

# Finanzielle Modellkalkulationen und Demonstrationsflächen in der forstlichen Beratung

-Ein Leitfaden-



**Leitfaden erstellt am**

Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung  
der Technischen Universität München

**Autoren**

Ass. d. FD Christian Clasen

Prof. Dr. Thomas Knoke

**In Zusammenarbeit mit und gefördert durch**

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

Freising

Oktober 2012

*Da der Ertrag der Forstwirtschaft in erster Linie auf dem jährlichen Zuwachs des Baumes bzw. des Bestandes beruht und dieser Zuwachs nicht im Jahre seiner Entstehung genutzt werden kann, sondern bis zum Ende eines bestimmten Zeitraumes aufgespeichert, d. h. als Zins zu den zum Kapital gewordenen früheren Zinsen geschlagen werden muß, so ergibt sich, daß die Wertbildung in der Forstwirtschaft an die Gesetzte der Zinseszinsrechnung gebunden ist. Auch die Ausgaben unterliegen auf die Dauer ihrer Gebundenheit im forstlichen Betrieb diesen Gesetzen.*

*aus einem Lehrbuch 1911, Max Endres*

## Inhalt

1	Einleitung .....	6
2	Finanzielle Modellkalkulationen .....	8
2.1	Zahlungsströme – die Grundlage der Kalkulationen.....	8
2.2	Zeitwert des Geldes.....	9
2.3	Methoden der Forstökonomie .....	11
2.4	Bewertung unter Risiko.....	14
2.5	Kalkulationen mit MICROSOFT EXCEL© .....	18
2.6	Kennzahlen für den forstlichen Alltag .....	20
2.7	Finanzielle Bewertung eines Fichtendurchforstungs- und Pflanzverbandsversuches.....	27
3	Anlage von Demonstrationsflächen .....	33
3.1	Flächenauswahl und Vorbereitung der Aufnahmen.....	33
3.2	Ertragskundliche Messungen .....	35
3.2.1	Brusthöhendurchmesser (BHD) .....	35
3.2.2	Baumhöhe.....	36
3.2.3	Bestimmung der Grundfläche.....	39
3.3	Vorratsermittlung .....	40
4	Weiterführende Literatur .....	42

# 1 Einleitung

Die Ökonomie und die Betriebswirtschaftslehre sind Hauptfächer in der forstwissenschaftlichen Lehre und bestimmen wesentlich das Tagesgeschäft im Forstbetrieb mit, wo ein Großteil der Einnahmen durch den Verkauf von Rohholz erzielt wird. Verantwortlich für Qualität, Menge und Lieferzeitpunkt sind die Revierförster bzw. die Waldbesitzer. Jedoch sind sie – aufgrund der kaum mit anderen Wirtschaftszweigen vergleichbaren, langen Produktionszeit – grundlegend von der Arbeit der Vorgänger und der älteren Generationen abhängig. Der heutige Ertrag im Forstbetrieb oder der in ferner Zukunft begründet sich schließlich durch eine Vielzahl an waldbaulichen Möglichkeiten der Kulturbegründung, von Pflegemaßnahmen und Durchforstung.

Im Forstbetrieb sichert die Einhaltung der naturalen Nachhaltigkeit die damit verbundenen stetigen Einnahmen. Vom Förster oder Waldbesitzer verlangt das nun folgerichtig die Einschätzung der finanziellen Auswirkungen des waldbaulichen Handelns, da mit den getätigten Investitionen eine lange Kapitalbindung verknüpft ist. Mit der Wahl einer adäquaten waldbaulichen Maßnahme kann ein entstehender Mehrgewinn vielfältig verwendet werden – bspw. für den Naturschutz, Wege- oder Waldumbau. Allerdings wird das forstökonomische Denken emotional noch häufig mit der Bodenreinertragslehre aus dem 19. Jahrhundert assoziiert – einer Ertragsoptimierung zulasten einer naturgemäßen Forstwirtschaft wie wir sie heute kennen, deren schlechter Ruf aber v.a. auf eine fehlerhafte Anwendung zurückzuführen ist. Ökonomisches Denken heute steht aber viel mehr im Dienste der Zweckmäßigkeit zur Erreichung betrieblicher Ziele und Gemeinwohlleistungen auf einem effizienten Wege. Damit verbunden sind folgende Fragestellungen:

- Welcher finanzielle Vorteil ergibt sich aus frühen und mäßigen Durchforstungseingriffen gegenüber Behandlungsvarianten mit unzureichender Pflege?
- Welchen Einfluss haben die Pflanzverbände auf das Betriebsergebnis?
- Wie lassen sich gemischte Bestände bewerten und welchen finanziellen Vorteil haben Waldumbaumaßnahmen?
- Welcher finanzielle Nachteil entsteht durch überhöhte Wildbestände?
- Welche Auswirkungen haben notwendige Schutzmaßnahmen?
- ...

Mit finanziellen Kalkulationen und Kennzahlen können überzeugende Argumente geliefert werden, den Wald für die Zukunft fit zu machen. Dieser Leitfaden zum ökonomischen Denken soll dazu anhand einiger Beispiele im Kapitel 2 einen komprimierten Überblick über

die wichtigsten verfügbaren Möglichkeiten geben – denn die vielfältigen Methoden aus der Wissenschaft mit ihren zahlreichen Verästelungen würden sicherlich die zeitliche Beratungskapazität der Forstpraktiker übersteigen. Im Mittelpunkt ökonomischen Denkens sollen die voraussichtlichen Zahlungsströme innerhalb eines Bestandeslebens stehen, die erst, wenn der Zeitwert des Geldes berücksichtigt wird, auch vergleichbar werden. Die Grundlage zur Kalkulation des Zeitwertes des Geldes bietet die Investitionsrechnung wie sie bspw. bei der forstlichen Maschinenkostenkalkulation Anwendung findet. Dieser Leitfaden soll hierzu einen Gedankenanstoß liefern. Es wird gezeigt, wie mit einfachen Mitteln (bspw. mit MICROSOFT EXCEL©) schnell und übersichtlich Kalkulationen aufgestellt und bei der individuellen Waldbesitzerberatung eingesetzt werden können. Einen unverzichtbaren Bestandteil in der Forstökonomie bilden mittlerweile Risikoaspekte, die aber nur unter verhältnismäßig hohem Aufwand integriert werden können. Für die forstliche Beratung bieten sich mit Blick auf das Risiko aber zumindest einfache Rechnungen an und Schaubilder können argumentativ weiterhelfen.

Vergleichen wir verschiedene waldbauliche Optionen für einen oder mehrere Bestände, so führen die Ergebnisse der Investitionsrechnung nicht immer zu einem positiven Ergebnis, wozu das teils ungünstige Verhältnis von Holzpreisen zu Holzerntekosten beiträgt. So liegt es aber auch im Verantwortungsbereich der Forstwirtschaft in „Problembeständen“ wie sie in Hanglagen oder Schutzgebieten vorkommen besondere Vorkehrungen zu treffen, die zwar hohe Investitionsausgaben erfordern, deren Mehrwert aber beim Gemeinwohl entsteht. Jedoch werden solche so genannte Ökosystemdienstleistungen leider selten vergütet.

Die forstliche Beratung gewinnt durch das persönliche Erleben des Waldbesitzers am realen Bestandesbeispiel, bei dem neben dem optischen Eindruck eine zahlenmäßige Hilfestellung unterstützend wirken kann. Als positiv wird hierbei der Austausch mit dem Forstpersonal wahrgenommen, aber auch die Inspiration der Waldbesitzer untereinander (SUDA und EKLKOFER 2000). Will der Förster verschiedene waldbauliche Optionen am Bestandesbeispiel berechnen, muss er zuvor ertragskundliche Daten erheben. Im Kapitel 3 dieses Leitfadens wird daher eine Auffrischung aus der Waldmesslehre behandelt: Wie aus den im Bestand vorzunehmenden Messungen Vorräte bestimmt werden, aus denen wiederum Bestandeskennwerte berechnet werden können.

---

## 2 Finanzielle Modellkalkulationen

Die nachfolgenden Kapitel sollen das Vorgehen zur ökonomisch orientierten Betrachtung waldbaulicher Maßnahmen veranschaulichen. Es wird gezeigt, wie Informationen über die Zahlungsströme zu gewinnen sind, die erst mit dem kalkulatorischen Zinsrechnen, durch Abzinsen oder Aufzinsen, vergleichbar werden. Kapitalwerte und Annuitäten sind hier das Handwerkszeug, durch das die finanzielle Vorteilhaftigkeit bzw. der Nachteil verschiedener waldbaulicher Optionen offensichtlich wird.

### 2.1 Zahlungsströme – die Grundlage der Kalkulationen

Egal ob man einen finanziellen Vergleich zwischen durchforsteten und ungepflegten Beständen durchführen oder eine möglicherweise vorteilhafte Astung bewerten möchte, jede Kalkulation beginnt mit dem Abbilden der Zahlungsströme bzw. den Nettoerlösen<sup>1</sup>. Dabei muss entweder eine ganze Umtriebszeit berücksichtigt werden – von möglichen Pflanzkosten bis hin zur Ernte des hiebsreifen Bestandes oder es genügt ein kürzerer Abschnitt, bspw. vom Beginn einer Astung bis zum Ernten des gesteteten Stammes. So erhält man für jede betrachtete Periode – wie bei der Waldbewertung – den Wert des stehenden und des ausscheidenden Bestandes. Je nach Thematik können folgende Informationen erforderlich sein:

- Ertragskundliche Grundlagen: Volumen des ausscheidenden und verbleibenden Bestandes nach Baumarten getrennt
- Qualitätsstruktur und Sortenbildung
- Holzpreise
- Holzerntekosten
- Kosten einer Pflanzung oder Saat
- Zaunkosten
- Waldpflegekosten
- Kosten für den laufenden Meter Wegebau
- ...

---

<sup>1</sup>Der hier verwendete Ausdruck der Nettoerlöse entspricht dem Deckungsbeitrag 1 in der Forstwirtschaft. Der bei der Holzernte für gewöhnlich entstehende Überschuss kann zur Deckung von verschiedenen Fixkosten (z. B. Verwaltungs- oder Mietkosten) im Betrieb verwendet werden.

Die Angaben lassen sich durch eigene Erfahrungswerte schätzen oder bspw. bei den Waldbesitzervereinigungen erfragen. Ist der Wert des verbleibenden bzw. des ausscheidenden Bestandes einer Periode zu berechnen, müssen die Vorräte entweder in die Stärkeklassen aufgeteilt oder deren mittlere Stärke gebildet werden. Die Qualität der Sortimente ist einzuschätzen und für alle Stärkeklassen – oder eben deren Mittelwert – ein Mischpreis zu bilden. Von diesem Mischpreis sind durchschnittliche Holzerntekosten abzuziehen. Selbst wenn ein Waldbesitzer in seinem eigenen Wald arbeitet, ist ein kalkulatorischer Unternehmerlohn anzurechnen, da er seine Arbeitszeit auch alternativ hätte einsetzen können. Solche entgangenen Erträge nennen wir Opportunitätskosten. Die Summe aller so bewerteten Vorräte ergibt den jeweiligen finanziellen Bestandeswert bzw. den Wert des ausscheidenden Bestandes.

Im Folgenden werden Berechnungen aufgeführt, die eine feste Zeitspanne erfassen. So gesehen wird der Beginn einer Investition und deren Ende dargestellt – also gehen wir von einer festgelegten Umtriebszeit aus. Wir bilden hier also einführende Grundlagenkenntnisse ab. Es gibt drüber hinaus noch weitere und deutlich komplexere Methoden, die beispielsweise bei BERGEN u. a. (2002) oder KNOKE u. a. (2012) zu finden sind.

## **2.2 Zeitwert des Geldes**

Gerade für den Waldbesitzer ergibt sich mit seinem Wald ein kaum mit anderen Anlageformen vergleichbares Investitionsgut, da zwischen dem Zeitpunkt der Kulturbegründung und der Holzernte ein zum Teil mehrfacher Wechsel von Generationen der Bewirtschaftung stattfindet. So ist es offensichtlich, dass gleichhohe Zahlungen, egal ob es sich um Ausgaben oder Einnahmen handelt, nicht die gleiche Wertschätzung erbringen werden, wenn diese zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen. Die Aussicht auf Geldbeträge in Zukunft ist mit Unsicherheit behaftet – vor allem durch eine mögliche Entwertung des Geldes bzw. einem Holzpreisverfall. Zudem kann später eingehendes Geld auch erst später wieder angelegt werden. So haben Einnahmen in Zukunft weniger Wert und Ausgaben wirken weniger belastend als heutige. Ein rational denkender Mensch würde daher Einnahmen am 01.01.2011 von bspw. 100 Euro bevorzugen, gegenüber der bloßen Möglichkeit auf gleichhohe Einnahmen zum 31.12.2011. Umgekehrt verhält es sich bei Ausgaben; hier würden wir bei gleicher Höhe den späteren Zeitpunkt bevorzugen.

Entscheidend ist bei einer anstehenden Investition vor allem die Frage, in welche Maßnahme man investieren möchte. Auch der Waldbesitzer muss nicht zwangsweise Geld für eine neue Kultur oder eine Pflegemaßnahme ausgeben – es besteht auch die Möglichkeit einer alternativen Anlage des Geldes. Diese Alternative besteht bspw. darin, die

Investitionssumme als Festgeld bei einer Bank anzulegen. Die daraus möglichen, aber bei Durchführung der forstlichen Maßnahme entgehenden Zinsgewinne müssen als Opportunitätskosten im Zuge der ökonomischen Betrachtung berücksichtigt werden. Daher werden alle Zahlungen, die mit dem betrachteten Investitionsobjekt einhergehen, mit einem Kalkulationszins auf den Betrachtungszeitraum abgezinst. Der Betrachtungszeitraum kann aber auch in der Zukunft liegen, dann sind alle vorher entstandenen Zahlungen auf einen bestimmten Zeitpunkt aufzuzinsen. Nur durch Berücksichtigung des Zeitaspektes und der damit verbundenen Opportunitätskosten ist es möglich, alle Zahlungen zu verschiedenen Zeitpunkten vergleichbar zu machen. Das Abzinsen einer Zahlung ergibt den Barwert, was das obige Beispiel mit den Einnahmen von 100 Euro verdeutlichen soll:

$$B_0 = \frac{Z_t}{(1+i)^t}$$

$B_0$  = Barwert

$Z_t$  = Zahlung zum Zeitpunkt  $t$

$i$  = Zinssatz, z. B. 0,02

$t$  = Bis zum Eingehen der Zahlung verstrichene Zeit

Der Barwert für 100 Euro bei einem Betrachtungszeitraum von einem Jahr und einem Kalkulationszins von bspw. 2 Prozent berechnet sich dann als:

$$B_0 = \frac{100 \text{ Euro}}{(1+0,02)^1}$$

oder auch:

$$B_0 = 100 \text{ Euro} \cdot (1+0,02)^{-1}$$

$$B_0 = 98,04 \text{ Euro}$$

Durch Abzinsen ergibt sich also für 100 Euro in Zukunft ein heutiger Wert (Barwert) von 98,04 Euro<sup>2</sup>.

Für die Höhe des Zinssatzes sind keine allgemeingültigen Vorgaben festgelegt, doch welcher Kalkulationszinssatz ist dann angemessen? Eine Orientierung gibt die in Europa erreichbare risikolose Verzinsung (risikoloser Basiszins), die auf etwa 2-3 % beziffert wird (WÖHE und DÖRING 2010, S. 663). Hinzu kommt ein Risikozuschlag, der sich danach richtet, ob die mit der Anlagealternative (in unserem Falle also dem Wald) verbundene Risiken gleichläufig (mehr oder weniger hoher Zuschlag), unabhängig (kein Zuschlag) oder

<sup>2</sup> Zur Vertiefung betriebswirtschaftlicher Kenntnisse, insbesondere der Investitionsrechnung, sind u. a. KRUSCHWITZ (2005) oder WÖHE und DÖRING (2010) empfehlenswert.

gegenläufig sind (hier würde der Basiszins sogar noch reduziert). Bei Forstwirtschaft können wir von Unabhängigkeit der Risiken zu den anderen Anlageklassen ausgehen und somit ohne Risikozuschlag, also mit Zinskosten in der Größenordnung von 2-3 % operieren. Ein Anhaltspunkt zur Höhe des Kalkulationszinsfußes bietet auch die natürliche relative Produktivität des deutschen Waldes. Hier wird eine Erfolgsgröße (der Zuwachs) zum eingesetzten Kapital (dem Holzvorrat) ins Verhältnis gesetzt. Im Durchschnitt dürfte dieser Kennwert für mitteleuropäische Wälder bei maximal 3 Prozent liegen.

### **2.3 Methoden der Forstökonomie**

Will man die Vorteilhaftigkeit waldbaulicher Handlungsoptionen vereinfacht prüfen (ohne komplexe Berechnungen, z. B. unter Berücksichtigung eines Sturmwurfes), kommen dafür die gebräuchlichen Methoden aus der Investitionsrechnung in Betracht: Die Kapitalwert- und die Annuitätenmethode. Eher traditionelle Methoden aus der Forstökonomie sind u. a. der Bodenreinertrag oder das Weiserprozent nach PRESSLER, die zwar auf den gleichen Grundlagen wie die Investitionsrechnung aufbauen, hier aber nicht näher aufgeführt werden sollen, denn wir kommen mit der auch außerhalb des Forstbereiches angewendeten Investitionsrechnung schon recht weit.

Folgendes Beispiel mit geschätzten Nettoerlösen soll zur Illustration der Investitionsrechnung dienen: Der Revierförster möchte dem Waldbesitzer die finanzielle Vorteilhaftigkeit einer Durchforstung veranschaulichen. Der Waldbesitzer war bisher immer der Meinung, dass durch den langen Dichtstand der Bäume bis zur Umtriebszeit ohnehin und vielleicht sogar am besten ein hoher Holzwert entsteht und er sich die Arbeit der Waldpflege sparen kann. Der Förster kalkuliert für einen ungepflegten Fichtenbestand einen finanziellen Holzwert von 38.000 Euro pro Hektar mit Erreichen der Umtriebszeit. Wir nennen diesen Wert den Abtriebswert. Die gepflegte Vergleichsvariante des gleichen Alters erreicht, bedingt durch den schon zuvor im Rahmen der Durchforstung genutzten Zuwachs, einen Abtriebswert von 31.000 Euro (dieser wird bei erhöhter Stabilität des Endnutzungsbestandes erreicht). Der Waldbesitzer scheint also tendenziell recht zu haben. Allerdings ist seine Rechnung unvollständig, da Einnahmen aus dem bisherigen Holzverkauf aus den getätigten Durchforstungen berücksichtigt werden müssen. Für den gepflegten Bestand entnimmt der Revierförster folgende Nettoerlöse aus dem Revierbuch:

- 1.200 Euro pro Hektar nach 25 Jahren
- 1.800 Euro pro Hektar nach 36 Jahren
- 2.400 Euro pro Hektar nach 46 Jahren
- 3.100 Euro pro Hektar nach 58 Jahren

- 3.700 Euro pro Hektar nach 70 Jahren

Auf einem so genannten Zeitstrahl sieht das so aus:

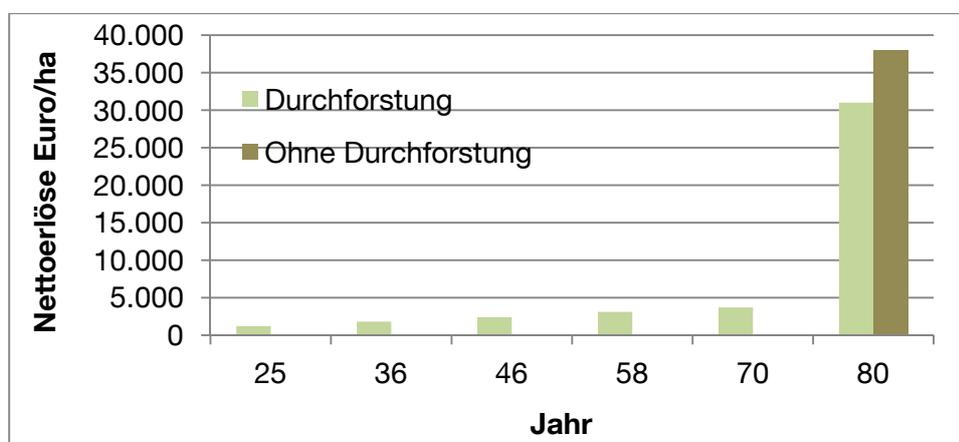


Abbildung 1 Nettoerlöse in Euro/ha von zwei verschiedenen erzeugten Beständen

Zwar erreicht die gepflegte Variante zusammen mit den Einnahmen aus dem Holzverkauf bereits 39.200 Euro und damit insgesamt mehr als der ungepflegte Bestand, allerdings überzeugt dieser finanzielle Vorteil eventuell noch nicht, da der Endnutzungsbestand weniger wert ist. Doch müssen die genannten Zahlungsströme abgezinst werden, um Vergleichbarkeit der Zahlungen herzustellen – der Zeitaspekt wird damit über das Abzinsen berücksichtigt. Die Summe aller abgezinsten Ein- bzw. Auszahlungen im Betrachtungszeitraum ergibt dann den Kapitalwert:

$$K_0 = \sum_{t=0}^n (E_t - A_t) \cdot (1+i)^{-t}$$

$n$  = Anzahl der Jahre (Ende des Betrachtungszeitraumes)

$E_t$  = Einzahlung zum Zeitpunkt  $t$

$A_t$  = Auszahlung zum Zeitpunkt  $t$

Der Kapitalwert des gepflegten Bestandes beträgt also:

$$K_0 = 1.200 \cdot 1,02^{-25} + 1.800 \cdot 1,02^{-36} + 2.400 \cdot 1,02^{-46} + 3.100 \cdot 1,02^{-58} + 3.700 \cdot 1,02^{-70} + 31.000 \cdot 1,02^{-80}$$

$$K_0 = 731 + 882 + 965 + 983 + 925 + 6.358$$

$$K_0 = 10.844$$

Der Kapitalwert des ungepflegten Bestandes beträgt, da nur eine Zahlung eingeht, demzufolge:

$$K_0 = 38.000 \cdot 1,02^{-80}$$

$$\mathbf{K_0 = 7.794}$$

Aus dieser ökonomisch zutreffenden Betrachtung wird der Vorteil aus den frühen Einnahmen durch Durchforstungen mehr als deutlich. Der Kapitalwert des durchforsteten Bestandes ist 40 % höher als der des unbehandelten Bestandes. Die Kapitalwertrechnung kann um beliebige Zahlungen erweitert werden: Z. B. können Investitionskosten einer Bestandesbegründung oder Pflegekosten im Jungbestand berücksichtigt werden, die dann später aber aufgrund von Qualitätsverbesserung und Zuwachsförderung zu höheren Einnahmen führen. Überwiegt der Barwert der Ausgaben, so können jedoch auch negative Kapitalwerte entstehen. Mit dem Kapitalwert verdichten sich in einem bestimmten Zeitpunkt alle Zahlungen zu einem Wert und werden erst dadurch mit den Kapitalwerten von Alternativen vergleichbar.

Es besteht zudem die Möglichkeit, den einzelnen Kapitalwert umzuwandeln, nämlich in äquivalente jährliche Zahlungen. Werden waldbauliche Optionen mit unterschiedlichen Laufzeiten verglichen, müssen die Kapitalwerte sogar in jährlich äquivalente Zahlungen umgerechnet werden. So kann der Waldbesitzer sehen, welcher jährliche Deckungsbeitrag pro Hektar aus dem einen und dem anderen Bestand dem zuvor kalkulierten Kapitalwert entspricht. In der Investitionsrechnung wird zur Umrechnung von Kapitalwerten in jährlich gleichbleibende und dem Kapitalwert entsprechende Zahlungen die Annuität verwendet. Dabei wird der Kapitalwert mit einem Faktor, gebildet aus dem Zinssatz und der Anzahl der Jahre, in gleichmäßige jährliche Zahlungen umgewandelt:

$$A = K_0 \cdot \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

A = Annuität

Für die zwei oben betrachteten Bestände ergeben sich folgende Werte:

*Mit regelmäßiger Durchforstung*

$$A = 10.844 \cdot \frac{0,02 \cdot (1+0,02)^{80}}{(1+0,02)^{80} - 1}$$

$$\mathbf{A = 273}$$

*Für den ungepflegten Bestand*

$$A = 7.794 \cdot \frac{0,02 \cdot (1+0,02)^{80}}{(1+0,02)^{80} - 1}$$

**A = 196**

Für dieses vereinfachte Beispiel ergibt sich ein jährlicher Unterschiedsbetrag pro Hektar von 77 Euro an Deckungsbeitrag, der dem Waldbesitzer verloren gehen würden, wenn er sich gegen regelmäßige Durchforstungen entscheiden würde. Der Unterschied beträgt folglich 39 %, bezogen auf den Ertrag des undurchforsteten Bestandes. Der Vorteil der Annuitätenmethode liegt dabei in der jährlichen Betrachtungsweise der Investition, was von dem Forstpraktiker vielleicht noch eindeutiger aufgefasst wird (MÖHRING u. a. 2006). Außerdem lassen sich mit einer Annuität Investitionen verschiedener Umtriebszeiten besser vergleichen.

Mit dem Kapitalwert-, aber auch mit Annuitätenberechnungen, können also verschiedene waldbauliche Varianten aus ökonomischer Sicht verglichen werden. Je höher ein Kapitalwert im Vergleich zu einem anderen ausfällt, desto mehr wird die Entscheidung auf die betreffende Variante fallen. Es ist aber auch möglich, eine waldbauliche Handlungsoption darauf hin zu überprüfen, ob Sie finanziell überhaupt vorteilhaft ist. Werden nämlich negative Kapitalwerte errechnet, so wird in das Projekt mehr investiert als unter Berücksichtigung von Zinsen an den Investor zurückfließt. Hier überwiegt die Summe der negativen, die der positiven Barwerte. Eine negative Annuität zeigt den jährlichen Verlust einer Investition.

## **2.4 Bewertung unter Risiko**

Die in diesem Leitfaden vorgestellten Berechnungsmöglichkeiten der Investitionsrechnung – Kapitalwerte und Annuitäten – ermöglichen den finanziellen Vergleich waldbaulicher Handlungsoptionen. Unterstellt werden dabei konstante Holzpreise und naturale Risiken wie Borkenkäferbefall, Windwurf oder Schneebruch werden ausgeblendet. Beziehen sich die Berechnungen bspw. auf den Vergleich von regelmäßigen Durchforstungen gegenüber einer Variante ohne Durchforstung, so geben klassische Berechnungen meist schon eine gute Information, auch wenn das Risiko nicht berücksichtigt ist. Allerdings können bestimmte Betrachtungen, z. B. der finanzielle Vergleich von Mischwäldern mit Reinbeständen oder die finanziellen Auswirkungen einer Entmischung von Naturverjüngung, nur unter Einbeziehung von Risiken vollständig gelingen. Denn eine Mischung an Baumarten – ähnlich einem breit gestreuten Portfolio bei einer Bank – kann zwar zu geringeren Einnahmen führen, jedoch lässt sich das Risiko eines vorzeitigen Ausfalls des Bestandes oder von ungünstigen

Holzpreisen für eine Baumart erheblich senken. Dagegen erreichen vor allem Fichtenreinbestände häufig nicht den geplanten Erntezeitpunkt, was zu Ertragseinbußen führt (Entwertung der Holzqualität bei Sturm- oder Schneebruch, erhöhte Holzerntekosten in Kalamitätsbeständen, Holzpreiseinbrüche und Einschlag des Holzes zu einem ökonomisch nicht optimalen Zeitpunkt – auch „Hiebsunreife“ genannt).

An wissenschaftlichen Einrichtungen bestehen gute Möglichkeiten, das Risiko in die finanzielle Bewertung umfassend zu integrieren. Vereinfacht dargestellt funktioniert das so: Das Bestandeswachstum wird über Wachstumssimulatoren wie z. B. SILVA prognostiziert (BIBER u. a. 2000). So lässt sich für jede Periode der Vorrat des ausscheidenden und verbleibenden Bestandes bestimmen und in Sortimente einteilen. Aus den hieraus berechneten Nettoerlösen lassen sich wiederum Kapitalwerte bzw. Annuitäten bestimmen. Jedoch, und das ist der Unterschied zu den oben aufgeführten Berechnungen, werden im Zuge einer Risiko integrierenden Betrachtung die Deckungsbeiträge unter Verwendung zufällig schwankender Holzpreise wiederholt kalkuliert. Mit Hilfe von Zufallszahlen werden so verschiedene Umweltzustände simuliert, indem die Holzpreise variieren und die Möglichkeit besteht, dass Kalamitäten auftreten. Der jeweilige Holzpreis kann für jede Simulation zufällig aus der Verteilung vergangener Holzpreise gezogen werden. Und das Auftreten einer Kalamität wird durch Wahrscheinlichkeitsfunktionen bestimmt, die aus wissenschaftlichen Analysen abgeleitet worden sind. In Abb. 2 sind beispielhaft für die Hauptbaumarten Überlebenswahrscheinlichkeiten dargestellt, die von BEINHOFER (2009) zusammengestellt worden sind. Dabei zeigt sich deutlich, dass die Fichte gegenüber den anderen Baumarten eine viel geringere Wahrscheinlichkeit besitzt, eine bestimmte geplante Umtriebszeit zu erreichen: So erreicht die Fichte in weniger als 70 Prozent der Fälle ein Alter von 100, die anderen Baumarten dagegen erreichen mit deutlich höherer Wahrscheinlichkeit bestimmte Alter. Die hier dargestellten Überlebenswahrscheinlichkeiten sind konservativ anzunehmende Durchschnittswerte der Gegenwart bzw. Vergangenheit. Werden zukünftige klimabedingte Veränderungen einbezogen, z. B. aufbauend auf den Anbau-Risiko-Karten der Baumarten Bayerns (KÖLLING u. a. 2010), ist mit noch häufigeren Kalamitäten in Nadelholzmonokulturen zu rechnen.

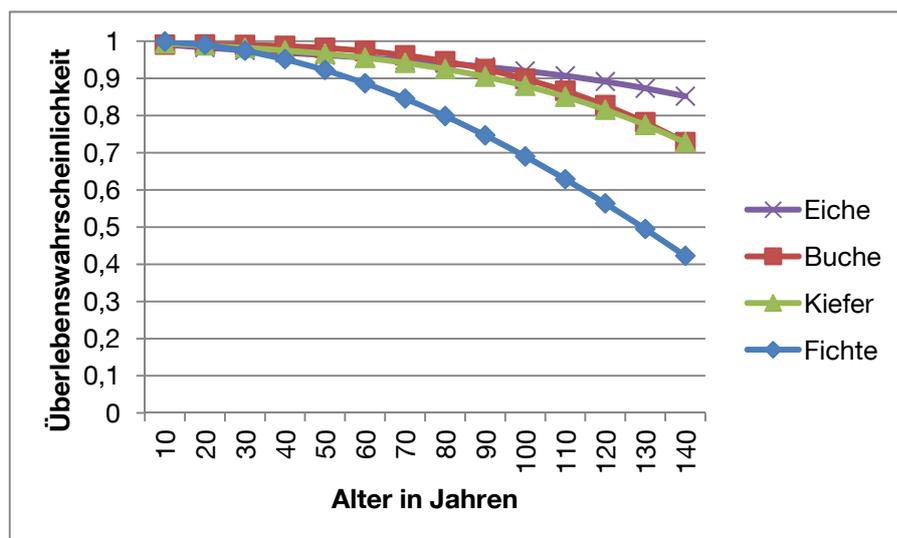


Abbildung 2 Überlebenswahrscheinlichkeiten der Hauptbaumarten

Wird das Bestandeswachstum unter verschiedenen Holzpreisen bzw. unter Beachtung des gelegentlichen Ausfalls von Beständen simuliert – in Abb. 3 handelt es sich z. B. um 1.000 Wiederholungen – erhalten wir anstelle eines einzigen Wertes eine Häufigkeitsverteilung von möglichen finanziellen Ergebnissen:

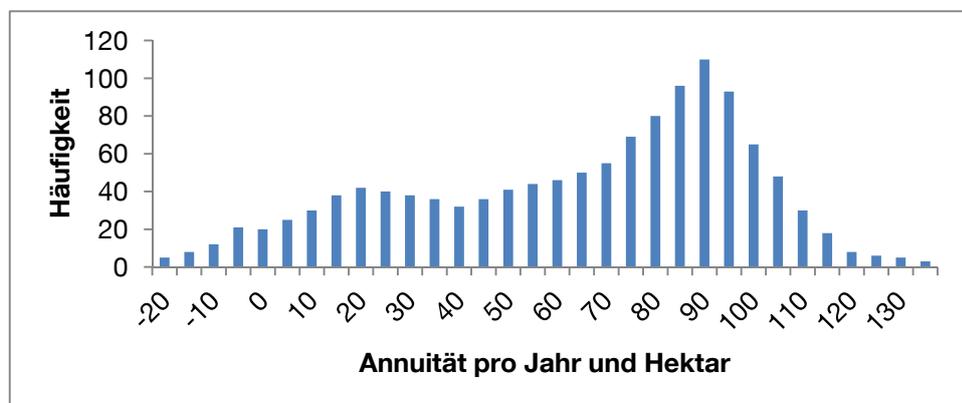


Abbildung 3 Beispielhafte Häufigkeitsverteilung von Annuitäten bei Kalkulation unter vielen verschiedenen möglichen Holzpreisen und Kalamitätsfällen

Aus der Verteilung der Ergebnisse lässt sich der mittlere Ertrag berechnen. Wir erhalten also den Mittelwert der Annuitäten des Bestandes und die Abweichung der einzelnen Szenarien von diesem Mittelwert lässt sich als Risiko auffassen. Für Fichtenreinbestände liegt dieses Risiko erfahrungsgemäß wesentlich höher als bspw. für einen Buchenreinbestand.

Doch wie lässt sich der Risikoaspekt in die forstliche Beratung integrieren? Umfangreiche Berechnungen scheiden wegen des nötigen zeitlichen Aufwandes und der Komplexität aus. Jedoch kann das Risiko zunächst argumentativ berücksichtigt werden – entweder über

Schaubilder, in denen die Erkenntnisse aus durchgeführten Forschungsarbeiten zusammengefasst dargestellt werden (z. B. MOSANDL und FELBERMEIER 2003; KNOKE 2004; KNOKE und HAHN 2007; KNOKE 2007; BEINHOFER 2008) oder durch Einbeziehung der subjektiven Erfahrung. Zu erwartende Erträge nach Eintritt von Kalamitäten können dann Erträgen gegenübergestellt werden, die ohne Kalamität zu erwarten sind. In Abb. 4 sind beispielhaft Erträge und Risiken von Buchen- und Fichtenbeständen und von jeweils anteiligen, jedoch großflächigen Mischungen aufgezeigt. Diese Berechnungen beziehen sich auf das jeweils durchschnittliche Wachstum der Baumarten im Wuchsgebiet Tertiäres Hügelland (CLASEN und KNOKE 2009). Zwar erreicht die Fichte einen höheren jährlichen Ertrag als die Buche, dies jedoch nur mit einem deutlich höheren Risiko. Buchenbestände hingegen führen bei weniger Ertrag auch zu einem deutlich geringeren finanziellen Risiko. Betrachten wir Mischbestände, so steigt das Risiko im Prinzip mit zunehmendem Fichtenanteil. Jedoch wird auch deutlich, dass sich durch eine geringe Beimischung von Fichte in Buchenbestände ein höherer Ertrag bei noch geringerem Risiko als mit Buchenreinbeständen erwirtschaften lässt, z. B. durch eine Beimischung von 10-20 % Fichte zur Buche. Erst ab einer Beimischung von ca. 30 % Fichte zur Buche zahlen wir für den gesteigerten Ertrag einen Preis in Form eines gesteigerten Risikos. Die Grundlagen solcher Berechnungen beruhen auf finanzmathematischen Modellen, die vor allem im Bankwesen verwendet werden.

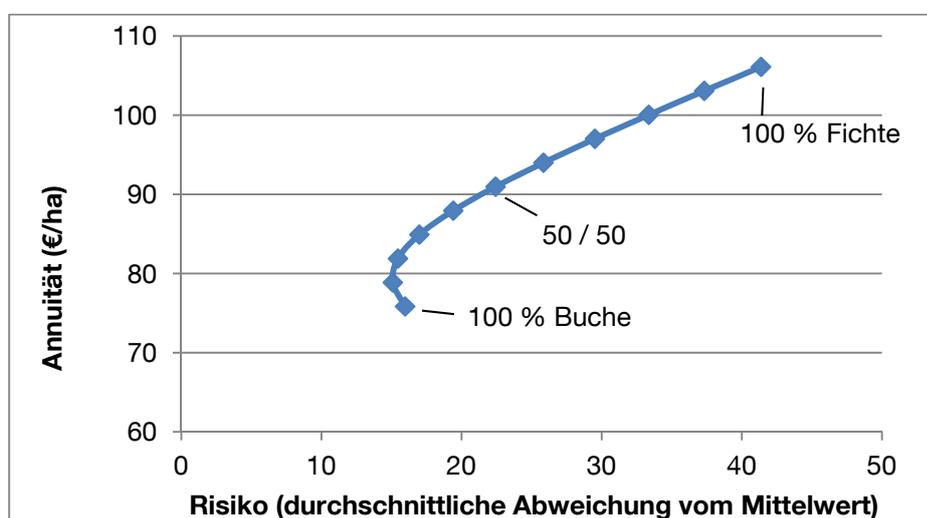


Abbildung 4 Beispielhafte Gegenüberstellung des Ertrages und Risikos von Buche und Fichte

Das Risiko kann auch überschlägig in einfachen Berechnungen verdeutlicht werden: Kommen wir zurück auf das Beispiel regelmäßiger Eingriffe im Vergleich mit einer Variante ohne Durchforstung. Wie in Kap. 2.3 dargestellt, erreicht der bewirtschaftete Bestand aufgrund seiner Vorerlöse eine Annuität von 273 Euro pro Jahr und Hektar, wobei im Falle

des ungepflegten Bestandes lediglich 196 Euro möglich waren. Nicht integriert ist bis hierhin das Risiko des Bestandesausfalls, welches in beiden Beständen zweifelsohne vorhanden ist, sich aber unterscheiden sollte: Regelmäßige Durchforstungen führen zu höherer Einzelbaumstabilität durch ein günstigeres h/d-Verhältnis und damit vor allem zu geringerer Anfälligkeit gegenüber Sturmereignissen. Hierbei ist zu beachten, dass kurz nach den Eingriffen das Risiko zunächst ansteigt. Es muss daher vorsichtig durchforstet werden – vor allem in älteren Beständen. Entnahmen von mehr als 50 Efm/ha sollten besser auf 2 Eingriffe verteilt werden.

Wir unterstellen hier einmal eine Wahrscheinlichkeit von 0,75, mit welcher der vorsichtig durchforstete Bestand seine geplante Umtriebszeit von 80 Jahren erreicht. Für den insgesamt weniger stabilen Bestand der undurchforsteten Variante unterstellen wir eine Wahrscheinlichkeit von nur 0,6, seine Umtriebszeit zu erreichen. Im Falle einer Kalamität ist in beiden Fällen von einer teilweisen Entwertung des Holzes (Splitter- und Bruchholz), höheren Holzerntekosten und auch Preisverfall auszugehen – der jährlich mögliche Ertrag wird deshalb für den Fall einer Kalamität halbiert. Werden die Wahrscheinlichkeiten für den Eintritt des Schadens mit den Erträgen – einmal nach planmäßiger Bewirtschaftung und einmal nach einer Kalamität – multipliziert, erhalten wir den Erwartungswert der beiden Investitionen:

$$E_{\text{durchforstet}} = 273 \text{ Euro/ha/J} * 0,75 + 137 \text{ Euro/ha/J} * 0,25$$

$$E_{\text{durchforstet}} = \mathbf{239 \text{ Euro/ha/J}}$$

$$E_{\text{undurchforstet}} = 196 \text{ Euro/ha/J} * 0,6 + 98 \text{ Euro/ha/J} * 0,4$$

$$E_{\text{undurchforstet}} = \mathbf{157 \text{ Euro/ha/J}}$$

Dieser kalkulierte Erwartungswert beziffert den durchschnittlich zu erwartenden Betrag. Im günstigsten Fall – also wenn kein Risiko aufgetreten ist – erreichen die Bestände den vollen Ertrag, im ungünstigsten eben nur halb so viel. Beträgt in der Investitionsrechnung ohne Risikointegration der prozentuale Unterschied zwischen beiden Varianten noch 39 Prozent, so sind es mit den etwas realistischeren Abschlägen für das Risiko bereits 52 Prozent, um die der Ertrag eines undurchforsteten Bestandes im Vergleich zu einem durchforsteten niedriger liegt.

## 2.5 Kalkulationen mit MICROSOFT EXCEL©

Forstliche Berater/innen können sich durch eigenständige Kalkulationen in der Vorbereitung und während der Beratung das Softwareprogramm Excel© zunutze machen. Die Vorteile

des Programmes liegen im Bekanntheitsgrad, der einfachen Bedienung, den automatisierten Berechnungen mit der Einstellung sichtbarer Formeln und Änderungsmöglichkeiten ohne Verlust der Zellbezüge. So kann individuell jeder Sachverhalt in einem Schema berechnet und beliebig verändert sowie grafisch durch Tabellen oder Diagramme aufbereitet werden. Solche Berechnungen haben ihren Reiz auf transportablen PC's, da sie direkt im Wald dem zu beratenden Waldbesitzer demonstriert werden können (siehe beispielhaft. Abb. 5 mit den oben aufgeführten Berechnungen zur Vorteilhaftigkeit einer Durchforstung).

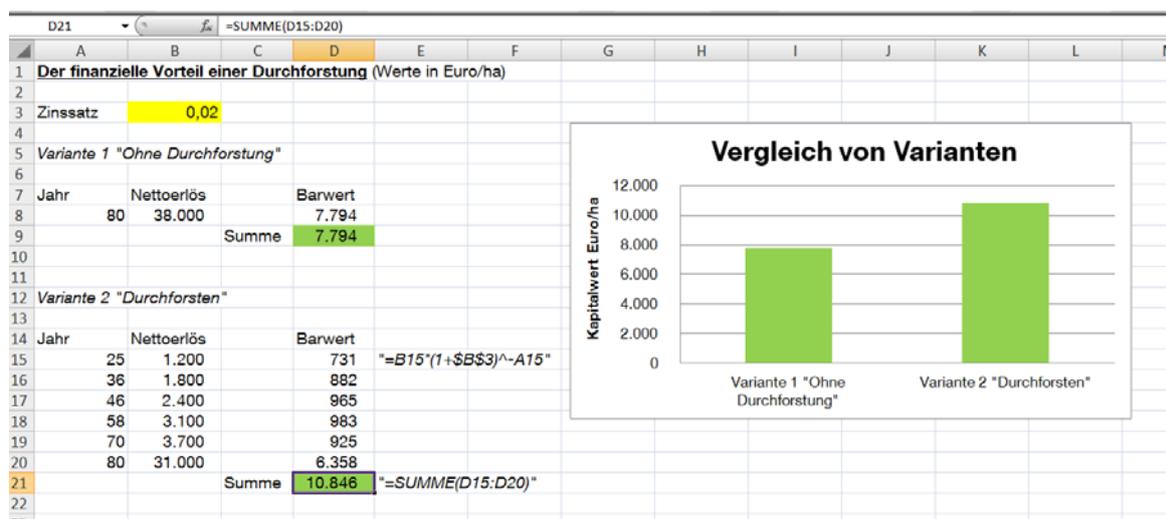


Abbildung 5 Beispielhafte Darstellung waldbaulicher Optionen mit EXCEL©

Das Abzinsen von im Jahr 25 eingehenden 1.200 Euro der durchforsteten Variante erfordert folgende Excel-Kalkulation in Zelle D15 der Abb. 5:

$$=B15*(1+\$B\$3)^{-A15}$$

Sind Barwerte über mehrere Jahre zu berechnen, so genügt das Aufstellen einer Formel. Für die übrigen Zellen kann der Zellbezug wie hier für die Zelle D 15 (die Variante ohne Durchforstung beinhaltet ja nur einen Barwert und entspricht damit auch gleich dem Kapitalwert), nach unten bis zur Zelle D 20 gezogen werden. Damit wird der Barwert automatisch für jede Zelle mit den zugrundeliegenden Nettoerlösen und dem betreffenden Jahr neu berechnet. Bei diesem Vorgehen ist zu beachten, dass die Formeln immer auf die stets gleiche Zelle des Zinssatzes verweisen – andernfalls erfolgt der Zellbezug auf die jeweils darunter liegende Zelle. Für einen festen Zellbezug, wie ihn in unserem Beispiel die Zelle „B3“ für den Zinssatz besitzt, ist der Bezug mit Dollarzeichen zu markieren (Drücken der „F4“ Taste). Das „Hochstellen“ bzw. das Einleiten einer Potenzierung, wie es zur Berechnung der Barwerte nötig ist, wird in EXCEL© mit dem Zeichen „^“ ausgeführt. Wenn

auf den Druck der „^“-Taste eine weitere Taste gedrückt wird, dann erscheint das Zeichen der zuletzt gedrückten Taste zusammen mit dem „^“-Zeichen.

In Abb. 5 sind jeweils beide Kapitalwerte als zu vergleichende Kennzahlen dargestellt (gelb hinterlegt). Erst die Summe der 6 Barwerte der durchforsteten Variante ergibt den Kapitalwert, der folgenden Zellbezug in „D21“ aufweist:

**=Summe(D15:D20)**

Zusätzlich können nun aus dem Kapitalwert die Annuitäten berechnet werden (siehe Formel in Kap. 2.3), was in EXCEL© wie folgt aussieht:

*Annuität für die durchforstete Variante*

**=D21\*((1+\$B\$3)^A20)\*\$B\$3/((1+\$B\$3)^A20-1)**

**=10.844\*(1,02^80)\*0,02/(1,02^80-1)**

**=273**

*Annuität für die undurchforstete Variante*

**=D9\*((1+\$B\$3)^A8)\*\$B\$3/((1+\$B\$3)^A8-1)**

**=7.794\*(1,02^80)\*0,02/(1,02^80-1)**

**=196**

## 2.6 Kennzahlen für den forstlichen Alltag

Im vorangegangenen Kapitel wurde als Rechenbeispiel der Investitionsrechnung eine Variante mit gegenüber einer ohne Durchforstung betrachtet. Die Varianten zu den Durchforstungen lassen sich beliebig erweitern oder es lassen sich andere waldbauliche Handlungsoptionen darstellen. In diesem Kapitel werden verschiedene Kennzahlen berechnet, deren Zahlengrundlage beispielhaft geschätzt und hergeleitet wurde. Jeder Bestand bzw. jedes Revier zeigt unterschiedlichste Voraussetzungen. Demzufolge können die Kennzahlen im hohen Maße variieren und die Schlussfolgerungen daraus voneinander abweichen. Die folgenden Beispiele sollen dazu dienen, den Effekt der Zahlungsströme zu verschiedenen Zeitpunkten mit Hilfe der Investitionsrechnung aufzuzeigen:

### Welchen finanziellen Vorteil bringt die Durchforstung eines Kieferbestandes?

Zwar steht die Kiefer hinter den Wachstums- und Ertragsmöglichkeiten der Fichte zurück, allerdings erbringen auch hier regelmäßige Durchforstungsmaßnahmen finanzielle Vorteile gegenüber ungepflegten Beständen. In Abb. 6 sind, analog zur Abb. 5, zwei Varianten dargestellt. Die Nettoerlöse sind grob kalkuliert: Die regelmäßig durchforstete Variante erreicht einen Vorrat von 280 Efm im Alter 90. Durch einen eher niedrig eingeschätzten Holzpreis werden hier als Durchschnitt aller Sortimente nicht mehr als 28 Euro erntekostenfreier Holzerlös erzielt – was einen Holzwert im Alter 90 von 7.840 Euro ergibt. Die Vorerlöse errechnen sich aus 19 bis 34 Efm pro Jahrzehnt und erntekostenfreien Holzerlösen von 18 bis 25 Euro. Der Kapitalwert erreicht dann etwas mehr als 2.500 Euro/ha. Der Kapitalwert der durchforsteten Variante ist damit deutlich höher als der der undurchforsteten Variante, bei der der Kapitalwert weniger als 1.500 Euro beträgt, obwohl hier ein höherer Abtriebswert erreicht wird. Im Falle der undurchforsteten Variante wurde ein Vorrat von 350 Efm pro Hektar unterstellt, der aber einen kleineren mittleren BHD und somit einen geringeren durchschnittlichen erntekostenfreien Erlös erbringt (25 Euro pro Efm). Die Durchforstungsvariante erreicht somit einen um 66 % größeren Kapitalwert als die undurchforstete Variante.

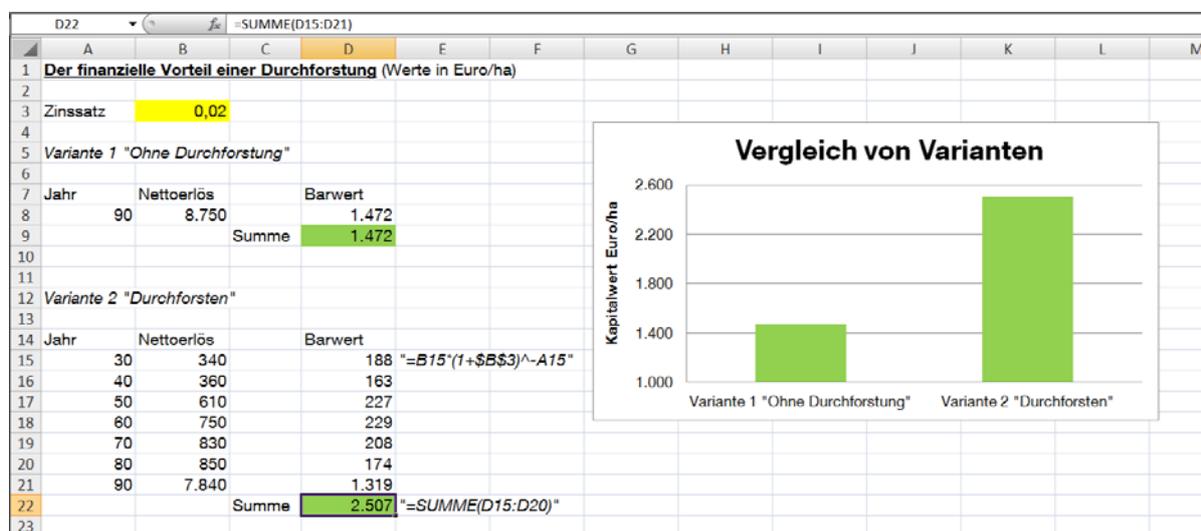


Abbildung 6 Der Vorteil einer Kieferndurchforstung

### Was bringt Naturverjüngung an Kostenersparnis?

Das Potenzial der Naturverjüngung auszunutzen, kann nicht nur Vorteile aus genetischer Sicht haben, sondern auch zu enormer Kostenersparnis führen. In dem in Abb. 7

aufgeführten Beispiel handelt es sich um zwei jeweils identische Fichtenbestände mit gleichhohen Durchforstungs- und Ernteeinnahmen zu gleichen Zeitpunkten. Sie unterscheiden sich nur in der Bestandesbegründung: Der Bestand mit Naturverjüngung hat demzufolge keine Kosten für neue Pflanzen zu tragen, lediglich für eine Pflege im Alter 5 wurden Kosten in Höhe von 500 Euro pro Hektar veranschlagt. Im Gegensatz dazu steht der Bestand, der gepflanzt wurde. Hier wurden 3.500 Euro pro Hektar ausgegeben, zudem erfolgte im Alter 5 eine Nachbesserung, die Ausgaben in Höhe von 800 Euro pro Hektar erforderte.

E3     =F28*((1+\$C\$7)^E27*\$C\$7)/((1+\$C\$7)^E27-1)														
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	<b>Der Vorteil einer Naturverjüngung</b> (Werte in Euro/ha)													
2														
3	Jährlicher Gewinn mit Naturverjüngung				188									
4	Jährlicher Gewinn mit Pflanzung				103									
5	Differenz				85									
6														
7	Zinssatz		0,02											
8														
9				Nettozahlung	Jahr	Barwert				Nettozahlung	Jahr	Barwert		
10	Kosten der Naturverjüngung (ha)			0	0	0	Kosten der Pflanzung (ha)			-3.500	0	-3.500		
11	Pflege der Naturverjüngung (ha)			-500	5	-453	Nachbesserung (ha)			-800	5	-725		
12						0						0		
13	Durchforstungserlöse			0	10	0	Durchforstungserlöse			0	10	0		
14				0	20	0				0	20	0		
15				800	30	442				800	30	442		
16				1.200	40	543				1.200	40	543		
17				1.300	50	483				1.300	50	483		
18				1.500	60	457				1.500	60	457		
19				1.800	70	450				1.800	70	450		
20				2.100	80	431				2.100	80	431		
21				0	90	0				0	90	0		
22				0	100	0				0	100	0		
23														
24	Ernteerlöse			0	80	0	Ernteerlöse			0	80	0		
25				20.000	90	3.365				20.000	90	3.365		
26				15.000	100	2.070				15.000	100	2.070		
27				5.000	110	566				5.000	110	566		
28	Summe					8.355						4.583		
29														

Abbildung 7 Kostenersparnis bei Naturverjüngung

Unter Berücksichtigung des Zeitaspektes wurden alle Zahlungen gemäß des Zinssatzes von 2 % auf das Alter Null abgezinst. Die Summe aus allen Zahlungen ergab dann wiederum den Kapitalwert (8.355 Euro gegenüber 4.583 Euro pro Hektar). Und unter Anwendung des Annuitätenfaktors (siehe Kapitel 2.3), ergab sich für die Naturverjüngungsvariante somit eine jährliche Rate von 188 Euro – bei der gepflanzten Variante dagegen waren es gerade 103 Euro pro Hektar.

$$A_1 = 8.355 \cdot \frac{0,02 \cdot (1+0,02)^{110}}{(1+0,02)^{110} - 1} = 188$$

$$A_2 = 4.583 \cdot \frac{0,02 \cdot (1+0,02)^{110}}{(1+0,02)^{110} - 1} = 103$$

**Welche Auswirkungen hat ein Wildzaun auf das Kalkulationsergebnis?**

Das oben aufgeführte Beispiel einer lohnenden Naturverjüngung lässt sich auch auf die finanziellen Auswirkungen eines zwingend notwendigen Zaunbaues übertragen. Wir vergleichen abermals beide Fichtenbestände, wobei sich beide naturverjüngen können (bzw. könnten, wenn der Wildbestand es zuließe). Daher werden lediglich Kosten für die Pflege im Alter 5 berücksichtigt. Allerdings unterstellen wir eine überhöhte Wilddichte in einem Bestand, weshalb zum Zeitpunkt der Bestandesbegründung ein Zaun gebaut werden muss. Wie im obigen Beispiel erreicht die zaunlose Variante eine Annuität von 188 Euro. Berechnen wir allerdings Zaunkosten in Höhe von 3.500 Euro pro Hektar zum Zeitpunkt der Begründung, dann verringert sich die jährlich mögliche Annuität um 78 Euro auf nun 110 Euro pro Hektar.

**Welchen finanziellen Vorteil bewirkt der Waldumbau?**

Mit Hilfe der Investitionsrechnung, aber auch basierend auf einfachen Risikobetrachtungen, lässt sich die finanzielle Vorteilhaftigkeit von Waldumbaumaßnahmen finanziell darstellen. In Abb. 8 ist der vereinfachte Vergleich von zwei Beständen aufgeführt: Zum einen stockt ein Fichtenbestand auf einem dafür eher ungeeigneten Standort – die geminderte Vorratsleistung zeigt sich in den für Fichte geringeren Nettoerlösen. Zum anderen wächst zu gleichen Bedingungen ein Fichten-Laubholz-Mischbestand heran, dessen Nettoerlöse aufgrund der weniger ertragreicheren Beimischungen dementsprechend noch geringer ausfallen. Wir unterstellen für den gemischten Wald bereits die Folgegeneration und damit Naturverjüngung, die ebenfalls für den Fichtenreinbestand angenommen wird. Im Alter 5 erfolgt für beide Bestände eine Pflege der Verjüngung in Höhe von 500 Euro pro Hektar. Zudem wird für den vereinfachten Vergleich eine Umtriebszeit von 100 Jahren angenommen.

C25		=D20*C24+D21*C24/2							
A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	<b>Der finanzielle Vorteil von Waldumbau</b> (Werte in Euro/ha)								
2									
3	Zinssatz	0,02							
4	<b>Fichte</b>				<b>Fichten-Laubholz-Mischwald</b>				
5	Jahr	Nettoerlös	Barwert	Jahr	Nettoerlös	Barwert			
6	0	0	0	0	0	0			
7	5	-500	-453	5	-500	-453			
8	10	0	0	10	0	0			
9	20	0	0	20	0	0			
10	30	660	364	30	300	166			
11	40	780	353	40	530	240			
12	50	1.470	546	50	1.400	520			
13	60	1.840	561	60	1.650	503			
14	70	2.170	543	70	1.900	475			
15	80	1.980	406	80	1.750	359			
16	90	2.010	338	90	1.800	303			
17	100	27.000	3.727	100	22.600	3.120			
18									
19									
20	Wahrscheinlichkeit Überleben			0,4			0,9		
21	Wahrscheinlichkeit Ausfall			0,6			0,1		
22									
23	Kapitalwert	6.385				5.232			
24	Annuität ohne Risiko	148				121			
25	<b>Annuität mit Risiko</b>	<b>104</b>	"=D22*C26+D23*C26/2"			<b>115</b>	"=G22*G26+G23*G26/2"		
26									

Abbildung 8 Berechnungen zum Waldumbau

Betrachten wir einen Waldbau ohne Risiken, so erreicht die Waldumbauvariante eine Annuität in Höhe von 121 Euro pro Hektar. Die Annuität des Fichtenbestandes liegt deutlich darüber, da hier über den gesamten Zeitraum mehr Holzerlöse erwirtschaftet werden konnten (ca. 38.000 Euro/ha gegenüber ca. 32.000 Euro/ha).

Der positive Effekt des Waldumbaus auf das finanzielle Ergebnis wird erst durch das einkalkulieren eines Risikoabschlages deutlich: Für die Fichte wird eine Wahrscheinlichkeit für das unbeschadete Erreichen der Umtriebszeit von 0,4 angenommen. Bei dem Mischbestand sind es hingegen 0,9. Im Falle einer Kalamität wird die normalerweise zu erreichende Annuität halbiert (siehe Beispielrechnung Kapitel 2.4). So ergibt sich die durchschnittliche Annuität bei dem Fichtenreinbestand von 104 Euro pro Jahr und Hektar. Bei dem Mischbestand sind es hingegen 115 Euro. Die prozentuale Abweichung beider Varianten beträgt damit ca. 10 % pro Hektar.

Neben generell geringeren Holzerlösen ergeben sich für die erste Bestandesgeneration Investitionskosten für den Waldumbau, die den durchschnittlichen Ertrag zusätzlich mindern. Jedoch profitieren die Folgegenerationen (wie hier berechnet) von dem nun geringeren Risiko.

### Welchen Einfluss besitzt die Umtriebszeit?

Viele Waldbesitzer betrachten ihren Wald als Sparbüchse. Statt etwa einen alten Fichtenbestand auf die Verjüngungsnutzung vorzubereiten, wird oft noch auf einen besseren Holzpreis gehofft. Doch welchen Mehrwert erzeugt das Warten? In Abb. 9 sind vereinfacht zwei Fichtenbestände aufgeführt, die bis zum Alter 80 die gleichen Nettoerlöse erzeugen. Für den 80-jährigen Bestand ergibt das eine Annuität von 131 Euro pro Hektar. Wird der Holzeinschlag um 20 Jahre hinausgezögert, kann zwar so mit weiteren Durchforstungseinnahmen und einem höheren Abtriebswert gerechnet werden, jedoch ergibt sich durch die Berücksichtigung des Zeitwertes des Geldes kein Vorteil – die Annuität erreicht hier eine Höhe von 130 Euro pro Hektar. Warum aber zusätzlich von einer überlangen Umtriebszeit abzuraten ist, erklärt sich durch die mit dem Alter stark abfallenden Überlebenskurven (siehe Abb. 2). Der Waldbesitzer nimmt für die verbleibenden 20 Jahre ein hohes Risiko in Kauf. Tritt die Kalamität ein, ist mit einem hohen Verlust zu rechnen.

E16 $=E15*((1+\$B\$3)^{A14})*\$B\$3/((1+\$B\$3)^{A14}-1)$						
	A	B	C	D	E	F
4						
5	<i>Fichtenbestand mit 80 Jahren</i>					
6	Jahr	Abtriebswert	Durchforstungserlöse	Summe	Barwert	
7	10		0	0	0	
8	20		0	0	0	
9	30		300	300	166	
10	40		550	550	249	
11	50		690	690	256	
12	60		830	830	253	
13	70		1.310	1.310	328	
14	80	19.200		19.200	3.938	
15					5.190	Summe
16					131	Annuität
17	<i>Fichtenbestand mit 100 Jahren</i>					
18	10		0	0	0	
19	20		0	0	0	
20	30		300	300	166	
21	40		550	550	249	
22	50		690	690	256	
23	60		830	830	253	
24	70		1.310	1.310	328	
25	80		1.360	1.360	279	
26	90		1.520	1.520	256	
27	100	27.740		27.740	3.829	
28					5.615	Summe
29					130	Annuität
30						

Abbildung 9 Beispielhaftes Hinauszögern der Umtriebszeit ohne finanzielle Vorteile aber mit gleichzeitigem Risikoanstieg

### **Lohnt sich eine Astung?**

Die Frage, ob sich eine Astung lohnt, kann nicht pauschal beantwortet werden, da den Kosten einer heute anstehenden Astung nur geschätzte zukünftige Mehreinnahmen bei einer unsicheren Preis- und Absatzentwicklung gegenüber gestellt werden können. Jedoch können Tendenzen berechnet werden.

Als Beispiel soll ein Douglasienbestand betrachtet werden:

- Umtriebszeit 70 Jahre
- Anzahl zu astender Z-Bäume 150/ha
- Erste durchzuführende Astung im Alter 20 für insgesamt 500 Euro/ha
- Zweite durchzuführende Astung im Alter 35 für 1.200 Euro/ha
- Kalkulation des Abtriebswertes im Alter 70 für einen ungeasteten Bestand 35.000 Euro und für den geasteten Wertholzbestand 41.000 Euro
- Zinssatz 2 %

Damit der Mehrwert des Wertholzbestandes mit den Astungskosten verglichen werden kann, müssen diese über den noch verbleibenden Zeitraum bis zum Erreichen der Umtriebszeit (50 Jahre) hinweg aufgezinnt werden. Der Zinsfaktor (1,02) wird also mit 50 als Exponenten versehen:

- aufgezinnte Kosten der ersten Astung =  $500 \text{ Euro} \cdot 1,02^{50} = 1.346 \text{ Euro}$
- aufgezinnte Kosten der zweiten Astung =  $1.200 \text{ Euro} \cdot 1,02^{35} = 2.400 \text{ Euro}$

Die Summe der aufgezinnten Kosten in Höhe von 3.746 Euro der aufgezinnten Astungskosten ist damit niedriger als die Differenz zwischen dem Wert eines ungeasteten und eines geasteten Bestandes. Die Astung scheint unter diesen Voraussetzungen lohnenswert.

### **Welcher finanzielle Nachteil entsteht durch Zuwachsverlust bei Wildverbiss?**

Eine vitale Naturverjüngung bzw. Pflanzung erfordert angepasste Wildbestände. Zwar gehören Knospen und Blätter junger Bäume zur natürlichen Äsung von vor allem Schalenwild, ein überhöhter Verbissdruck durch überhöhte Wildbestände kann jedoch das waldbauliche Ziel gefährden. Der daraus entstandene Schaden lässt sich durch etablierte Verfahren finanziell bewerten. Diese sind zwar in ihren Methoden facettenreich, beruhen aber in der Regel auch auf der in diesem Leitfaden verwendeten Investitionsrechnung. Ein Leittriebverbiss führt häufig zu einem Zuwachsverlust des gesamten Jahres, doch welcher

finanzielle Nachteil ergibt sich daraus? Zur Bewertung eignet sich das mittlerweile gerichtlich anerkannte Kostenwertverfahren (TZSCHUPKE 2010). Der Wert der Pflanze ergibt sich nach dem Kostenwertverfahren aus den bisher aufgezinnten Pflanzkosten. Theoretische Pflanzkosten einer künstlich angelegten Kultur können auch zur Kalkulation des Kostenwertes für Naturverjüngungen verwendet werden.

Das Verfahren soll an folgendem Beispiel erläutert werden: Ein Waldbesitzer habe vor vier Jahren Buchen im Wert von 4.000 Euro pro Hektar gepflanzt. Nun hat er dieses Jahr an der Hälfte der Pflanzen Leittriebverbiss feststellen können – was ihm ein Gutachter mit in der Konsequenz einjährigem Zuwachsverlust bestätigt. Unter Berücksichtigung der reinen Pflanzkosten und einem Zinssatz von 2 % ergibt sich folgende Berechnung:

- Pflanzenwert im Alter 0 = 4.000 Euro
- Pflanzenwert im Alter 1 =  $4.000 \text{ Euro} \times 1,02^1 = 4.080 \text{ Euro}$
- Pflanzenwert im Alter 2 =  $4.000 \text{ Euro} \times 1,02^2 = 4.162 \text{ Euro}$
- Pflanzenwert im Alter 3 =  $4.000 \text{ Euro} \times 1,02^3 = 4.245 \text{ Euro}$
- Pflanzenwert im Alter 4 =  $4.000 \text{ Euro} \times 1,02^4 = 4.330 \text{ Euro}$

Der Wert im Alter 4 ergibt sich alternativ auch durch einjähriges Aufzinsen des Wertes im Alter 3. Die Differenz zwischen dem Alter 3 und 4 zeigt den Wertzuwachs des vergangenen Jahres. Da aber die Hälfte der Pflanzen durch Verbiss auf das wirtschaftliche Alter von 3 zurückgesetzt worden sind, ergibt sich hier ein Wertverlust. Der auf den Hektar bezogene Verlust von 85 Euro betrifft die Hälfte aller Pflanzen, macht also ca. 43 Euro aus.

Diese einfache Rechnung zeigt den hohen Schadenswert – allein im Vergleich mit den durchschnittlichen jährlichen Jagdpachteinnahmen – der durch Verbiss entstehen kann. Denn bei dieser Betrachtung müssen wir bedenken, dass der Verbiss alljährlich auftritt.

## **2.7 Finanzielle Bewertung eines Fichtendurchforstungs- und Pflanzverbandsversuches**

Die oben aufgeführten Nettoerlöse zum Berechnen der Kennzahlen beziehen sich auf geschätzte Vorratswerte. Einen noch größeren Effekt für die Beratung können Demonstrationsflächen bewirken, an denen reale Daten erhoben werden können. Die Neuanlage solcher Flächen stellt eine Option dar; allerdings können auch Durchforstungs- und/oder Pflanzverbandsversuche der ertragskundlichen Forschung in Erwägung gezogen werden. Diese haben den Vorteil, dass von der Bestandesbegründung an regelmäßige und sehr sorgfältige Datenerhebungen durchgeführt worden sind. Handelt es sich um einen bereits älteren Versuch, können solche Daten helfen, ein ganzes Bestandesleben abbilden.

Für die finanziellen Kalkulationen können dann die Vorräte des verbleibenden und des ausscheidenden Bestandes der jeweils betrachteten Perioden genutzt werden.

Ein solcher Versuch befindet sich beispielsweise in der Nähe der oberbayerischen Stadt Fürstenfeldbruck. Die Daten dieses Versuches sollen zur Untermauerung dieses Leitfadens herangezogen werden. Dieser Fichtenversuch ist Teil eines großangelegten Verbundversuchsnetzes des internationalen Verbandes forstlicher Forschungsorganisationen (IUFRO), welches Versuchsflächen in mehreren Ländern Europas umfasst. Die hier betrachtete Versuchsfläche wurde 1974 angelegt und vom Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München in den Jahren 1992, 1996, 2001 und 2006 ertragskundlich aufgenommen (NICKEL u. a. 2008). Folgende Fragen lassen sich mit den Versuchsdaten beantworten (CLASEN und KNOKE 2012):

- Zu welchem finanziellen Erfolg führen regelmäßige Durchforstungen gegenüber einem Unterlassen?
- Wie wirkt sich die Wahl des Pflanzverbandes auf das finanzielle Ergebnis aus?

Der Versuch umfasst mehrere Parzellen mit verschiedenen Durchforstungsvarianten und Standraum- bzw. Pflanzverbandsversuchen (STR). Von den vier möglichen Durchforstungsvarianten mit unterschiedlichen Eingriffszeitpunkten und –stärken wählten wir ein Durchforstungsbeispiel (hier als gepflegte Variante bezeichnet), bei der Bedränger von 400 ausgewählten Z-Bäumen entnommen wurden (Ausgangsstammzahl 2.500) und sich die maximale Entnahmemenge pro ha und Eingriff auf 80 Vorratsfestmeter (Vfm) beschränkt. Als Vergleich zu einem ungepflegten Bestand diente die dazugehörige Kontrollvariante ohne jegliche Eingriffe.

Jede Parzelle des Standraum- bzw. Pflanzverbandsversuch (STR) der Anlage beinhaltet 300 Z-Bäume. Die ebenfalls durchgeführten Behandlungsmaßnahmen sind einheitlich und erfolgten oberhöhengesteuert nach einer Baumzahlleitkurve (angestrebte Baumzahlen je ha in Abhängigkeit von der Höhe). In die finanzielle Bewertung gingen die Parzellen mit einer Ausgangsstammzahl von 10.000, 4.000, 2.500 und 1.000 pro Hektar ein. Der Bestand mit 2.500 Bäumen ähnelt natural und finanziell dem Durchforstungsbeispiel, hier unterscheiden sich lediglich die Anzahl der Z-Bäume und die Anzahl der entnommenen Bedränger.

Die letzten ertragskundlichen Aufnahmen erfolgten im Jahre 2006, weshalb die Zeitreihe 37 Jahre abdeckt. Bei einer zu kurzen mit echten Daten unteretzten Betrachtungsperiode können entweder Daten aus älteren Vergleichsbeständen hinzugezogen werden oder, wie es hier gemacht wurde, es können Waldwachstumsprognosen durchgeführt werden, was mit dem Wachstumsmodell SILVA erfolgte. Die betrachtete Umtriebszeit liegt bei 112 Jahren, da

der Simulationsstart mit dem Alter 38 festgelegt war und SILVA in fünf Jahresschritten simuliert. In dieser Betrachtung blieben Risiken wie Schneebruch oder Borkenkäferbefall unberücksichtigt.

### **Ertragskundlicher Überblick**

Die Abbildungen 10 und 11 zeigen die Gesamtwuchsleistung (Vfm/ha) für die sechs untersuchten Varianten (1 x Durchforstung, 1 x ohne Durchforstung, 4 x Pflanzverband). Erwartungsgemäß erreicht die Gesamtwuchsleistung bei den Pflanzverbänden mit hohen Stammzahlen auch die höchsten Werte. Deutlich ist vor allem der Unterschied zwischen einer Variante mit Nutzung und ohne Durchforstung zu sehen. Mit zunehmendem Alter akkumuliert sich mehr Biomasse als bei regelmäßigen Pflegeeingriffen. Jedoch ist bei der Gesamtwuchsleistung auch zu berücksichtigen, dass mit zunehmender Pflanzzahl und unzureichender oder nicht durchgeführter Pflege der Anteil des Totholzes aufgrund von Konkurrenz bei hohen Stammzahlen enorm steigt (Tab. 1). So laufen während eines Umtriebes bei der ungepflegten Variante knapp 790 Vfm an Holz auf, welches zum Teil höchstens als Brennholz verwertet werden kann – wenn überhaupt. Die Durchforstungsvariante mit regelmäßiger Bedrängerentnahme führt dagegen lediglich zu 41 Vfm Totholz.

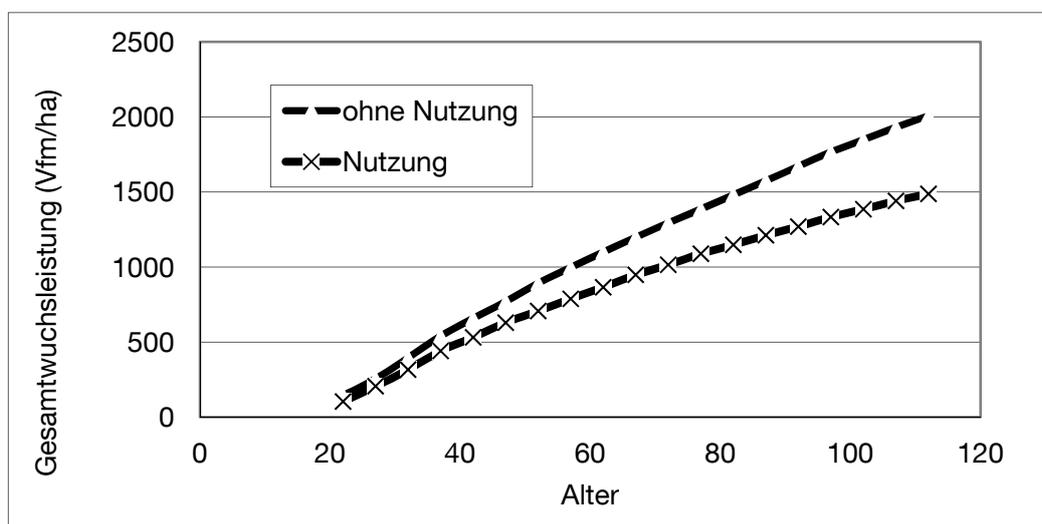


Abbildung 10 Gesamtwuchsleistung (Vfm/ha) der durchforsteten und der ungepflegten Variante

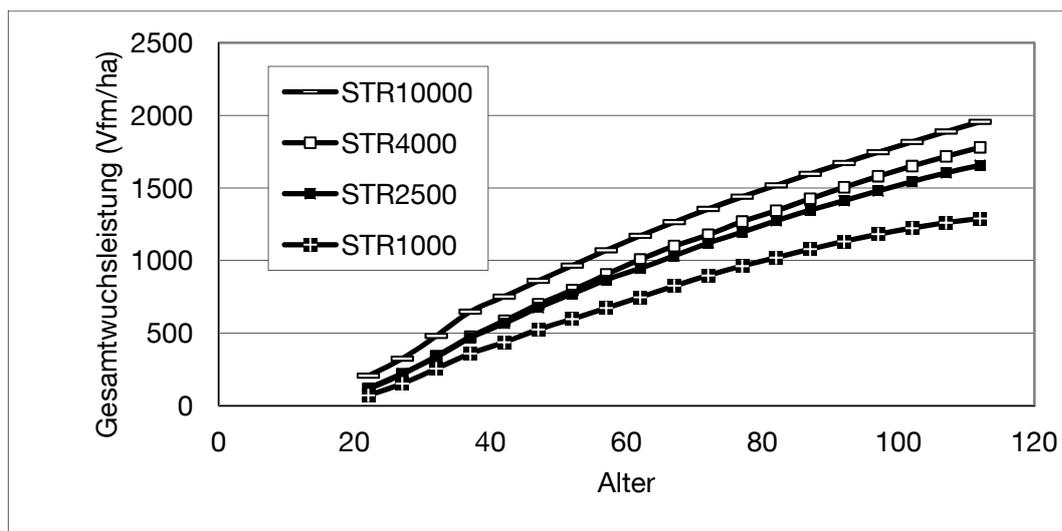


Abbildung 11 Gesamtwuchsleistung (Vfm/ha) der 4 Standraumversuche

Die Vorräte (Vfm) der Standraumversuche mit Pflanzdichten pro Hektar von 10.000 und 4.000 weisen über alle Altersklassen hinweg ähnliche Werte auf. Die Vorräte bei einem Pflanzverband von 2.500 Bäumen pro Hektar liegen etwas unter diesen beiden Varianten und der Vorrat sinkt zum Ende der Umtriebszeit stärker (siehe Tab. 1). Bis zum Alter von 42 Jahren kann der Pflanzverband mit 1.000 Bäumen pro Hektar mit der Vorratsentwicklung der übrigen Varianten mithalten – die Differenz zum Pflanzverband mit 10.000 Bäumen beträgt dennoch gut 130 Vfm pro Hektar – der Vorrat fällt dann aber zum Ende der Umtriebszeit deutlich ab. Interessant ist vor allem der Vergleich der zwei Varianten gepflegt und ungepflegt. Die undurchforstete Variante zeigt erwartungsgemäß von Beginn an die höheren Vorräte. Im Alter 62 beträgt der Unterschied 230 Vfm im Alter 112 dann sogar über 600 Vfm. Hier ist aber noch mal darauf hinzuweisen, dass es sich um ein ungestörtes Wachstum, also ohne Kalamitäten, handelt. Ungepflegte Bestände zeigen aber tatsächlich eine höhere Anfälligkeit gegenüber Kalamitäten, was im Durchschnitt ein Absenken des Vorrates zur Folge hat. Dieser Effekt tritt vor allem mit zunehmendem Alter des Bestandes auf.

Tabelle 1 Naturale Kennzahlen der 6 Varianten

Variante:	gepflegt	un- gepflegt	STR 1000	STR 2500	STR 4000	STR 10000
Vorrat (Vfm/ha) im Alter 112	522	1136	251	594	738	713
Grundfläche in m <sup>2</sup> im Alter 112	29	61	14	33	41	38
Mortalität akkumuliert (Vfm/ha)	41	788	26	87	205	386

### **Finanzielle Kennwerte**

Betrachten wir nur den finanziellen Wert des stehenden Bestandes zum Ende der Umtriebszeit, dann führen die hohen Vorräte der undurchforsteten Variante auch zu dem höchsten Abtriebswert, der mit knapp 45 tsd. Euro fast doppelt so hoch ist, wie bei der gepflegten Vergleichsvariante. Zwar erreicht ein ungepflegter Bestand wegen des üblicherweise hohen Bestockungsgrades auch durchschnittlich geringere Stärkeklassen und demzufolge auch geringere Holzpreise, aber der große Vorratsunterschied ist dennoch entscheidend. Bei den Standraumversuchen erreicht der Verband mit 1.000 Pflanzen nur etwa 1/3 des Abtriebswertes der Pflanzverbände mit 4.000 oder 10.000 Pflanzen (vgl. Tab. 2).

Tabelle 2 Abtriebswerte der 6 Varianten

Variante:	gepflegt	un- gepflegt	STR 1000	STR 2500	STR 4000	STR 10000
Abtriebswert in Euro	24.050	44.940	9.700	23.490	29.120	27.880

Entscheidend für einen vollständigen finanziellen Vergleich der sechs Varianten ist aber die Einbeziehung aller Nettoerlöse von der Bestandesbegründung (mit variierenden Kulturkosten) bis zum Abtrieb (unter Berücksichtigung der verschiedenen Qualitäten). Durch Aufsummieren aller Nettoerlöse erhalten wir bei der undurchforsteten Variante einen Betrag von 58.320 Euro<sup>3</sup>, wobei die gepflegte Vergleichsvariante hier schon einen Betrag von 58.830 Euro aufweisen kann. Dieser Wert entspricht dem Kapitalwert bei Nullverzinsung aus dem wiederum die Annuität berechnet werden kann (siehe Tab. 3).

<sup>3</sup> Die anfallenden Totholz mengen bei der ungepflegten Variante und den Pflanzverbänden mit 4.000 und 10.000 Pflanzen pro Hektar wurden zu 75 % als Brennholz genutzt und mit Industrieholzpreisen bewertet – bei den anderen Varianten war der Totholzanteil unerheblich.

Tabelle 3 Annuitäten in Euro/ha/J der 6 Varianten bei verschiedenen kalkulatorischen Zinssätzen

Variante:	gepflegt	un- gepflegt	STR 1000	STR 2500	STR 4000	STR 10000
Nullverzinsung	1.260	1.250	1.070	1.280	1.360	1.220
1 Prozent	480	420	440	490	500	390
2 Prozent	180	130	190	190	180	70
3 Prozent	60	20	80	70	50	-70

Wie im Kapitel 2.2 beschrieben, können gerade bei so langen Produktionszeiten wie in der Forstwirtschaft die Nettoerlöse unterschiedlicher Perioden nicht ohne weiteres verglichen werden, weshalb mit einem entsprechenden Kalkulationszinssatz abgezinst werden muss. Die Höhe der Annuitäten bei einem Kalkulationszinssatz von eins bis drei Prozent zeigt den finanziellen Vorteil früherer Erlöse durch Durchforstungsmaßnahmen. Der Unterschied zwischen der Variante gepflegt und ungepflegt wird mit zunehmender Verzinsung größer – ein Verzicht auf frühere Durchforstungseinnahmen als Alternative damit unvorteilhafter. Deutlich wird aber auch der Einfluss des gewählten Pflanzverbandes. Wer mit einem Verband von 2.500 Pflanzen arbeitet, hat geringere Investitionskosten zu tragen, als mit Pflanzverbänden von 10.000 Stück. Das bewirkt bei zunehmender Verzinsung eine spürbare Abnahme der möglichen Annuitäten. Bei drei Prozent kalkulatorischem Zinsfuß werden sogar jährlich 70 Euro pro Hektar „Verlust“ gemacht, wenn man zu dicht (mit 10.000 Bäumen pro ha) aufpflanzt. Dass ein ähnlicher Wachstumsverlauf auch zu einem ähnlichen finanziellen Ergebnis führen muss, zeigen die finanziellen Daten der gepflegten Variante und der Variante mit Pflanzverband 2.500 Bäume pro Hektar, deren Annuitäten nahezu identisch sind.

### **3 Anlage von Demonstrationsflächen**

Kapitel 2 zeigte auszugsweise die Möglichkeiten waldbaulicher-ökonomischer Modellkalkulationen in der forstlichen Beratung. Dabei wird auf die sich lohnende Waldwirtschaft fokussiert – also der Vorteil regelmäßiger Pflege- bzw. Durchforstungsmaßnahmen gegenüber einem unzureichenden Ausschöpfen des Nutzungspotenziales. Zur Kalkulation der Nettoerlöse einer oder mehrerer Perioden müssen die Bestände, wenn bisher keine Forsteinrichtungsdaten vorliegen, ertragskundlich erfasst werden. Natürlich können für einen schnellen Überblick die Vorräte auch grob geschätzt werden, genauere und für den Waldbesitzer auch glaubwürdigere Ergebnisse lassen sich jedoch erst durch Bestandesmessungen gewinnen. Werden Waldbestände zudem als Demonstrations- bzw. Weiserflächen dauerhaft markiert, können diese für mehrjährige Schulungszwecke dienen. Zur Hilfestellung bei der Datenakquise soll hier ein Überblick über die Möglichkeiten der Datenerfassung aufgezeigt werden: Was ist bei der Anlage von Demonstrationsflächen zu beachten und wie werden die Vorräte bestimmt? Die Inhalte der Waldmesslehre sind sehr vielfältig, die Zusammenstellung hier kann daher nur in Auszügen darauf eingehen, was zur Berechnung der Bestandesvorräte zu beachten ist. Die folgend aufgeführten Informationen beziehen sich, wenn nichts anderes angegeben wird, auf KRAMER und AKÇA (1995), BACHMANN u. a. (2001) sowie PRETZSCH (2002), die einen detaillierten Überblick über die Waldmesslehre geben.

Sind die zu untersuchenden Bestände nach ertragskundlichen Aufnahmen erfasst, lassen sich aus den gewonnenen Vorratsdaten Nettoerlöse für den ausscheidenden und den verbleibenden Bestand berechnen. Hier ist zu berücksichtigen, dass zusätzlich Holzqualitätsmerkmale wie Astigkeit und Fäule bewertet werden müssen. Eine Qualitätseinschätzung kann durch Sortierung am stehenden Stamm durchgeführt werden.

#### **3.1 Flächenauswahl und Vorbereitung der Aufnahmen**

Als Referenz- bzw. Kontrollfläche zur Demonstration sich lohnender Durchforstungsmaßnahmen muss ein Altbestand gefunden werden, bei dem bisher keine oder nur wenige Eingriffe erfolgten und dessen Alter nach praxisüblicher Einschätzung für eine anstehende Verjüngungsnutzung sprechen würde. Dieses Waldbild dürfte sich durch eine hohe Stammzahl bei geringem Durchmesser auszeichnen. In diesem Wald sind der Vorrat zu bestimmen aus dem sich der finanzielle Holzwert berechnen lässt. Als zu bewertendes Waldbaubeispiel sollte ein regelmäßig durchforsteter Bestand gleicher Baumart bzw. Baumartenverteilung aufgenommen werden. Zur Vergleichbarkeit sollte dieser

---

nach Möglichkeit in unmittelbarer Nähe zum Referenzbestand liegen und idealerweise auf der gleichen Standortseinheit stocken. Umweltbedingte Wachstumsunterschiede lassen sich so zumindest begrenzen.

Zur Berechnung der Nettoerlöse reicht für die undurchforstete Variante ein Bestand aus, der die Umtriebszeit erreicht hat – siehe dazu auch die Abb. 5 und 6 weiter oben – da keine Vorerlöse in die Betrachtung einbezogen werden. Bei dem durchforsteten Bestandesbeispiel hingegen wurden regelmäßige Einnahmen erwirtschaftet. Entweder können Informationen zu den Vorerträgen aus Revierbüchern abgeleitet oder aus Vergleichsbeständen gewonnen werden. Dafür sucht man sich weitere Bestände – nach Möglichkeit wieder der gleichen Standortseinheit – mit der gleichen Baumartenausstattung jedoch jüngerer Altersklassen. Also beispielsweise von der Baumart Fichte fünf Bestände beginnend im Alter 30 bis hin zum Alter 70, der letzten Durchforstung bis die Verjüngung eingeleitet wird. Dieses Vorgehen wird auch als Aufstellen einer unechter Zeitreihe beschrieben (HÖLLERL 2009), wodurch das zeitliche Nacheinander eines Bestandes durch ein räumliches Nebeneinander ersetzt wird. Sind in unmittelbarer Nähe keine Altersdifferenzierungen möglich, erscheinen auch weniger Flächen möglich, wenn die fehlenden Daten durch beispielhafte Berechnungen ergänzt werden. Sollen die Flächen zu längerfristigen Demonstrationszwecken dienen, ist auch darauf zu achten, dass diese mit Weganschluss und Parkplatzmöglichkeiten für Exkursionen zugänglich sind.

Die zur Auswahl stehenden Flächen sind dauerhaft zu markieren – entweder über Bänder an den Eckbäumen der Flächen oder über Eckpfosten und Winkelgräben. Die Größe der Flächen kann variieren, ein Abstecken von bspw. 25x40 m, also 0,1 ha, kann für jüngere Bestände als durchaus geeignet eingestuft werden. Ältere Bestände können demzufolge auch eine etwas größere Demonstrationsfläche einnehmen. Die Aufnahme der Bäume erfolgt dann im „Zickzackkurs“, beginnend in einer Ecke. Zur Erleichterung können die fertig gemessenen Bäume mit Kreide markiert oder sogar mit Nummern versehen werden.

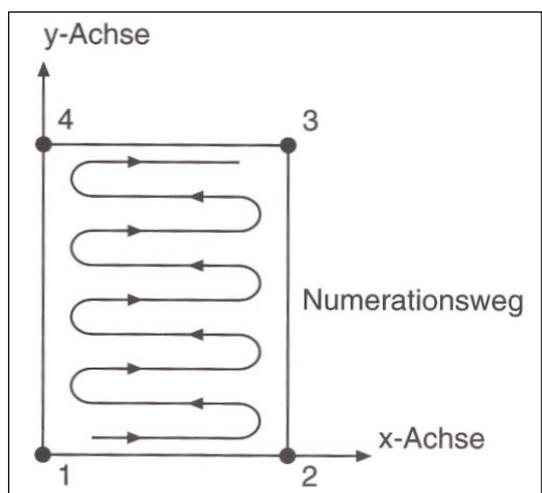


Abbildung 12 Vollaufnahme auf der Demonstrationsfläche<sup>4</sup>

## 3.2 Ertragskundliche Messungen

Soll im Bestand der Vorrat bestimmt werden, müssen zuvor der Brusthöhenmesser aller Bäume und die Baumhöhen (Stichproben) erhoben werden.

### 3.2.1 Brusthöhendurchmesser (BHD)

Der BHD ist grundsätzlich auf 1,3 m Höhe zu messen. Bei Missbildungen wie Verwachsungen oder durch Überwallungen nach Fällungsschäden ist der Durchmesser zweimal zu messen – einmal oberhalb und einmal unterhalb der Schadstelle – und der Mittelwert ist zu bilden. Für die Aufnahme im Bestand zur Bestimmung des Vorrates werden im Allgemeinen Durchmesserstufen von 4 cm Weite empfohlen, also bspw. 8 – 12 – 16 usw., die Einteilung kann vor der Messung aber beliebig geändert werden. Die Ergebnisse können während der Messung als Strichliste in eine Liste eingetragen werden. Noch genauere Ergebnisse lassen sich jedoch durch exakte Messungen bestimmen. Zur Erleichterung und Einhaltung der Messgenauigkeit, sollte der Messende an seiner Kleidung eine Markierung (bspw. Sicherheitsnadel) auf 1,3 m anbringen.

#### *Aufnahme mit der Kluppe*

Oft werden Kluppen zur Bestimmung des Durchmessers eingesetzt. Diese dürfen nicht beschädigt sein und beide Kluppschenkel müssen gegeneinander parallel verlaufen. Die Messung erfolgt einmalig im rechten Winkel und parallel der Höhenlinie. Um systematische

<sup>4</sup> aus PRETZSCH (2002)

Fehler zu vermeiden, ist die Klupprichtung bei jeder Messung zu variieren. Bei Stichprobenaufnahmen mit konzentrischen Kreisen erfolgt eine Aufnahme immer in Richtung Mittelpunkt, jedoch sollen für die Demonstrationsflächen Vollaufnahmen durchgeführt werden.

#### *Aufnahme mit dem Umfangmessband*

Umfangmessbänder eignen sich generell sehr gut, vor allem bei größeren Durchmessern. Sie haben aber auch den Vorteil genauerer Messergebnisse (geringere Streuung bei Wiederholung der Messung), jedoch kann dieser Vorteil nur genutzt werden, wenn im mm-Bereich gemessen werden soll. Bei der Messung ist ebenfalls auf den rechten Winkel zur Stammachse zu achten und das Band darf nicht zu sehr angezogen werden. Bedecken Moosschichten die Rinde, sind diese – ohne die Rinde zu beschädigen – zu entfernen.

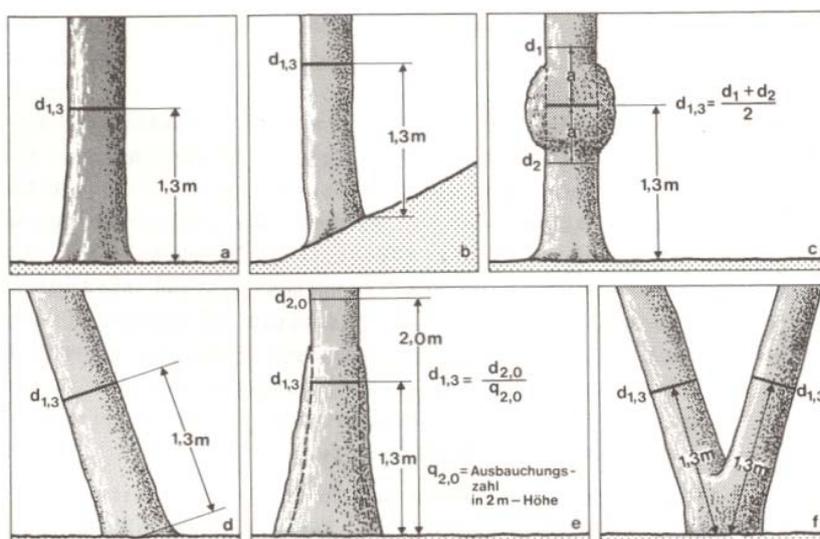


Abbildung 13 BHD Messung bei verschiedenem Habitus<sup>5</sup>

### 3.2.2 Baumhöhe

Die Höhe eines Baumes wird lotrecht vom Stammfuß bis zur Spitze gemessen (Abb. 14). Es kann jedoch zu fehlerhaften Werten führen, wenn der anvisierte Baum stark zur messenden Person hin bzw. von ihr weg geneigt ist. Messungen solcher Bäume sollten daher vermieden werden.

<sup>5</sup> aus KRAMER und AKÇA (1995)

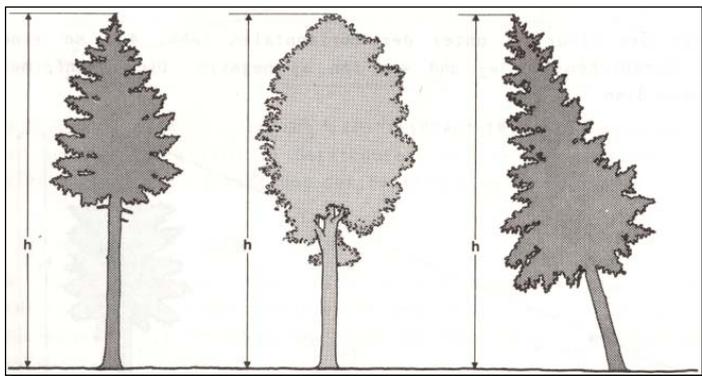


Abbildung 14 Messung der Baumhöhe<sup>6</sup>

Es ist darauf zu achten, dass ausreichend Abstand zwischen Stamm und der messenden Person vorhanden ist – mindestens eine geschätzte Baumlänge. Vor allem bei Laubbäumen ist das Anvisieren der Baumspitze im belaubten Zustand schwierig, weshalb etwas tiefer angehalten werden sollte (Abb. 15).

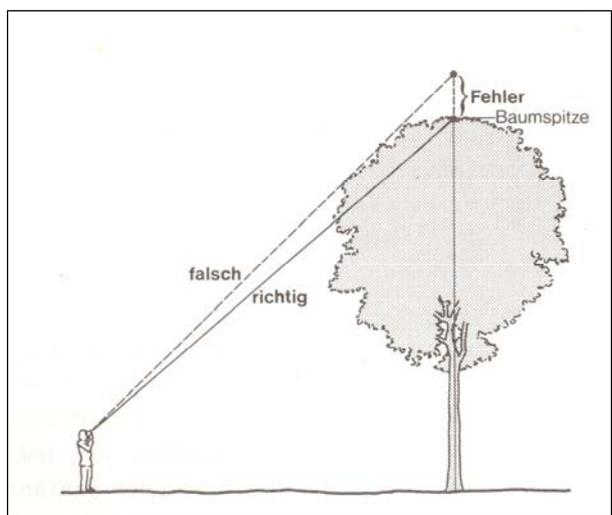


Abbildung 15 Höhenmessung beim Laubholz<sup>7</sup>

Sind nur wenige Bäume auf der Demonstrationsfläche vorhanden, kann ohne großen Aufwand die Höhe eines jeden Baumes gemessen werden. Da dies wahrscheinlich eher nicht der Fall sein wird, sollte zumindest eine ausreichende Anzahl (mind. 30-40) von Messungen erfolgen. Der Messende (die Messende) hat darauf zu achten, dass eine gleichmäßige Verteilung der Höhenmessbäume über alle Durchmesserklassen – so bspw. zwei Höhenmessungen pro Durchmesserklasse – und über die ganze Fläche erfolgt. Nicht aufzunehmen sind dabei Bäume mit Kronenabbrüchen.

<sup>6</sup> aus KRAMER und AKÇA (1995)

<sup>7</sup> aus KRAMER und AKÇA (1995)

Die Höhen der einzelnen Durchmesserklassen lassen sich dann in ein Höhen-Durchmesserdiagramm übertragen, was gut mit EXCEL<sup>®</sup> funktioniert (siehe Abb. 16). Die Höhenwerte auf der Y-Achse ergeben zusammen mit den Durchmessern auf der X-Achse eine Punktwolke. Über eine Ausgleichsfunktion kann eine Trendlinie durch die Punktwolke bestimmt werden, die zu einem Fehlerausgleich führt. Anhand der Trendlinie ist es nun möglich, für jeden Durchmesser (auch der nicht Höhen gemessenen Bäume) die dazugehörige Höhe abzulesen. Es lässt sich aber auch der BHD-Wert in die Ausgleichsfunktion einsetzen, mit der der Höhen-Wert berechnet werden kann.

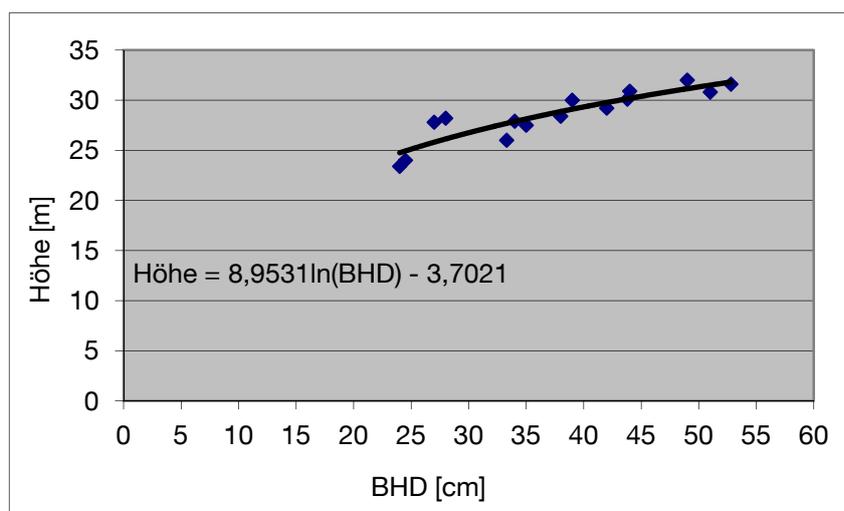


Abbildung 16 Beispiel einer Bestandeshöhenkurve mit Ausgleichsfunktion

### Geräte

Höhenmessungen basieren auf den Prinzipien der Geometrie (Strahlensatz) oder funktionieren nach dem trigonometrischen Prinzip, wobei über die Entfernung zum Baum und den Winkel zur Baumspitze die Höhe des Baumes gemessen werden kann. Bekannte Geräte in der Forstwirtschaft sind bspw. die Höhenmesser von BLUME-LEISS, HAGA und SUUNTO, das Spiegelrelaskop von BITTERLICH oder auch der Höhenmesser VERTEX. Die Entfernung zum Baum kann über Maßband oder optische Distanzmessung erhoben werden. Bei neueren Geräten wird die Entfernung per Ultraschall oder Laser gemessen. Hier gilt: Die Geräte sind temperaturabhängig, weshalb die Messung erst erfolgen kann, wenn sich das Gerät an die Außentemperatur angepasst hat. Eine Ergebnisverfälschung kann auch durch zu langes in der Hand halten hervorgerufen werden. Regelmäßige Kontrollmessungen sind hier erforderlich.

### 3.2.3 Bestimmung der Grundfläche

Die Bestandesgrundfläche ist die Summe aller Grundflächen der Bäume eines Bestandes und zeigt, wie viel Quadratmeter eines ein Hektar großen Bestandes allein durch den Holzquerschnitt in 1,3 m Höhe bedeckt sind. Die Grundfläche ist damit ein Maß für die Bestandesdichte. Die Grundfläche ( $g$ ) errechnet sich aus der Kreisflächenformel:

$$g_{1,3} = \frac{\pi}{4} d_{1,3}^2$$

Diese Kreisflächenformel kann zur Berechnung der Grundfläche eines einzelnen Baumes oder eben des ganzen Bestandes herangezogen werden. Für den Bestand ist ein mit Hilfe der Grundflächen gewichteter Durchmesser ( $d$ ) aller Bäume entscheidend. Dieser kann unterschiedlich definiert werden – die Vor- bzw. Nachteile liegen jeweils in der Einfachheit der Berechnung oder in der Anfälligkeit gegenüber rechnerischen Verschiebungen bei Hoch- oder Niederdurchforstungen. Anwendung findet zu meist der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes ( $d_g$ ) – der, entgegen dem einfachen arithmetischen Mittel gemessener Durchmesser, sich aus der mittleren Grundfläche ( $\bar{g}$ ) des Bestandes berechnen lässt:

$$d_g = 2 \cdot \sqrt{\frac{\bar{g}}{\pi}}$$

Folgendes Beispiel geben KRAMER und AKÇA (1995) S.127 an:

In einem Fichtenbestand wurden 434 Bäume gemessen ( $n_i$ ), die zusammen eine Grundfläche von 39,960 m<sup>2</sup> ergeben:

$$G = \sum n_i \cdot g_i = 39,960 \text{ m}^2$$

Die mittlere Grundfläche pro Baum errechnet sich aus dem Verhältnis Bestandesgrundfläche zu Stammanzahl:

$$\bar{g} = \frac{G}{N} = \frac{39,960 \text{ m}^2}{434} = 0,0921 \text{ m}^2$$

Nun lässt sich der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes ermitteln:

$$d_g = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,0921 \text{ m}^2}{3,1416}} = 2 \cdot 0,1712 \text{ m} = 0,342 \text{ m}$$

$$d_g = 34,2 \text{ cm}$$

### 3.3 Vorratsermittlung

Das Berechnen des Nettoerlöses einer bestimmten Periode erfordert die Vorratsbestimmung. Der Vorrat ( $v$ ) ergibt sich – wie auch beim Einzelbaum – aus dem Produkt von Grundfläche, Formzahl und Höhe:

$$v = g_{1,3} \cdot f_{1,3} \cdot h$$

Das Volumen entspricht also dem Volumen eines Zylinders, bei der die Abholzigkeit des Baumes oder die mittlere Abholzigkeit des Bestandes durch die Formzahl ausgeglichen wird.

#### Schätzverfahren

Für eine erste grobe Schätzung kann das Produkt aus der Grundfläche und der halben Mittelhöhe des Bestandes näherungsweise die Höhe des Vorrates wiedergeben. Allerdings berücksichtigt das Halbieren der Baumhöhe nur unzureichend die variierende Abholzigkeit der Baumarten. Nach LAER und SPEIDEL 1959 (aus KRAMER und AKÇA 1995 S. 220) ergibt sich folgende baumartenspezifische Zusammenstellung verschiedener Formhöhen:

Tabelle 4 Formhöhentarif nach LAER und SPEIDEL 1959

Mittel- höhe	Formhöhe								
	Eiche	Buche	Esche	Erle	Birke	Fichte	Tanne	Kiefer	Lärche
14	6,6	5,6	6,1	6,8	6,5	6,8	7,3	6,2	6,3
16	7,8	7,0	7,0	7,8	7,2	8,1	8,4	7,2	7,6
18	9,1	8,2	8,0	8,9	7,9	9,3	9,4	8,0	8,4
20	10,1	9,4	8,9	9,9	8,6	10,3	10,5	9,1	9,2
22	11,5	10,4	10,1	10,5	9,3	11,3	11,4	9,9	10,0
24	12,6	11,7	11,2	11,3	9,9	12,1	12,5	10,8	10,8
26	13,8	12,9	12,5	12,2	10,6	12,9	13,2	11,7	11,5
28	15,2	14,0	13,7	12,7	11,2	13,6	14,1	12,7	12,3
30	16,0	15,3	14,5	-	-	14,3	14,6	13,6	13,0
32	16,4	16,7	15,5	-	-	15,0	15,2	14,4	13,6
34	16,8	18,0	16,2	-	-	15,5	15,7	15,0	14,1
36	17,1	19,1	16,7	-	-	16,1	15,9	15,6	14,3
38	-	20,0	17,2	-	-	16,3	16,0	-	15,5
40	-	-	-	-	-	16,0	16,1	-	14,6

Ein Fichtenbestand mit einer Mittelhöhe von 35 m hat demnach z. B. eine Formhöhe von 15,8 (das Mittel aus 15,5 und 16,1). Bei einer Grundfläche von 47 m<sup>2</sup> – z. B. aus der Durchmesser-Verteilung einer Vollaufnahme errechnet – ergibt sich ein Derbholzvorrat m. R. von 742,6 Vfm (47 m<sup>2</sup> · 15,8), der für weitere Berechnungen noch in Erntefestmeter

umgerechnet werden muss. Über Volumenreduktionsfaktoren oder auch über Ertragstafeln können die Erntefestmeter hergeleitet werden.

Den Schätzverfahren ebenfalls zuzuordnen sind die Massenbestimmungen über Ertragstafeln mit deren Hilfe der Vorrat des verbleibenden Bestandes entsprechend der Ertragsklasse und dem Alter des Bestandes geschätzt wird. Ertragstafeln spiegeln das Wuchsverhalten einer Baumart eines größeren Gebietes wider. Jedoch sind die meisten Ertragstafeln mittlerweile seit mehreren Jahrzehnten in Gebrauch – Vorrats- und Zuwachswerte liegen häufig schon weit über den Angaben. Allerdings sind die Ertragstafeln nach wie vor ein wichtiges Instrument der Forstwirtschaft, mit Hilfe derer sich Vorratschätzungen durchführen lassen. Zur Ermittlung des Vorrates müssen vom Bestand das Alter, die Höhe und die Grundfläche bekannt sein. Über dem Verhältnis der Grundfläche vom Bestand mit der der Ertragstafel erhalten wir den Bestockungsgrad. Aus dem Vorrat der Ertragstafel und der Berücksichtigung des Bestockungsgrades errechnet sich der Bestandesvorrat.

#### *Verfahren zur Vorratsberechnung*

Die wohl genauesten Verfahren zur Bestimmung der Bestandesvorräte sind als Massentafel-, Massenreihen- oder auch Formhöhenreihenverfahren bekannt. Voraussetzung ist eine nach Durchmesserklassen gestaffelte Vollaufnahme der Bäume, wobei die Höhe entweder individuell für jede Durchmesserklasse eingeht (Berechnung über Ausgleichsfunktion der Bestandeshöhenkurve) oder repräsentativ auch als Höhe des Grundflächenzentralsamms ( $d_z$ ). Dieser entspricht dem Durchmesser, bei der die Grundfläche in zwei Teile geteilt werden kann. Die Höhe ist ebenfalls über die Ausgleichsfunktion der Bestandeshöhenkurve zu bestimmen. So lassen sich für jede Durchmesserklasse die Vorräte ( $V_{fm}$ ) berechnen. Für die einzelnen Werte sind allerdings die dazugehörigen Massenreihen bzw. Massentafeln nötig. KRAMER und AKÇA (1995) zeigen ab Seite 151 die verschiedenen Verfahren inkl. Anhängen. In den Hilfstafeln für die Forsteinrichtung der Bayerischen Staatsforstverwaltung (1990) ist die Massenermittlung nach KRENN und LAER/SPIECKER beschrieben. Mit diesen Verfahren können die Vorräte schnell und exakt ermittelt werden.

## 4 Weiterführende Literatur

**Bachmann, M.; Nickel, M.; Peters, A.; Schütze, G.; Seifert, T.; Steinacker, L.; Utschig, H. (2001):** Vorgehensweise bei der Anlage und Aufnahme von Versuchsflächen. Hg. v. Lehrstuhl für Waldwachstumskunde. Technische Universität München. Freising.

**Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. (1990):** Hilfstafeln für die Forsteinrichtung

**Beinhofer, B. (2008):** Berücksichtigung von Risiko in der Waldbewertung. In: *Allg. Forst Z. Waldwirtsch. Umweltvorsorge* 63, S. 918–920.

**Beinhofer, B. (2009):** Zur Anwendung der Portfoliotheorie in der Forstwirtschaft. Finanzielle Optimierungsansätze zur Bewertung von Diversifikationseffekten. Dissertation. Technische Universität München, Freising.

**Bergen, V.; Löwenstein, W.; Olschewski, R. (2002):** Forstökonomie. Volkswirtschaftliche Grundlagen. München: Vahlen.

**Biber, P.; Dursky, J.; Pommerening, A.; Pretzsch, H.; Seifert, E.; Seifert, T. (2000):** Silva 2.2. Benutzerhandbuch. Hg. v. Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München. Freising.

**Clasen, C.; Knoke, T. (angenommen):** Ökonomische Kennzahlen eines Fichten-Durchforstungs- und Pflanzverbands-Versuches zur Unterstützung der Privatwaldberatung. In: Forstarchiv.

**Clasen, C.; Knoke, T. (2009):** Entmischung von Baumarten durch Wildverbiss und mögliche finanzielle Konsequenzen. In: *Allg. Forst Z. Waldwirtsch. Umweltvorsorge* 64 (21), S. 1145–1147.

**Endres, M. (1911):** Lehrbuch der Waldwertrechnung und Forststatik. Berlin: Springer.

**Höllerl, S. (2009):** Auswirkungen von waldbaulichen Maßnahmen auf die Stabilität (Resistenz und Elastizität) von Fichtenreinbeständen in der Bergmischwaldstufe der Bayerischen Alpen. Eine Analyse aus waldbaulich-forstökonomischer Sicht. Dissertation. Technische Universität München, Freising.

**Knoke, T. (2004):** Ökonomische Bewertung der Waldbehandlungsoptionen unter Berücksichtigung des Betriebsrisikos. In: *Ökosystem-Management*, S. 109–117.

**Knoke, T. (2007):** Finanzielle Risiken von Rein- und Mischbeständen. In: *LWF Wissen* (59), S. 83–87.

**Knoke, T.; Schneider, T.; Hahn, A.; Griess, V.; Roessiger, J. (2012):** Forstbetriebsplanung als Entscheidungshilfe. Stuttgart: Ulmer.

**Knoke, T.; Hahn, A. (2007):** Baumartenvielfalt und Produktionsrisiken: Ein Forschungseinblick und -ausblick. In: *Schweiz. Z. Forstwes.* 158, S. 312–322.

**Kölling, C.; Beinhofer, B.; Hahn, A.; Knoke, T. (2010):** „Wer streut, rutscht nicht“. Wie soll die Forstwirtschaft auf neue Risiken im Klimawandel reagieren? In: *Allg. Forst Z. Waldwirtsch. Umweltvorsorge* 65 (5), S. 18–22.

**Kramer, H.; Akça, A. (1995):** Leitfaden zur Waldmesslehre. [3., erweiterte Aufl.]. Frankfurt [etc.]: Sauerländer.

**Kruschwitz, L. (2005):** Investitionsrechnung. 10., überarb. und erw. München, Wien: Oldenbourg.

- 
- Möhring, B.; Rüping, U.; Leefken, G.; Ziegeler, M. (2006):** Die Annuität - ein „missing link“ der Forstökonomie. In: *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 177, S. 21–29.
- Mosandl, R.; Felbermeier, B. (2003):** Der neue Dreiklang im Waldbau: Ökologie, Sozioökonomie und Technologie. In: *Forst und Holz* 55, S. 133–143.
- Nickel M., Klemmt H.J., Seifert T., Uhl P., Pretzsch H. (2008):** Wachstum der Fichte je nach Ausgangs-Stammzahl und Behandlung. In: *Allg. Forst Z. Waldwirtsch. Umweltvorsorge* 63, S. 1146–1151.
- Pretzsch, H. (2002):** Grundlagen der Waldwachstumsforschung. Berlin [u.a.]: Parey.
- Suda, M.; Eklkofer, E. (2000):** Wie informieren sich Waldbesitzer? - Stammtisch oder Internet. In: *Allg. Forst Z. Waldwirtsch. Umweltvorsorge* 55 (20), S. 1059–1060.
- Tzschupke W. (2010):** Zur Problematik der Bewertung von Verbisschäden. In: *Allg. Forst Z. Waldwirtsch. Umweltvorsorge* 65, S. 41-43.
- Wöhe, G.; Döring, U. (2010):** Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 24., überarb. und aktualisierte Aufl. München: Vahlen.