forstwiss. Cbl. 80 : 356-392.
- Kriszl, W., Müller, F., 1988: Mischwuchsregulierung von Fichte und Buche in der Jungbestandsphase FBVA-Ber. 29, 1988, 50 p.
- Künstle E., Mitscherlich G., 1975: Photosynthese, Transpiration und Atmung in einem Mischbestand im Schwarzwald. Teil I. Allg. Forst u. J.-Ztg. 146, 3/4: 45-63.
- Künstle, E., Mitscherlich, G., 1975: Photosynthese. Transpiration und Atmung in einem Mischbestand im Schwarzwald. Teil II: Transpiration. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 145, 5: 88-100.
- Künstle, E., Mitscherlich, G., 1976: Photosynthese, Transpiration und Atmung in einem Mischbestand im Schwarzwald. Teil III. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 147, 9: 169-177.
- Künstle, E., Mitscherlich, G., 1977: Photosynthese, Transpiration und Atmung in einem Mischbestand im Schwarzwald. Teil IV: Bilanz. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 143, 12: 227-239.
- Kuoch, R., Amiet, R., 1970 : Die Verjüngung im Bereich der oberen Waldgrenze der Alpen mit Berücksichtigung von Vegetation und Ablegerbildung. Mitt. Eidg. Anst. Forstl. Versuchswes. 46: 159-328.
- Kuoch, R. 1972 : Zur Struktur und Behandlung von subalpinen Fichtenwälder. Schweiz. Z. Forstwes. 123 : 77-89.
- Kurth, A., 1946: Untersuchungen über Aufbau und Qualität von Buchendickungen. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. VersWes. 24, 2: 581-658.
- Lacaze, J.F., Touzet, G., 1986: Amélioration des arbres forestiers. Rev. forest. Fr. 38, No spec.: 20-25.

- Ladefoged, K., 1946: (The productive importance of individual parts of the crown in spruce] (dän.). Det forstl. Forsøgsvaesen i Danmark 16: 365-400.
- Lanier, L., 1986: Précis de sylviculture. Ecole Nat. Génie Rural Eaux et For., Nancy, 468 S.
- Lanz, W., 1978: Neue Möglichkeiten zur Pflege von Laubholzkulturen. Forst- u. Holzwirt 33: 146-150.
- Lauber, U., Rotach, P., Hussendörfer, E., 1997: Auswirkungen waldbaulicher Eingriffe auf die genetische Strukturen eines Buchen-Jungbestandes (*Fagus sylvatica* L.). Schweiz. Z. Forstwes. 148, 11: 847-862.
- Lavarenne, S., Champagnat, P., Barnola, P., 1971: Croissance rythmique de quelques végétaux ligneux de régions tempérées cultivés en chambres climatisées à température élevée et constante et sous diverses photopériodes. Bull. Soc. bot. Fr. 118: 131-162.
- Leder, B. 1992 : Weichlaubhölzer. Verjüngungsökologie, Jugendwachstum und Bedeutung in Jungbeständen der Hauptbaumarten Buche und Eiche. Schriftenr. Landesanst. Forstw. Nordrhein-Westfalen.(Sonderband) : 1-413.
- Leibundgut, H., 1951: Der Wald, eine Lebensgemeinschaft. Büchergilde Gutenberg, Zürich, 222 S.
- Leibundgut, H., 1966: Die Waldpflege. Haupt, Bern & Stuttgart, 192 S.
- Leibundgut, H., 1966: Waldgesinnung. Schweiz. Z. Forstwes. 117, 3/4: 155-167.
- Leibundgut, H., Grilc, J., 1970: Untersuchungen Über den Arbeitsaufwand bei der Dickungspflege. Schweiz. Z. Forstwes. 121, 3: 167-174.
- Leibundgut, H., Auer, C., Wieland, C., 1971: Ergebnisse von Durchforstungsversuchen 1930-1965 im Sihlwald. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. VersWes. 47, 4: 259-389.
- Leibundgut, H., 1976: Grundlagen zur Jungwaldpflege. Ergebnisse zwanzigjähriger Untersuchungen über die Vorgänge der Ausscheidung, Umsetzung und Qualitätsentwicklung in jungen Eichenbeständen. Mitt. Eidg. Anst. forstl. VersWes. 52, 4: 313-371.
- Leibundgut, H., 1976: Beitrag zur Erscheinung der Allelopathie. Schweiz. Z. Forstwes. 127, 9: 621-635.
- Leibundgut, H., 1977: Auswirkungen der waldbaulichen Auffassungen Karl Kastofers. Schweiz. Z. Forstwes. 128, 11: 864-873.
- Leibundgut, H., 1981: Die natürliche Waldverjüngung. Haupt, Bern & Stuttgart, 107 S.
- Leibundgut, H., 1984: Unsere Waldbäume. Eigenschaften und Leben. Huber, Frauenfeld & Stuttgart, 168 S.
- Leibundgut, H., 1987: Zeitströmungen im schweizerischen Waldbau. Schweiz. Z. Forstwes. 138, 10: 869-879.
- Leibundgut, H., 1987: Vom Holzackerbau zum naturnahen Waldbau. Oesterr. Forstztg. 1, 4: 10-11.
- Lenz, O., Strässler, H.J., 1959: Contribution à l'étude de l'éclatement des billes de hêtre (*Fagus sylvatica*, L.). Mitt. Schweiz. Anstalt forstl. Versuchswes., 35, 5: 369-411.
- Lenz, O., Nogler, P., Schär, E., 1991: L'élagage et la qualité des bois d'épicéa (*Picea abies* Kars.) et de sapin blanc (*Abies alba* Mill.) de peuplements réguliers du Plateau suisse. Ber. Eidg. ForschAnst. F. Wald Schnee u. Landsch. No 331, 51 S.
- Lichtenthaler, H.K., Buschmann C., Döll, M., et al., 1981: Photosynthetic activity, chloroplast ultrastructure, and leaf characteristics of high-light and low-light plants and of sun and shade leaves. Photosynthesis Res. 2: 115-141.
- Liebold, E., 1955: Die Anwendung der Stadientheorie in der Forstwirtschaft bei Pflegehieben. Forst u. J. 5, 10: 404-406, 11: 451-453, 12: 514-517.
- Liebold E., 1965: Bemerkungen zu den Ursachen des Umsetzens der Einzelbäume in Waldbeständen. Arch. Forstwes. 14, 6: 611-617.
- Lorentz, B., Parade. A., 1837: Cours élémentaire de culture des bois. Huzard, Paris' Grimblot, Nancy, 560 S.
- Lorne, R., 1959: Etude quantitative sur les éclaircies dans les peuplement de chêne de qualité. Rev. forest. Fr. 11: 746-768.

- Loycke, H.J., 1958: Die Bekämpfung von Forstunkräutern mit mechanischen Mitteln. Allg. ForstZ. 13, 18: 25D-253.
- Loycke, H.J., 1963: Die Technik der Forstkultur, BLV, München & Basel & Wien, 480 p.
- Loycke, H.J., 1964: Wege zur Rationalisierung der Jungwuchs- und Jungbestandspflege. Allg. ForstZ. 19, 31: 459-463.
- Lüpke, B. v., Spellmann, H. 1997: Aspekte der Stabilität und des Wachstums von Mischbeständen aus Fichte und Buche als Grundlage für waldbauliche Entscheidungen. Forstarchiv 67: 167-179.
- Lüpke, B.v., Spellmann, H., 1999: Aspects of stability, growth and natural regeneration in mixed Norway spruce-beech stands as a basis of silvicultural decisions. in: Management of mixed-species forest; silviculture and economics. Olsthoorn, Bartelink, Gardiner (Eds.). IBN Scientific Contributions 15. Inst. Forestry and Nature Research, Wageningen: 245-267.
- Lüthy, Ch., Thees, O., 1992: Versuchseinsätze mit verschiedenen Vollernter im Schweizerwald. In: Einsatz von Vollernter in der Schweiz. Höwecke & Thees Eds., Birmensdorf: 16-39.
- Lyr, H., Polster, H., Fiedler, H. J., 1967: Gehölzphysiologie. Fischer, Jena, 444 S.
- Lyssenko, T.D., 1951: Agrobiologie. Arbeiten über Fragen der Genetik, der Züchtung und des Samenbaus. Kultur u. Fortschritt, Berlin.
- Madsen, S.F., 1995: International Beech provenance experiment 1983-1985. Analysis of the Danish member of the 1983 Series. In: Madsen, S.F. (Ed.) - Genetics and silviculture of Beech. Proceedings from the 5th. Beech-symposium of the IUFRO Project Group P1.10-00, 19.-24. Sept. 1994, Mogenstrup, Denmark. Forskningsserien no 11, 1995: 35-44.
- Magin, R., 1954: Ertragskundliche Untersuchungen in montanen Mischwäldern. Forstw. Cbl. 73: 103-113.
- Magnuski, K., 1967: Vergleichende Analyse der Struktur und des Zuwachses von Tannen-, Fichten- und Tannen-Fichten-Beständen. Roczn. Wyzszej Szkoły Rolniczej w Poznaniu 34, Wydział Lesny 8, 211.
- Mantel, K., Pacher, J., 1976: Forstliche Biographie vom 14. Jahrhundert bis zur Gegenwart. Zugleich eine Einführung in die forstliche Literaturgeschichte. Bd. I. Schaper, Hannover, 441 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.
- Mathey, A., 1929: Traité théorique et pratique des taillis. Vिलाire, Le Mans. 353 S.
- Matile, Ph., 1981: Allgemeine Biologie. Inst. f. allg. Botanik ETH-Z, Zürich, 372 S.
- Mayer, H., 1984: Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage. 3. Aufl. Fischer, Stuttgart & New York, 514 S.
- Meng, W., 1978: Baumverletzungen durch Transportvorgänge bei der Holzernte. Ausmass und Verteilung, Folgeschäden am Holz und Versuch ihrer Bewertung. Schriftenr. Landesforstverw. Baden-Württemb. 53, 156 S.
- Merkel, O., 1967: Der Einfluss des Baumabstandes auf die Aststärke der Fichte. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 138, 6: 113-125.
- Merkel, O., 1975: Schneebruch im Fichtenbestand bei 40jähriger Auslesedurchforstung. Allg. ForstZ. 30: 663-665.
- Merkel, O., 1976: Die Auslesedurchforstung in Fichte seit 1930. Tagungsber. Jahrestag. in Paderborn. Sek. Ertragsk., Deutsch. Verb. forstl. ForschAnst.: 99-125.
- Merkel, O., 1978: Zur Frage des Umsetzens früh ausgewählter Z-Bäume in Buchenbeständen. Tagungsber. Jahrestag. in Konstanz, Sek. Ertragsk., Deutsch. Verb. forstl. ForschAnst.: 107-135.
- Meusel, H., 1950/51: Die Eichen-Mischwälder des Mitteldeutschen Trockengebietes. Wiss. Z. Univ. Halle-Wittenberg 1, 1/2: 49-72.
- Mettin Chr., 1985: Für den Waldbau wichtigstes Untersuchungsergebnis 1985: Betriebswirtschaftliche und ökologische Zusammenhänge zwischen Stand-

- ortskraft und Leistung in Fichtenreinbeständen und Fichten/Buchen-Mischbeständen. Allg. ForstZ. 40: 803-810.
- Meyer, H., 1968: Auswertungsergebnis über Kronenkürzungen an Fichten nach Ablauf einer Zehnjahresperiode. Arch. Forstwes. 17, 7: 781-796.
- Meyer, D., R., 1998: Tierartenschutz in Wirtschaftswäldern. Schweiz. Z. Forstwes.
- Michaelis, C., 1907: Gute Bestandespflege und Starkholzzucht, eine der wichtigsten Aufgaben unserer Zeit. Neumann, Neudamm. 30 p.
- 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. VersWes. 32, 6: 229-370.
- Miegroet, M., v. 1967: Waldbau der Zukunft. Forstarchiv 38, 2: 25-36.
- Miegroet, M., v. 1984: Concepts of forest stability and forest management. *Silva Gandavensis* 50: 39-64.
- Miegroet, M., v. 1984: The choice of tree species as a strategical concept. *Silva Gandavensis* 50: 85-100.
- Miegroet, M., v. 1984: Reflections on the position of the forest and of forestry in Europe. *Silva Gandavensis* 50: 101-111.
- Miegroet, M., v. Verheghe, J.F., Lust, N., 1981: Trends of development in the early stages of mixed natural regenerations of ash and sycamore. *Silva Gandavensis* 48: 1-29.
- Mitscherlich, G., 1953: Der Eichenbestand mit Buchen- und Tannenunterstand. SchrReihe. Bad. forstl. VersAnst. 9, 1: 3-35.
- Mitscherlich, G., v. Gadow, K., 1968: Ueber den Zuwachsverlust bei Astung von Nadelbäumen. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 139, 8: 175-184.
- Mitscherlich, G., 1974: Sturmgefahr und Sturmsicherung. Schweiz. Z. Forstwes. 125, 4: 199-216.
- Mitscherlich, G., 1975: Wald, Wachstum und Umwelt. Bd. 3: Boden, Luft und Produktion. Sauerländer's, Frankfurt a.M., 352 S.
- Mitscherlich, G., 1981: Wald, Wachstum und Umwelt. Bd. 2: Waldklima und Wasserhaushalt. 2. Aufl.: Sauerländer's, Frankfurt a.M., 402 S.
- Mitschurin, Y.V., 1951: Oeuvres choisies. Ed. en langues étrangères, Moscou.
- Möhring, B., 1981: Ueber den Zusammenhang zwischen Kronenform und Schneebruchanfälligkeit bei der Fichte. Forstarchiv 52, 4: 130-134.
- Möller, A., 1923: Der Dauerwaldgedanke, sein Sinn und seine Bedeutung. Parey, Berlin, 84 S.
- Möller, C.M., 1960: The influence of pruning on the growth of conifers. *Forestry* 33: 37-53.
- Morel, P.-J., Planchais, I., 2000: Plantation de hêtre sous abri; une technique à préconiser. Bull. Techn. ONF, No 39, Jaqnv. 2000:7-19.
- Moulalis D., 1975: Ueber den Einfluss des Austreibens auf die Johannistriebbildung bei Fichten-Jungpflanzen. Forstw. Cbl. 94, 1: 28-32.
- Mühlhäusser G., 1978: Werteichen-Standorte in Baden-Württemberg. Allg. ForstZ. 33, 38: 1090-1093.
- Mülder, D., 1996: Merkblatt zur Gruppendurchforstung. Wilhelm-Münker Stiftung, Siegen. 8 S.
- Nägeli, W., 1952: Aufastungsversuche in gleichaltrigen Nadelholzbeständen des schweizerischen Mittellandes. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. VersWes. 28: 271-354.
- Nicolini, E., 1996: Développement architectural et installation de la fourche chez le hêtre européen. *Forêt Entreprise* 110: 37-46.
- Nicolini, E., Caraglio, Y., 1994: L'influence de divers caractères architecturaux sur l'apparition de la fourche chez le *fagus sylvatica*, en fonction de l'absence ou de la présence d'un couvert. *Can. J. Bot.* 72: 1723-1734.
- Niesslein E., 1980: Der Forstbetrieb und die Mehrzweckwirtschaft. Allg. ForstZ. 91: 71-73.
- Ningre, F., 1997: Une définition raisonnée de la fourche. *Rev. For. Fr.* 49: 32-40.
- Noisette, M., 1928 : Etude de peuplements feuillus pendant la période de la régénération. *Ann. Ecole Nat. Eaux For.* 2, 2 :301-391.

- Normandin, D., 1996: Les forêts productrices de biens et de services non-marchands. In: La Gestion durable des forêts: contribution de la recherche. Les Dossiers INRA No 12, automne 1996: 80-83.
- Odum, E.P., 1969: The strategy of ecosystems development. *Science* 164: 262-270.
- Olberg-Kallfass, R., 1979: Zur Reaktion von Fichten auf Unkrautbekämpfung in der Kultur. *Allg. Forst. u. J.-Ztg.* 150: 191-195.
- Olberg, R., 1974: Wie reagieren Fichten-Kulturen auf Unkrautbekämpfung? *Allg. Forst.- u. J. Ztg.* 145: 212-219.
- Olischläger, K., 1970: Untersuchungen über den Wertzuwachs von Fichten nach Aestung Diss. Hann. Münden, 127 S.
- Olischläger, K., 1970: Fichtenfourniere nach Wertästung. *Allg. ForstZ.* 25, 12: 251-254.
- Olischläger, K., 1971: Die Technik der Wert-Aestung. *Allg. ForstZ.* 26, 12: 236-237.
- Otto, H.J., 1986: Stardörtliche Voraussetzungen, Ziele und Waldbautechnik in Fichten-Buchen-Mischbeständen des Harzes. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 157, 10: 188-196, 11: 214-222.
- Pardé, J., 1978: Normes de sylviculture pour les forêts de chêne rouvre. *Rev. forest. Fr.* 30, 1: 11-17.
- Pardé, J., Venet, J., 1981: Traitement (du hêtre) en futaie régulière. In: *Le hêtre Inst. Nat. Recher. Agronom., Paris*, 613 S.
- Pardé, J., 1986: Naissance et développement d'une sylviculture européenne commune. *Ann. Gembloux* 92: 87-110.
- 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, No spec. : 41-64.
- Pardé, J., 1979: Entwicklung, Stand und Zukunft der Forschung über die Durchforstung in Frankreich. *Forstwiss. Cbl.* 98: 110-119.
- Pechmenn, H., v. Courtois, H., 1970: Untersuchungen über die Holzeigenschaften von Douglasien aus linksrheinischen Anbaugebieten. *Forstw. Cbl.* 89: 210-228.
- Peer, H., 1974: Experimentelle Untersuchungen zur Unkrautökologie als Beitrag zur umweltschonenden Herbizidanwendung in der Forstwirtschaft. Diss. forstl. Fak. Univ. München, München, 89 S.
- Peltola, H., Kellomaki, S., Hassinen, A., Granander, M., 2000: Mechanical stability of Scots pines, Norway spruce and birch; An analysis of tree-pulling experiments in Finland. *For. Ecol. Managem.* 135: 143-153.
- Perrin, H., 1923: Le Danemark forestier. *Ann. Ecole Nat. Eaux et For. et Stat. Rech. Et Expériences*, 1, 1: 1-106.
- Perrin, H., 1954: Sylviculture II: Le traitement des forêts. Théorie et pratique des techniques sylvicoles. *Ecole Nat. Eaux For., Nancy*, 411 S.
- Persson, P., 1975: Windthrow in forest: it's causes and the effects of forestry measures. orig. Schwed.; *Rapp. Upps. Inst. Skogsprod.* 36, 294 S.
- Petruncio, M., Briggs, D., Barbour, R.J., 1977: Predicting pruned branch stub occlusion in young coastal Douglas-fir. *Can. J. For. Res.* 7: 1074-1082.
- 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.
- Pfeil, W., 1860: Die deutsche Holzzucht. Begründet auf die Eigentümlichkeit der Forsthölzer und ihr Verhalten zu den verschiedenen Standorten. *Baumgärtner, Leipzig*, 551 S.
- Philipp, K., 1925: Richtlinien für Erziehung und Verjüngung der Hochwaldungen in Baden. *Badenia, Karlsruhe*.
- Philipp, K., Kurz, E., 1926: Die Verjüngung der Hochwaldbestände. *Lang, Karlsruhe*, 51 S.
- Polge, H., 1960: Sensibilité relative du sapin pectiné et de l'épicéa commun aux coups de vent. *Rev. forest. Fr.* 12: 637-642.
- Polge, H., 1969: Densité de plantation et élagage de branches vivantes ou pourquoi, quand et comment élaguer? *Rev. forest. Fr.* 21, No. spéc.: 451-465.

- Polge, H., 1973: Qualité du bois et largeur d'accroissement en Forêt de Tronçais. Rev. forest. Fr. 25, 5: 361-370.
- Polge, H., 1973: Etat actuel des recherches sur la qualité du bois de hêtre. Bull. techn. Off. Nat. For. No. 4: 13-22.
- Polge, H., 1979: Les contraintes de croissance sur le hêtre, resultats préliminaires sur l'influence de l'éclaircie. Centre Nat. Rech. forest., Nancy, Docum. 1979/1.
- Polge, H., 1981: Influence dec éclaircies sur les contraintes de croissance du hêtre. Ann. Sci. forest. 38, 4: 407-423.
- Polge, H., Keller, R., Thiercelin, F., 1973: Influence de l'élagage de branches vivantes sur la structure des accroissements annuels et sur quelques caractéristiques du bois de douglas et de grandis. Ann. Soi. forest. 30, 2: 127-140.
- Pollanschütz, J., 1971: Durchforstung von Stangen- und Baumhölzern. Forstarchiv 42, 12 : 257-259.
- Pollanschütz, J., 1974: Erste ertragskundliche und wirtschaftliche Ergebnisse des Fichten-Pflanzweiteversuches "Hauersteig". 100 Jahre forstl. BundesVers Anst. Wien: 99-171.
- Pretzsch, H., 1992: Modellierung der Kronenkonkurrenz von Fichte und Buche in Rein- und Mischbeständen. Allg. Forst- u. J.Ztg. 163, 11/12: 203-213.
- Preuhler, T., Schmidt, R., 1989: Beobachtungen auf einem spät durchforsteten Fichten-Versuch. Forstwiss. Cbl. 108: 271-288.
- Quine, C.P., Bell, P.D., 1998: Monitoring of windthrow occurrence and progression in spruce forests in Britain. Forestry 71, 2: 87-97.
- Quine, C.P., Gardiner, B.A. 1998: Forest GALES; A replacement for the windthrow hazard classification. Rep. For. Res. 1998, Forestry Commission, Edinburgh: 26-31.
- Rauch-Schwegler, T., 1994: Wieviel ist der Schweizer Wald wert? Kapital Wald. BUWAL, Zürich, 26 S.
- Rehfuss, K.E., 1973: Kernfäulebefall und Ernährungszustand älterer Fichtenbestände in Wuchsgebiet "Baar-Wutach". Mitt. Ver. forstl. Standortsk. Forstpflanzenzücht. 22: 9-26.
- Rehfuss, K.-E., 1977: Waldbau in einer Zeit geschärften Umweltbewusstseins. Ueberlegungen eines Standortkundlers. Allg. ForstZ. 27, 32: 823-830.
- Reininger, H., 1987: Zielstärken-Nutzung oder die Plenterung des Altersklassenwaldes. Österreichisch. Agrarverlag, Wien, 163 S.
- Reventlow, Chr.D.P., 1801: Einsammlung nützlicher Erfahrung bezüglich der Vegetation und der Erziehung der Bäume und wie diese Erfahrung bei der Bewirtschaftung der Wälder verwendet werden können um den grössten Vorteil aus den Forsten zu Gewinnen. Dän. Gesellsch. Wissenschaft. In: Reventlow, 1934.
- Reventlow, Chr.D.P., 1812: Influence de la situation des arbres sur leur végétation In: Perrin 1923.
- Reventlow, Chr.D.P., 1879: Forslag til en Forbedret skovdrift grundet paa undersøgelse over traernes vegetation i Danmark og slesvigs skove. Hauberg, Kobenhavn, 206 S.
- Reventlow, Chr.D.F., 1934: Grundsätze und Regeln für den Zweckmässigen Betrieb der Forsten. Levin & Munksgaard, Kopenhagen & Berlin, 156 S.
- Revue forestière française 1986: Amélioration génétique des arbres forestiers. No. spéc. 1986, Nancy, 288 S.
- Richter, J., 1996: Sturmschäden in Fichtenbeständen. Allg. Forst u. J.Ztg. 167, 12: 234-238.
- Robert, J.-F., 1978: La Forêt et les hommes. In: Nos forêts un monde à découvrir. Office du Livre, Fribourg: 12-32.
- Röhrig, E., 1966: Mischbestände aus Edellaubholzarten und Buche. Forst- u. Holzwirt 21: 59-64.
- Röhrig, E., Gussone H.A., 1982: Waldbau auf ökologischer Grundlage. Bd. II: Baumartenwahl, Bestandesbegründung und Bestandespflege. Parey, Hamburg & Berlin, 280 S.

- Rohner, J., 1988: Wald und Waldwirtschaft aus der Sicht des Naturschutzes. Gemeinsame Interessen, Gegensätze, Lösungsmöglichkeiten. Schweiz. Z. Forstwes. 139, 12: 1001-1011.
- Roloff, A., 1985: Morphologie der Kronenentwicklung von *Fagus sylvatica* L. (Rothuche) unter besonderer Berücksichtigung möglicherweise neuartiger Veränderungen. Diss. G.A. Univ. Göttingen, 178 S.
- Rothmund, H., 1979: Kultursicherung ohne Herbizide mit einfachen mechanischen Mitteln. Allg. ForstZ. 34, 16: 401-402.
- Rottmann, M., 1985: Schneebruchschäden in Nadelholzbeständen. Sauerländer's Frankfurt, 159 S.
- Roussel, L., 1965: Indications provisoires sur les exigences en lumière de 12 essences forestières résineuses. Bull. Soc. Roy. forest. Franche-Comté 33, 5: 139-150.
- Roussel, L., 1977: La formation des gourmands. Bull. Soc. forest. Franche-Comté 38, 1: 1-6; 5: 99-100.
- Roussel, L., 1978: La formation des gourmands. Bull. Soc. forest. Franche-Comté 39, 1: 1-7.
- Rubner, K., 1924: Die pflanzengeographischen Grundlagen des Waldbaus. Neumann, Neudamm, 273 S.
- Rupf, H., 1960: Wald und Mensch im Geschehen der Gegenwart. In: Jahresber. Deutsch. Forstver.: 30-45.
- Sagheb-Talebi, K., 1995: Study of some characteristics of young beeches in the regeneration gaps of irregular shelterwood system (Femelschlag). In: Madsen, S.F. (Ed.) - Genetics and silviculture of beech. Forskningsserien no 11: 105-116.
- 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. Dr. Thesis ETH-Zürich 203 S + Anh. p.
- Schädelin, W., 1926: Bestandeserziehung. Schweiz. Z. Forstwes. 77, 1: 1-15, 33-44.
- Schädelin, W., 1928: Stand und Ziele des Waldbaus in der Schweiz. Schweiz. Z. Forstwes. 79: 119-139.
- Schädelin, W., 1931: Ueber Klasseneinteilung und Qualifikation der Waldbäume. Schweiz. Z. Forstwes. 82, 1: 1-12.
- Schädelin, W., 1933: Die Transportgrenze als Grundlage einer räumlichen Ordnung im Schlagwald. Schweiz. Z. Forstwes. 84, 9: 272-278.
- Schädelin, W., 1934: Die Durchforstung als Auslese- und Veredlungsbetrieb höchster Wertleistung. Haupt, Bern & Leipzig, 96 S.
- Schaffalitsky de Muckadell, M., 1959: Investigation on aging of apical meristems in woody plants and its importance in silviculture. Forstl. Forsögsv. Danm. 25: 310-455.
- Schaper, C. Röhrig, E., 1983: Ueber das Ausmass und die Bedeutung soziologischer Umsetzungen in Eichenjungbeständen. Forstarchiv 54, 1: 3-7.
- Scheffer, P., Ulrich, B., 1960: Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde. Bd. I: Morphologie, Biologie, Chemie und Dynamik des Humus. 2. Aufl., Stuttgart, 266 S.
- Schelbert, H., Maggi H., Lang, T., Buse, I., Henzmann, J., Iten, R., Nielsen C., 1988: Wertvolle Umwelt. Ein wirtschaftswissenschaftlicher Beitrag zur Umwelteinschätzung in Stadt und Agglomeration Zürich. Wirtschaft und Gesellschaft 3, Zürcher Kantonalbank, Zürich, 90 p. 1: 9-58.
- Schelbert H., 1996 : Wertvolle Natur. Was kann die Ökonomie zur Erhaltung der natürlichen Mitwelt beitragen? In: „Mensch und Natur. Festschrift zur 250-Jahr-Feier der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich 1746-1996“ (Redaktionskomm. Naturforschend. Gesellsch. Zürich, Schweiz eds.) : 40-46. Koprinf, Alpnach-Dorf, Schweiz.
- Scherzinger W., 1996: Naturschutz im Wald. Qualitätsziele einer dynamischen Waldentwicklung. Ulmer, Stuttgart, 447 S.
- Schläpfer, R., Mandallaz, D., Commarmot, B. et al.. 1985: Der Gesundheitszustand des Waldes im Revier Schaffhausen. Schweiz. Z. Forstwes. 136, 1: 1-18.

- Schmid-Haas, P., Bachofen, H., 1991: Die Sturmgefährdung von Einzelbäumen und Beständen. Schweiz. Z. Forstwes. 142, 6:477-504.
- Schmid, B., 1982 : Erfassung des Wuchsverhaltens verschiedener Baumarten in Flächenmischung und ihrer gegenseitigen Randkonkurrenz am Beispiel einer Pflanzversuchsanlage der Stadt Schaffhausen. Diplom Thesis, Abteilung Forstwirtschaft, Fachbereich Waldbau ETH-Z. 112 S.
- Schmidt, A., 1973: Ertragsniveau und Standort, dargestellt am Beispiel der Kiefer. Forstw. Cbl. 92: 268-274.
- Schmidt-Vogt, H., 1977: Die Fichte: Bd. I: Taxonomie, Verbreitung, Morphologie, Oekologie, Waldgesellschaften. Parey, Hamburg & Berlin, 647 S.
- Schmidt-Vogt, H., 1986: Die Fichte; Bd. II/1: Wachstum, Züchtung, Boden, Umwelt, Holz. Parey, Hamburg & Berlin, 563 S.
- Schober, R., 1979: Massen-, Sorten- und Wertertrag der Fichte bei verschiedener Durchforstung. Teil I. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 150, 7-8: 129-152.
- Schober, R., 1980: Massen-, Sorten- und Wertertrag der Fichte bei verschiedener Durchforstung. Teil II. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 151, 1: 1-21.
- Schober, R., 1987: Durchforstung nach Zahlen? Allg. Forst- u. J.- Ztg. 159, 10: 174-183.
- Schönbächler, D., 1982: Kronenregeneration von Junglärchen. Trav. diplôme sect. forêts ETH-Z, Zürich, 45 S. (nicht publ.).
- Schönhar, S., 1975: Untersuchungen über den Befall rückerkrankter Fichten durch Wundfäulepilz. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 146, 3/4: 72-75.
- Schöpf, J., 1954: Untersuchungen über Astbildung und Astreinigung der Selber Kiefer. Forstw. Cbl. 73: 275-290.
- Schütt, P., Schuck, H.J., Sydow, A v., Hatzelmann, H., 1975: Zur allelopathischen Wirkung von Forstunkräutern. 1. Einfluss von Unkrautextrakten auf die Wurzelhaarbildung von Fichtenkeimlingen. Forstw. Cbl. 94: 43-53.
- Schütt, P., 1954: Der Wald stirbt an Stress. Bertelsmann, München, 264 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. Forstver. 44, 115 p.
- Schütz, J.-Ph., 1977: Enseignements et expériences sur la reconstitution des châtaigneraies, en vingt ans de projet de reboisement expérimental à Copera (Tessin). Schweiz. Z. Forstwes. 128. 6: 398-410.
- Schütz, J.-Ph., Badoux, E., 1979: Production de jeunes peuplements de chênes en relation avec la station. Mitt. Eidg. Anst. forstl. VersWes. SS, 1: 5-141.
- Schütz, J.-Ph., 1979: Le chêne est-il devenu l'enfant pauvre de notre sylviculture? Schweiz. Z. Forstwes. 130, 12: 1047-1070.
- Schütz, J.-Ph., 1981: La sylviculture et l'écologie se rejoignent dans le traitement régulier de nos forêts. Schweiz. Z. Forstwes. 133, 1: 5-18.
- Schütz, J.-Ph., 1981: Ist unser Qualitätswaldbau landesökonomisch noch vertretbar? Wald u. Holz 1980/81: 432-443.
- Schütz, J.-Ph., 1984: Zur Kontrolle der Bestandesdichte und der Durchforstungsstärke. Schweiz. Z. Forstwes. 135, 2: 113-122.
- Schütz, J.-Ph., 1985: La production de bois de qualité dans la forêt jardinée. Ann. Gembloux 91: 147-161.
- Schütz, J.-Ph., 1985: Bestandesschäden bei der Holzernte: Forderungen und Wünsche des Waldbaus. Forst- u. Holzwirt 40, 14/15: 375-379.
- Schütz, J.-Ph., Grunder, K., Mandallaz, D., 1986: Die Vitalität von Weisstannen und ihre Abhängigkeit von bestandesstrukturellen, ertragskundlichen, ernährungskundlichen und waldbaulichen Variablen. Forstw. Cbl. 105: 406-420.
- Schütz, J.-Ph., 1987: La sauvegarde du patrimoine et des ressources génétiques forestières: une tâche d'importance nationale. Schweiz. Z. Forstwes. 138, 3: 239-242.
- Schütz, J.-Ph., 1987: Zur Auswahl der Ausleseebäume in der schweizerischen Auslesedurchforstung. Schweiz. Z. Forstwes. 138, 12: 1037-1053.

- Schütz, J.-Ph., 1989: Zum Problem der Konkurrenz in Mischbeständen. Schweiz. Z. Forstwes. 140, 12: 1069-1083.
- Schütz, J.-Ph., 1992: Die waldbauliche Formen und die Grenzen der Plenterung mit Laubbaumarten. Schweiz. Z. Forstwes. 143, 6: 442-460.
- Schütz, J.-Ph., 1992 : Überlegungen zum Problems des Ertragsniveaus, seine Bedeutung und praktische Erfassung. Jahrestag. Deutsch. Verb. Forstl. ForschungsAnst., Sek. Ertragsk., 1.-3. Juni 1992 in Grillenburg, Sachsen : 1-14.
- Schütz, J.-Ph., 1994: Waldbauliche Behandlungsgrundsätze in Mischbeständen. Schweiz. Z. Forstwes. 145, 5: 389-399.
- Schütz, J.-Ph., 1996: Bedeutung und Möglichkeiten der biologischen Rationalisierung im Forstbetrieb. Schweiz. Z. Forstwes. 147, 5: 315-349.
- 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
- 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., 1997: La sylviculture proche de la nature face au conflit économie-écologie: panacée ou illusion ? Biotechn. Agron. Soc. Environ. 1, 4: 239-247.
- Schütz, J.-Ph. , 1997: Sylviculture 2. La gestion des forêts irrégulières et mélangées. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne. 178 S.
- Schütz, J.-Ph., 1998: Licht bis auf den Waldboden: Waldbauliche Möglichkeiten zur Optimierung des Lichteinfalls im Walde. Schweiz. Z. Forstwes. 149, 11: 843-864.
- Schütz, J.-Ph., 1998: Behandlungskonzepte der Buche aus heutiger Sicht. Schweiz. Z. Forstwes. 149: 1005-1030.
- Schütz, J.-Ph., 1999 : Erfassung der situativen Konkurrenz in gleichförmigen Fichtenbestockungen aufgrund physiologisch orientiertem Positionsparameter. In: Tagungsber. Jahrestagung Deutsch. Verband forstl. ForschAnst. Sektion Ertragskunde, 17.-19.Mai 1999 in Volpriehausen 70-78.
- Schütz, J.-Ph. 2000: Kosteneffiziente Waldpflege. Wald und Holz 11/2000: 47-50 und 12/2000: 23-25.
- Schulz, H., 1959: Güteklassen des Stammholzes und ihre Abgrenzung gegeneinander. Holz-Zbl. 85, 57: 753-757.
- Schulz, H., 1959: Untersuchungen über Bewertung und Güte Merkmale des Eichenholzes aus verschiedenen Wuchsgbieten. SchrReihe forstl. Fak. Univ. Göttingen 23, 90 p.
- Schulz, H., 1961: Die Beurteilung der Qualitätsentwicklung junger Bäume. Forstarchiv 32, 5: 89-99.
- Schulze, E.-D., Fuchs, M.I., Fuchs, M., 1977: Spacial distribution of photosynthetic capacity and performance in a mountain spruce forest of Northern Germany. Oecologia 29: 43-61
- Schulze. E.D., 1970: Der CO<sup>2</sup>-Gaswechsel der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in Abhängigkeit von den Klimafaktoren im Freiland. Flora 159: 177-232.
- Schumann, G., 1985: Einflusss sorgfältiger Vorbehandlung von Wunden auf die Ausbringung der Schutzmittel und auf die Verhütung von Wundfäulen bei der Fichte. Forsttechn. Info., Mitt. Kurat. Waldarb. u. Forsttech., 37, 11: 81-84.
- Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung: Starkholz: Die Vorräte im Schweizer Wald und ihre Nutzung. SAH Bull. 4/1999, 23 S.
- Seeholzer, M., 1922: Saumfemelschlag und Blendersaumschlag. Forstw. Cbl. 44: 125-137.
- Seeling, U., 1992 : Abnorme Kernbildung bei Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) und ihr Einfluss auf holzbiologische und holztechnologische Kenngrößen. Ber. Forschungs-zentr. Waldökosysteme, Reihe A, Nr. 77, 167 S.
- Seeling, U., 1995: Zielstärkendurchforstung Olper Fichtenjungbestände. Allg. ForstZ. 50 13:711-714
- Serres, O., de 1629: Théâtre de l'agriculture. Genève.

- Shepherd, K.R., 1986: Plantation silviculture. M. Nijhoff, Dordrecht & Boston & Lancaster, 322 S.
- Shigo, A.L., 1967: Successions of organisms in discoloration and decay of wood. Int. Rev. for. Res. 2: 237-299.
- Shigo, A.L., 1976: Compartmentalization of discolored and decayed wood in trees. in: Material und Organismen, Dunker & Humbolt, Berlin, 3: 221-226.
- Speidel, G., 1971: Die Nachhaltigkeit. Formen und Voraussetzungen des forstlichen Grundgesetzes. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 142, 12: 295-300.
- Spellmann, H., Diest, W.v., 1990: Entwicklung von Z-Baum-Kollektiven in langfristig beobachteten Eichen-Versuchsflächen. Forst u. Holz 45, 19: 573-580.
- Spellmann, H., 1997: Ertragsentwicklung im "LÖWE"-Wald der Niedersächsischen Landesforstverwaltung. Forst u. Holz 52: 711-718.
- Spiecker, H., 1983: Zussammenhänge zwischen sozialer Stellung, Kronenlänge, Kronenschluss und der Gesundheit von Weisstannen. Allg. Forstztg. 38, 17: 442-443.
- Spurr, S., 1979: La sylviculture. Pour La Science 18: 31-42.
- Spurr, S.H., Barnes B.V., 1973: Forest ecology, 2nd ed. Ronald Press, New York, 571 S.
- Stadler, D., Bründl, M., Schneebeli, M., Meyer-Grass, M., Flühler, H., 1998: Hydrologische Prozesse im subalpinen Wald im Winter.
- Sterzik, K.H., Heil, K., 1969: Das STE-Handgerät für Wertästung. Forstarchiv 40, 4: 75-76.
- Staschel, R., Greger, O., 1993: Vergleich des Radialzuwachses einzeln und gruppiert stehenden Altkiefern in einem Buchengrundbestand: Geanken zur Durchforstungspraxis. Forst u. Holz 48: 515-519.
- Straub, C., 1971: Die Entwicklung der Kahlschlagflora und ihre Beeinflussung durch mechanische Bodenbearbeitung, chemische Unkrautbekämpfung und Düngung. Diss. forstl. Fak. Univ. Göttingen, 157 S.
- Sukopp, H., 1972: Wandel von Flora und Vegetation in Mitteleuropa unter den Einfluss des Menschen. Ber. ü. Landwirtsch. 50:112-139.
- Tassy, L., 1866: Lorentz et Parade. Bureau Rev. Eaux et For., Paris. 159 S.
- Teissier du Cros, E., Thiébaud, B., 1988: Variability in beech: budding, height growth and tree form. Ann. Sci. For. 45, 4: 383-398.
- Teissier du Cros, E., 1989: Etude de la variabilité du hêtre en France. Nouveaux résultats. Rev. For. Fr. 41, 14: 29-38.
- Teissier du Cros, E., Le Tacon, F., Nepveu, G. et al.. 1981: Le hêtre. Inst. Nat. Rech. Agronom., Dép. Rech. forest., Paris, 613 S.
- Thees, O., Fricker, P., 1992: Situation des Vollerntereinsatzes in der Schweiz. In: Einsatz von Vollerntern in der Schweiz. Tagungsber. 10 Dez. 1991, Birmensdorf: 7-15.
- Thiébaud, B., 1981: Formation des rameaux. In: Le hêtre. Dép. Rech. Forest. INRA, Teissier du Cros (Ed.), Paris, INRA, 613 p.
- Thiébaud, B., Puech, S., 1983: Développement du hêtre commun (*Fagus sylvatica* L.). Morphologie et architecture de l'arbre. 1. Le développement des plants. Rev. forest. Fr. 35, 6: 443-451.
- Thiébaud, B., Puech, S., 1984: Développement du hêtre commun (*Fagus sylvatica* L.). Morphologie et architecture de l'arbre. développement des arbres. Rev. forest. Fr. 36, 1: 45-47.
- Thiébaud, B., 1984: Variabilité génétique écologique du hêtre commun (*Fagus sylvatica* L.) dans les milieux montagnards et de haute altitude, en Europe. In: Ecologie des milieux montagnards et de haute altitude. Doc. d'écol. Pyrénéenne III-IV: 513-521.
- Thiébaud, B., 1985: Architecture des jeunes hêtres (*Fagus sylvatica* L.) Bull. soc. bot. N. France 38, 1/2: 7-25.
- Thiébaud, B., Cuguen, J., Dupré, S., 1985: Architecture des jeunes hêtres (*Fagus sylvatica*). Can. J. Bot. 63: 2100-2110.

- Thiébaud, B., 1986: Approche des hêtres (*Fagus sylvatica* L.): Diversité intraspécifique, approche qualitative et quantitative. *Naturalia monspeliensia*. Colloque international sur l'Arbre 1986: 241-261.
- Thiébaud, B., Comps, B., Teissier du Cros, E., 1990: Développement des axes des arbres: pousse annuelle, syllepsie et prolepsie chez le hêtre (*Fagus sylvatica* L.). *Can. J. Bot* 68: 202-211.
- Thiébaud, B., Comps, B., Rucart, M., Soroste, S., Ntsame Okwo, C., 1992: Développement des plants de hêtre (*Fagus sylvatica* L.) dans une régénération naturelle, équienne, âgée de 18 ans. *Ann. Sci. For.* 49: 111-131.
- Thieme, F., 1999: Erhebliche Kosteneinsparungen durch Harvestereinsatz. *Allg. ForstZ.* 54, 18: 940-941.
- Tschermak, L., 1950: *Waldbau auf pflanzengeographisch-ökologischer Grundlage*. Springer, Wien, 722 S.
- Tzschacksch, O., 1987: Zur Labor- und Feldresistenz der Kiefer (*Pinus silvestris* L.) gegenüber phytotoxischen Stoffen und Schlussfolgerungen für die Anbauwürdigkeit von Kiefernarten in den Immissionsschadgebieten des oberen Erzgebirges. *Beitr. Forstwirtsch.* 21, 3: 97-102.
- Ulrich, B., 1981: Eine ökosystemare Hypothese über die Ursachen des Tannensterbens (*Abies alba* Mill.). *Forstw. Cbl.* 100: 228-236.
- Utschig, H., 2000: Wachstum vorherrschender Buchen in Abhängigkeit von Standort und Behandlung. *Forst u. Holz* 55, 2: 44-50.
- Utschig, H., 2002: Analyse der Standraumökonomie von Einzelbäumen auf langfristig beobachteten Versuchsflächen; Methoden, Programmentwicklung und erste Ergebnisse. *Forstwiss. Cbl.* 121: 335-348.
- Vanselow, K., 1937: Die Kulturversuche der Badischen forstlichen Versuchsanstalt auf dem Köcherhof. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 113: 33-51, 88-97, 114-128, 148-159.
- Varenne de Fenille, Ph.C., 1791: *Observations sur l'aménagement des forêt*. Soc. roy. agric., Paris, 88 S.
- Varenne de Fenille, Ph.C., 1792: *Mémoire sur l'administration forestière*. De Philipon, Bourg.
- Vilmorin, Ph. A., de 1862: *Exposé historique et descriptif de l'école forestière des Barres*. *Mém. d'agric.*, Paris, 332 S.
- Vögeli, H., 1961: Die Schattenerziehung der Föhre. *Schweiz. Z. Forstwes.* 112, 5/6: 350-363.
- Wagenknecht, E., 1940: Das Umsetzen in Kieferndickungen. *Z. f. Forst- u. Jwes.* 72, 9: 285-296.
- Wagner, Chr., 1912: *Der Blendersaumschlag und sein System*. Laupp, Tübingen, 368 S.
- Weck, J., 1958: Das Umsetzen unserer Waldbäume. *Allg. ForstZ.* 13, 49:717-720.
- Weise, U., Kublin, E., 1998: Modellierung langfristiger Wachstumsabläufe von Fichtenbeständen. *Allg. ForstZ.* 53: 422-423.
- Weixler, H., Feller, F., Schauer, H., 1997: Der Raupenharvester IMPEX 1650T „Königtiger“ im Einsatz. *Allg. Forst. Z./Der Wald* 52: 1182-1184.
- Wenk, G., Antanaitis, V., Smelko, S., 1990: *Waldertragslehre*. Deutsch. Landwirtschaftsverlag, Berlin, 448 S.
- Werner, H., 1971: Untersuchungen über die Einflüsse des Standortes und der Bestandesverhältnisse auf die Rotfäule (Kernfäule) in Fichtenbeständen der mittleren Alb. *Mitt. Ver. forstl. Standortsk. Forstpflzücht.* 20: 9-49.
- Wey, J., 1986: Untersuchungen zur interspezifischen Konkurrenz bei flächenweisen Mischungen verschiedener Baumarten in ertragskundlicher und waldbaulicher Hinsicht als Grundlage für die Festlegung der optimalen Mischungsformen. *Diplom Thesis*, Abteilung für Forstwirtschaft, Fachbereich Waldbau, ETH-Zürich. 76 S.
- Wiedemann, E., 1942: *Der gleichaltrige Fichten-Buchen-Mischbestand*. Hannover.
- Wignall, T.A., Browning, G., Mackenzie, K.A.D., 1987: The physiology of epicormic bud emergence in pedunculate oak (*Quercus robur* L.); Response to partial notch girdling in thinned and unthinned stands. *Forestry* 60, 1: 45-56.

- Williams, R.E., Marsden, M.A., 1982: Modelling probability of root disease center occurrence in northern Idaho forests. *Can. J. For. Res.* 12, 4: 876-882.
- Winkelhofer, G., 1968: Erfahrungen mit Tretschuhen in der Kulturpflege. *Allg. Forstz.* 23. 30: 534-535.
- Winterfeld, K., 1955: Untersuchungen über die Auswirkungen der Grünästung bei der Rotbuche. Diss. forstl. Fak. Univ. Göttingen, Hann. Münden, 131 S.
- Witich, W., 1972: Die Bodenpfleglichkeit der Buche. *Forst- u. Holzwirt* 27, 3: 52-54.
- Wittig, R., Burrichter, R., 1979: Die Verbreitung und pflanzenzoologische Stellung von Rubus-Arten in naturnahen Waldgesellschaften der westfälischen Bucht und ihrer Randgebiete. *Mitt. florist. soz. ArbGemeinschaft.* 21: 151-165.
- Woodmann, J.N., 1971: Variation of net photoynthesis within the crown of a large forest-grown conifer. *Photosynthetica* 5, 1: 50-54.
- Young, R.A., Giese, R.L. 1990: *Introduction to Forest Science*. Secd. Ed., Wiley & Sons, New York, 1992, 586 S.
- Zimmerle, H., 1944: Erfahrungen mit dem v. Seebach'schen Lichtwuchsbetrieb in Württemberg. *Allg. Forst. U. J.-Ztg.* 120: 29-48.
- Zumer M., 1966: Astungsversuche an Föhren, Fichte, Birke, Aspe, Esche und Eiche. *Meddel. f. d. Norske Skogforsöksves.* 20: 399-570.