

# **Innovation durch Kontinuität – das Ertragskundliche Versuchswesen in Bayern**

von

Hans Pretzsch, Heinz Utschig, Martin Bachmann

## **Waldbaurichtlinien vergehen – Wuchsgesetze bleiben bestehen**

Die Praxis erwartet vom Ertragskundlichen Versuchswesen Entscheidungshilfen für ein zweckmäßiges Handeln. Beispielsweise werden ad hoc Informationen über den zu erwartenden Ertrag neu aufkommender Pflegeprogramme und angestrebter Baumartenmischungen, über das Waldwachstum unter regional wirksamen Störfaktoren oder die Entwicklung des landesweiten Holzaufkommens benötigt. Wollte man solche Fragen allein durch empirische Prüfung beantworten und zu ihrer Beantwortung jeweils neue Versuche einleiten, so liefe die Waldwachstumsforschung den Fragen der Praxis aufgrund der Langlebigkeit von Waldbeständen und entsprechend großer Versuchsdauer immer hinterher. Aufgrund der Diskrepanz von temporärem Zweckinteresse des wirtschaftenden Menschen und der Langlebigkeit von Waldbeständen stellt die Waldwachstumsforschung Gesetzmäßigkeiten in den Mittelpunkt ihres Erkenntnisinteresses nach der Devise *“Waldbaurichtlinien vergehen – Wuchsgesetze bleiben bestehen”*. Ein gut dokumentiertes Netz langfristiger Versuchsflächen ermöglicht der Waldwachstumsforschung die Gewinnung verallgemeinerbarer Erkenntnisse, die Aufdeckung von Gesetzen und den systematischen Aufbau einer Theorie des Waldwachstums. Aus Gesetzen, Theorien und Modellen lassen sich dann Antworten auf neue Fragen deduzieren, auch auf solche, die noch nicht mit Versuchsanlagen abgedeckt sind. So gesehen wird die Kontinuität der Versuchsführung zum Schlüssel für Innovation. Nur eine solche Forschungsstrategie kann die Praxis nach hiesiger Auffassung nachhaltig und in akzeptablen Antwortzeiten mit Entscheidungsgrundlagen versorgen.

## **Langlebige Systeme erfordern langfristige Forschung**

Im Vergleich zu den meisten pflanzlichen und tierischen Organismen sind Bäume um mehrere 10er Potenzen langlebiger. Einzelne Forscher können aufgrund der vergleichsweise kurzen Dauer ihrer wissenschaftlichen Tätigkeit in der Regel nur einen Bruchteil der Lebensdauer von Bäumen oder Waldbeständen experimentell verfolgen. Wälder haben außerdem vielfältige Standortbedingungen und die daraus resultierende Vielfalt an Wachstumsgängen verbietet eine Verallgemeinerung der Resultate aus lokalen Einzeluntersuchungen.

Die lange Lebensdauer und standörtliche Vielfalt der Wälder führten bereits im 19. Jahrhundert immer wieder zur unreflektierten Übernahme und Anwendung vermeintlichen Erfahrungswissens. Aufgrund der langen Reaktionszeiten des Waldes auf Steuerungsmaßnahmen, wie beispielsweise auf die Wahl des Ausgangsverbandes und des Durchforstungsprogramms, konnten die Praktiker die langfristigen Konsequen-

zen ihrer Maßnahmen nur selten in vollem Umfang übersehen. Erfahrungen und Hypothesen waren also schon allein aufgrund der Zeitskala kaum zu widerlegen. Außerdem konnten lokal gewonnene Erfahrungen über das Waldwachstum aufgrund des regional begrenzten Tätigkeitsbereichs der Forstpraktiker selten anderenorts überprüft werden; der Praktiker neigte deshalb zur ungerechtfertigten Verallgemeinerung seines lokal gewonnenen Erfahrungswissens. Das Klischee, dass zehn waldbauliche Praktiker, werden sie mit einem Waldbild und einer waldbaulichen Aufgabenstellung konfrontiert, mindestens zehn unterschiedliche Meinungen über die bestmögliche Zielerreichung haben, resultierte aus dem beharrlichen Festhalten an vermeintlichem Erfahrungswissen. August VON GANGHOFER (1827 – 1900) – Königlich Bayrischer Forstbeamter und Begründer des Ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern – bemerkt dazu *“(...) der spezifische Praktiker sah jeden mit scheelem Auge an, der es wagte, eigene, in theoretischem Wissen begründete Ansichten zur Geltung zu bringen, und da und dort den dogmatisch von Generationen zu Generationen fortgetragenen Erfahrungsregeln den Krieg zu erklären. Hat ja doch manche Knasterbart seiner Zeit geringschätzig die Nase gerümpft, als G. L. Hartig in seinem, zuerst in Jahre 1791 erschienen Lehrbuche für Förster, die bis dahin als richtig anerkannten, aber besser gesagt, geglaubten waldbaulichen Regeln systematisch darzustellen gesucht hat.”*<sup>1</sup>

Angesichts der besonderen Systemeigenschaften von Waldbeständen entwarfen weitsichtige Forscherpersönlichkeiten wie u.a. Franz von Baur (1830 – 1897), Bernhard Danckelmann (1831 – 1901), Ernst Ebermayer (1829 – 1909), August von Ganghofer (1827 – 1900), Karl Gayer (1822 – 1907), Gustav Friedrich Heyer (1826 – 1883), Johann Friedrich Judeich (1828 – 1894) und Arthur von Seckendorff-Guden (1845 – 1886) in den 60er und 70er Jahren des 19. Jahrhunderts die fachliche und organisatorische Basis für eine Ertragsforschung in langfristigen Zeiträumen und weiträumigen Untersuchungsgebieten. Sie plädierten für eine systematische Untersuchung des Waldwachstums auf zahlenmäßiger Grundlage in langer Beobachtungszeiträumen und mit überregionaler Streuung der Versuchsanlagen und förderten die Etablierung von Forschungsinstitutionen, die einer solchen großen Forschungsaufgabe gewachsen waren. Ihr erklärtes Ziel war es, die bis dahin überwiegend aus Beobachtung und Erfahrungswissen entstandenen Lehrmeinungen durch nachvollziehbare Messungen auf langfristigen Versuchsflächen zu ergänzen bzw. zu ersetzen. Auf Betreiben der genannten Gründungsväter des Versuchswesens entstanden ab 1870 die ersten Forstlichen Versuchsanstalten u.a. in Baden, Preußen, Sachsen und Württemberg; die Gründung der Königlich Bayrischen Versuchsanstalt mit zunächst zwei Abteilungen geht auf das Jahr 1881 zurück. Diese und weitere gegründete Versuchsanstalten organisierten sich in den Folgejahren zum Verein Deutscher Forstlicher Versuchsanstalten, der eine Förderung des Forstlichen Versuchswesens u.a. durch standardisierte Versuchsanlagen und -aufnahmen, gemeinsame Auswertungen und Publikationen bewirkte. Aus dem Verein Deutscher Forstlicher Versuchsanstalten ging im Jahre 1892 der Internationale Verband Forstlicher Versuchsanstalten hervor. Die Initiatoren des Versuchswesens bereiteten damit die Gründung des Internationalen Verbandes Forstlicher Versuchsanstalten (IUFRO) im Jahre 1929 und des Deutschen Verbandes Forstlicher Versuchsanstalten im Jahre 1951 vor.<sup>2</sup>

Die spezifischen Systemeigenschaften von Wäldern erschweren ihre experimentelle Zugänglichkeit und erfordern eigene Versuchsmethoden, die in Zeit- und Raumskala über die Standardmethoden der Physik,

---

<sup>1</sup> GANGHOFER, V., 1877, S. I, II

<sup>2</sup> SCHÖBER, 1972, S. 221 f.

Medizin oder Landwirtschaft hinausgehen. Beginnend mit der Anlage der ersten langfristigen Versuchsflächen in den 60er und 70er Jahren des 19. Jahrhunderts hat das Forstliche Versuchswesen über nunmehr 140 Jahre ein spezifisches Methodenspektrum für die Versuchsplanung, -anlage und -steuerung entwickelt, ohne dass die Waldwachstumsforschung und die Versorgung der Forstwirtschaft mit gesichertem Wissen nicht möglich sind. Dass an zahlreichen forstlichen Landesanstalten bis in die Gegenwart das Ertragskundliche Versuchswesen die Traditionsabteilung bildet und noch häufig mit dem Forstlichen Versuchswesen begrifflich gleichgesetzt wird, resultiert aus dieser spezifischen Entstehungsgeschichte.

### **Kurze Geschichte des Ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern**

In Bayern nahm das Forstliche Versuchswesen dank August von Ganghofer – leitender Beamter der königlichen Forstverwaltung – und Franz von Baur – im Jahre 1878 berufener, erster Fachvertreter für Ertragskunde an der Universität München – seinen Anfang (Bildtafel 1). In den 70er Jahren des 19. Jahrhunderts begann dort, zeitgleich und in methodischer Abstimmung mit den Verantwortungsträgern in anderen Ländern, der systematische Aufbau des Ertragskundlichen Versuchsflächennetzes von dem noch heute, 130 Jahre nach Begründung, etliche Flächen unter Beobachtung stehen. Hierzu zählen die in klassischer Dreigliederung (A-, B- und C-Grad) konzipierten Buchen-Durchforstungsversuche Fabrikschleichach 15, Mittelsinn 25 und Hain 27, die im Herbst 1870 bzw. Frühjahr 1871 angelegt und seitdem rund 20-mal aufgenommen worden sind. Gegenwärtig etwa 170-jährig, sind sie beeindruckende Beispiele generationsübergreifender Experimente. Gerade die auf die Gründerjahre des Versuchswesens zurückgehenden Durchforstungs-, Ertrags- und Anbauversuche gehören heute zu den ganz wenigen Informationsquellen über die langfristige Bestandesentwicklung. Sie sind für die Deduktion forstwirtschaftlicher Beurteilungs- und Entscheidungshilfen, für die Diagnose von Wachstumstrends, die Ableitung von Standort-Leistungsbeziehungen, die Klimafolgenforschung oder schlichtweg als Musterflächen für die Lehre und Weiterbildung von unschätzbarem Wert und können auch noch der Beantwortung von Fragen dienen, die uns erst in der Zukunft gestellt werden.<sup>3</sup>

Das Netz langfristiger ertragskundlicher Versuchsflächen in Bayern umfasst gegenwärtig 161 Versuchsanlagen mit 954 Parzellen und 179 Hektar Messfläche (Stichtag 01.10.2001). Es wird seit seiner Gründung vom Lehrstuhl für Waldwachstumskunde in enger Abstimmung mit der Bayerischen Staatsforstverwaltung betreut und bildet das Kontinuum der Münchner Waldwachstumsforschung. Franz von Baur (1878 – 1897) und die ihm folgenden Fachvertreter Rudolf Weber (1897 – 1905), Vincenz Schüpfer (1905 – 1937), Karl Vanselow (1937 – 1951), Ernst Assmann (1951 – 1972) und Friedrich Franz (1973 – 1993) haben großen Erkenntnisgewinn und forstpraktischen Nutzen aus den langfristigen Versuchsflächen geschöpft. Bei aller Individualität in ihrer wissenschaftlichen Ausrichtung haben sie das Versuchs- und Aufnahmeprogramm auf bestehenden Flächen konsequent weitergeführt und erweitert, neue Auswertungsmethoden entwickelt und das Flächennetz um Experimente zu neu aufkommenden Fragestellungen ergänzt. Der Erstautor des Beitrags, der das ertragskundliche Versuchsflächennetz

---

<sup>3</sup> FRANZ, 1972, S. 230 f.; FRANZ, 1990, S. 1 ff.



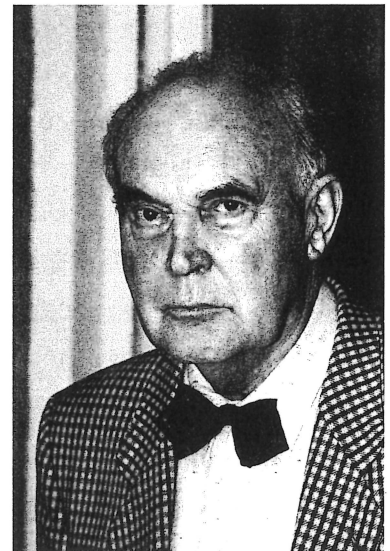
August von Ganghofer  
\*1827 †1900



Franz von Baur  
\*1830 †1897



Ernst Assmann  
\*1903 †1979



Friedrich Franz  
\*1927

Bildtafel 1: Gründer und Forscherpersönlichkeiten des Forstlichen Versuchswesens in Bayern.  
Fotos: Archiv des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München.

in Bayern 1994 übernommen hat, stellt sich in diese Tradition durch eine konsequente Erweiterung des Flächennetzes in Mischbeständen, Neuanlagen u.a. zu Kirsche, Walnuss, Erle, durch Entwicklung neuer Methoden der Versuchsanlage und -auswertung und durch Einführung einzelbaumorientierter Wachstumsmodelle, welche die gesammelten Versuchsflächendaten bestmöglich ausschöpfen und für die Praxis nutzbar machen. Neben den hier angesprochenen langfristigen Versuchsflächen verfügt das Ertragskundliche Versuchswesen über ein Netzwerk von mehreren hundert temporären Weiser- und Probeflächen zur Erfassung des Waldwachstums unter Einwirkung von Störfaktoren, wie u.a. Immissionen, Insektenkalamitäten und Standortveränderungen durch Schürf- oder Baumaßnahmen.

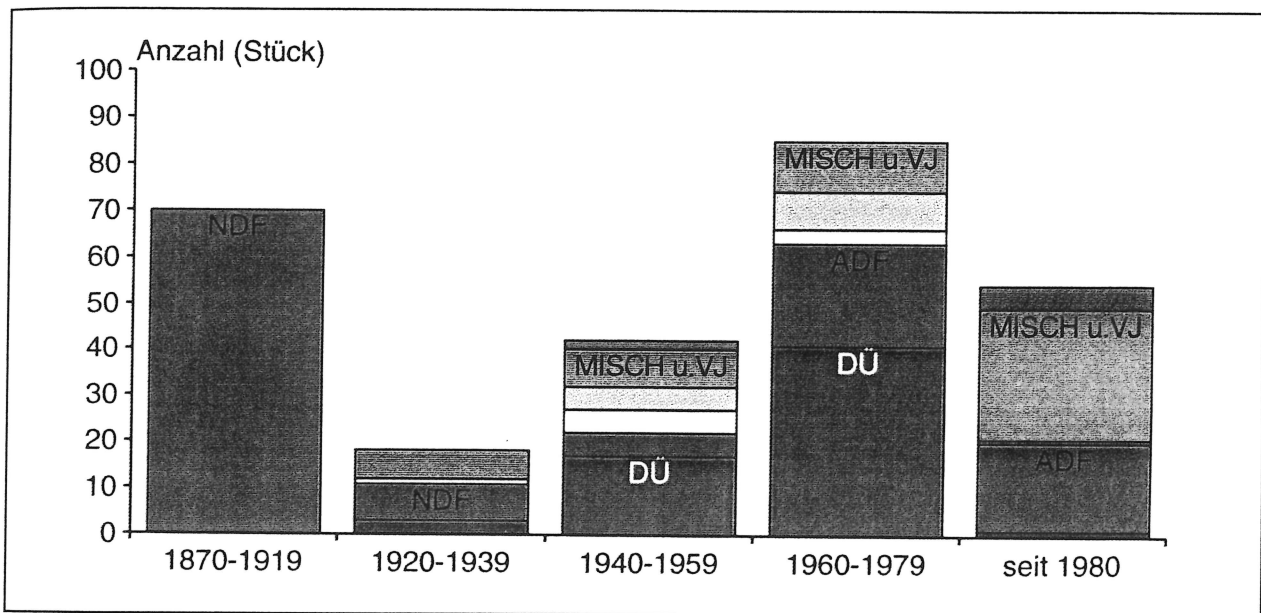


Abb. 1: Übersicht über die Neuanlage langfristiger Versuchsflächen seit 1870 (Stand: 01.10.2001). Versuche zu den Themen "Durchforstung" (NDF = Nieder-, ADF = Auslesedurchforstung) sind rot, "Düngung" (DÜ) blau, "Anbau und Provenienz" weiß, "Störfaktoren" ockerfarben, "Mischwald und Verjüngung" (MISCH u. VJ) grün und "Naturwaldmonitoring" braun dargestellt.

Abb. 1 zeigt die klare Orientierung von Versuchsneuanlagen an den jeweils vorherrschenden Interessen der Forstwirtschaft. In der Gründerzeit des Ertragskundlichen Versuchswesens (1870 – 1919) standen Niederdurchforstungsversuche in Reinbeständen (NDF) im Vordergrund. Sie gaben Aufschluss über die Wachstumsreaktionen auf unterschiedlich starke, vom dünnen Ende der Durchmesservertelung ausgehende Eingriffe und mündeten in die bis heute verbreiteten Ertragstafeln. Es deutet sich dann eine Konjunktur von Düngungs- (DÜ), Anbau- und Provenienzversuchen an. Sie stellen die Bestrebungen, die Ergebnisse der Forstwirtschaft durch Düngung, Einführung neuer Baumarten und Auswahl bestgeeigneter Herkünfte zu steigern, auf eine quantitative Grundlage (1920 – 1979). Mit der in dieser Zeit prosperierenden Volkswirtschaft stieg die Einflussnahme des Menschen auf den Wald u.a. durch Trassenaufhiebe und Grundwasserabsenkungen an. Im Rahmen von Beweissicherungsverfahren wurden in dieser Zeit zahlreiche Versuche zur Diagnose von Störfaktoren angelegt. Bei den seit 1940 neu hinzukommenden Durchforstungsversuchen handelt es sich überwiegend um Hoch- oder Auslesedurchforstungsversuche (ADF), bei denen durch

Eingriffe vom starken Ende der Durchmesserverteilung aus, der Idee von Schädelin folgend, eine mehr oder minder große Zahl guter Zuwachsträger gefördert wird. Seit Mitte des zurückliegenden Jahrhunderts, nach zahlreichen Rückschlägen in der Reinbestandswirtschaft und Übergang zu einem breiteren Verständnis der Nachhaltigkeitsidee, rückten seit 1960 mehr und mehr die Mischbestände in den Vordergrund des Interesses. Ab Mitte der 90er Jahre des vergangenen Jahrhunderts haben die Autoren mit wirkungsvoller Unterstützung der Bayerischen Staatsforstverwaltung durch zahlreiche Neuanlagen von Mischbestands-, Dauerwald- und Verjüngungsversuchen (MISCH u. VJ) eine neue Schwerpunktsetzung des Ertragskundlichen Versuchswesens eingeleitet, die auf eine Erfassung aller wichtigen Mischbestandstypen in Bayern zielt.

### Von Niederdurchforstungsversuchen bis zum Naturwaldmonitoring

Die auf Kontinuität setzende Forschungsstrategie des Ertragskundlichen Versuchswesens kommt dadurch zum Ausdruck, dass die überwiegende Zahl der Versuchsneuanlagen weit über die begrenzten Interessensperioden der Praxis hinaus unter Beobachtung gehalten wurden. Das spiegelt der gegenwärtige Aufbau des Netzes langfristiger Versuchsflächen in Bayern wider (Abb. 2):

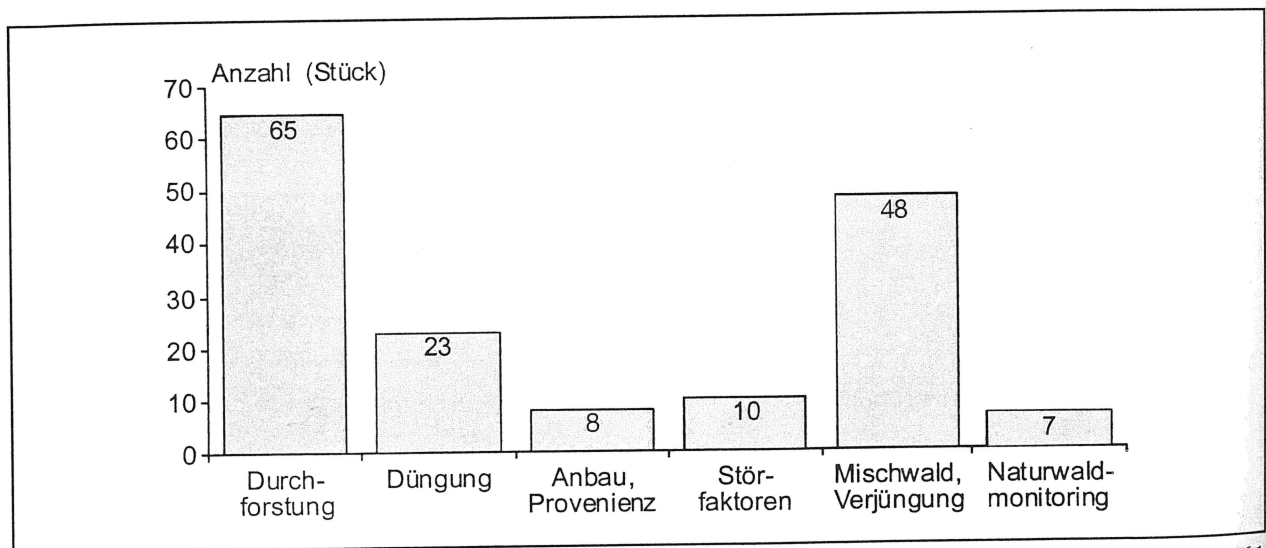


Abb. 2: Das Netz langfristiger ertragskundlicher Versuchsflächen in Bayern umfasst gegenwärtig 161 Versuchsanlagen mit 968 Parzellen und eine Messfläche von 179 Hektar. Untersucht werden Durchforstung, Düngung, Anbauwürdigkeit und Provenienz heimischer und fremdländischer Baumarten, Wachstumsreaktionen auf Störfaktoren (Grundwasserabsenkung, Trassenauftrieb, Streusalzausbringung), Baumartenmischung und Verjüngung sowie die ungesteuerte Bestandesentwicklung in Naturwäldern (Stand: 01.10.2001). Innerhalb der Säulen ist die Anzahl von Versuchsflächen der jeweiligen Versuchsart aufgeführt.

Durchforstungsversuche verfolgen die Wachstumsreaktionen auf Durchforstungseingriffe unterschiedlicher Art, Stärke und Intensität (Bildtafeln 2 u. 3):



Bild 2a



Bild 2b

Bildtafel 2: Der Versuch Weissenburg 613 zeigt die Wachstumsreaktion der Baumart Fichte bei spät beginnender Durchforstung. Der Ersteingriff erfolgte im Alter von 50 Jahren (1975).

(a) Die Nullparzelle (Aufnahme 1996: Alter 74 Jahre, Stammzahl 1.044 Bäume/ha, Vorrat 761 VfmS/ha, jährlicher Volumenzuwachs 25,7 VfmS/ha, Durchmesser der 100 stärksten Bäume/ha 41,9 cm) zeigt die maximale Dichte in mittelalten Fichtenbeständen auf. Eindrucksvoll ist die Akkumulation von großen Totholzmassen, wenn eine Holzernte unterbleibt.

(b) Die starke Auslesedurchforstung (Aufnahme 1996: Alter 74 Jahre, Stammzahl 611 Bäume/ha, Vorrat 644 VfmS/ha, jährlicher Volumenzuwachs 26,1 VfmS/ha, Durchmesser der 100 stärksten Bäume/ha 46,5 cm) zeigt, dass bei starker Durchforstung die Durchmesserentwicklung der verbleibenden Bäume gesteigert werden kann.

Fotos: Leonhard Steinacker



Bild 3a



Bild 3b

Bildtafel 3: Der Durchforstungsversuch Weiden 611 wurde 1974 mit insgesamt 24 Parzellen und 8 verschiedenen Pflanzverbänden verwirklicht und zeigt den Einfluss von Pflanzverband und Durchforstung auf die Durchmesser- und Qualitätsentwicklung der Kiefer.

(a) Pflanzverband 1,25 x 0,4 m mit 20.000 Bäumen/ha (Parzelle 16). Ertragskundliche Befunde im Alter von 27 Jahren (1997) nach zweimaliger Förderung (1992, 1997) von 300 Z-Bäumen durch Entnahme von 1 – 2 Bedrängern: Stammzahl 6.019 Bäume/ha, Vorrat 81 VfmS/ha, jährlicher Volumenzuwachs 8,7 VfmS/ha, Durchmesser der 100 stärksten Bäume/ha 11,2 cm.

(b) Pflanzverband 2,5 x 1,6 m mit 2.500 Bäume/ha (Parzelle 8). Ertragskundliche Befunde im Alter von 27 Jahren (1997) nach zweimaliger Förderung (1992, 1997) von 300 Z-Bäumen durch Entnahme von 2 – 3 Bedrängern: Stammzahl 875 Bäume/ha, Vorrat 83 VfmS/ha, jährlicher Volumenzuwachs 7,4 VfmS/ha, Durchmesser der 100 stärksten Bäume/ha 17,1 cm.



Zu den insgesamt 65 Durchforstungsversuchen (344 Parzellen) zählen zum einen die klassischen Anlagen, mit denen das Ertragskundliche Versuchswesen im 19. Jahrhundert seinen Anfang nahm. Sie prüfen die Wirkung schwacher, mäßiger und starker Niederdurchforstung auf den quantitativen und qualitativen Ertrag von Waldbeständen, indem sie diese drei Behandlungsvarianten über das gesamte Bestandesleben messtechnisch verfolgen. Neuere Durchforstungsversuche decken zumeist ein breiteres Spektrum von waldbaulichen Behandlungsalternativen ab, darunter auch in der Praxis nicht übliche Varianten, z.B. unbehandelte Referenzflächen oder Solitär-Varianten, die für die Ableitung verallgemeinerbarer Aussagen besonders wertvoll sind.<sup>4</sup>

Düngungsversuche (23 Versuche, 195 Parzellen) streben Gesetzmäßigkeiten zwischen Art, Menge und Turnus von Düngungen und dem mit ihnen erzielten Ertrag an. Als Referenz dienen dabei unbehandelte Parzellen der Versuchsanlage. Die Mehrzahl der mitteleuropäischen Düngungsversuche geht auf die 60er und 70er Jahre zurück.

Angesichts der sich abzeichnenden Klimaveränderungen im mitteleuropäischen Raum gewinnen die im 20. Jahrhundert entstandenen Anbau- und Provenienzversuche (8 Versuche, 175 Parzellen) neue Aktualität.

Anbauversuche erproben die forstwirtschaftliche Anbauwürdigkeit heimischer und fremdländischer Baumarten. Kriterien für die Anbauwürdigkeit sind in erster Linie qualitative und quantitative Ertragsleistung (Holzqualität bzw. Volumenleistung) und Resistenzeigenschaften (Widerstandsfähigkeit gegenüber biotischen und abiotischen Schäden). So erbrachten z.B. orientierende Anbauversuche zur Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.FRANCO)) im 19. Jahrhundert überwiegend positive Resultate, sodass dann Provenienz-, Durchforstungs- und Düngungsversuche zu dieser Baumart folgten.

Provenienzversuche quantifizieren Wachstum, Qualität und Widerstandsfähigkeit verschiedener Herkünfte unter verschiedenen Standortbedingungen (Bildtafel 4):

Sie zielen auf Detailwissen über die Anbauwürdigkeit verschiedener Herkünfte forstwirtschaftlich interessanter Arten. Zu diesem Zweck werden verschiedene Provenienzen heimischer, insbesondere aber auch fremdländischer Baumarten in einem breiten Spektrum von Standortbedingungen langfristig beobachtet. Es wird dann erkennbar, welche Provenienzen für die jeweiligen Standortbedingungen besonders geeignet sind und welche über das Standortspektrum hinweg einen stabilen quantitativen und qualitativen Ertrag erwarten lassen.

Versuche zur Diagnose von Störfaktoren (10 Versuche, 29 Parzellen) zielen auf den Nachweis und die Quantifizierung des Effektes von Störeinflüssen (z.B. Grundwasserabsenkung, Rauchschaden, Streusalzbelastung, Trassenauflieb) auf das Waldwachstum. Da die Störungseinflüsse in der Regel nicht aktiv eingestellt werden, positioniert man die Parzellen einer Versuchsanlage so, dass sie verschiedene Faktorstufen (z.B. unterschiedliche Schwefelbelastungen oder Eintragsraten von Streusalz) repräsentieren.

---

<sup>4</sup> UTSCHIG, 1992, S. 117 f.

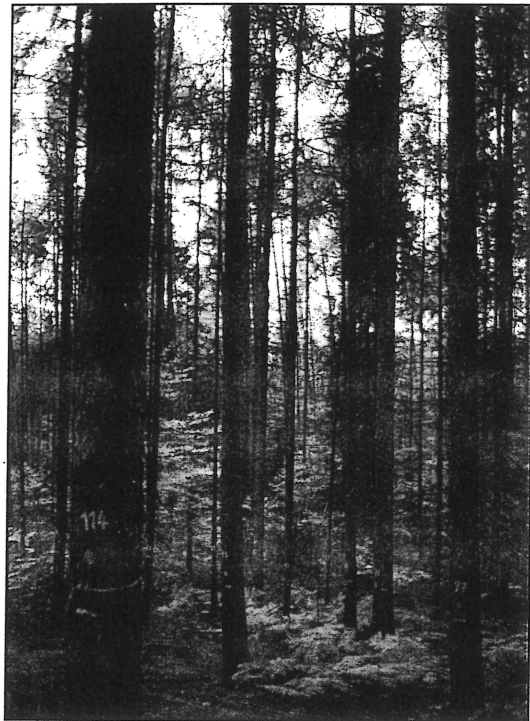


Bild 4a

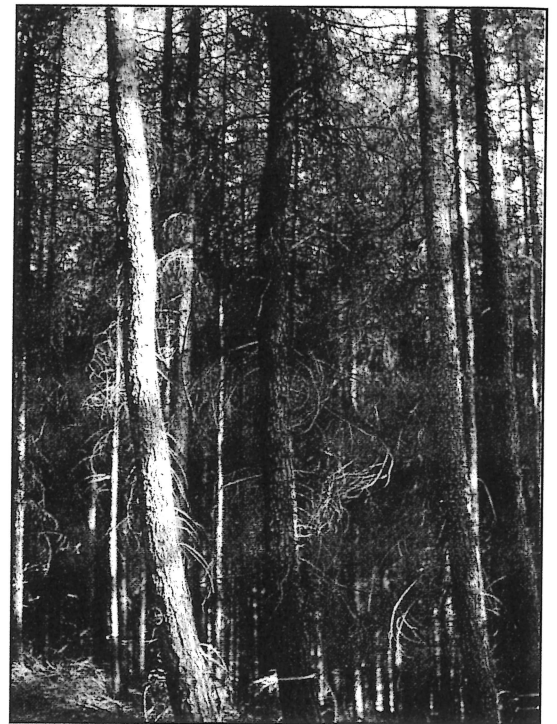


Bild 4b

Bildtafel 4: Lärchen-Provenienzversuch Rothenbuch 334 mit 13 europäischen und einer japanische Lärchenherkunft im Alter von 40 Jahren. Die Standortsrassen aus den Alpen, Karpaten, Pole und Sudeten zeigen, dass sich die aus forstlicher Sicht ideale Kombination von bester Leistung mit bester Qualität in diesen Beständen derzeit nicht finden lässt.

(a) Die Herkunft Semmering (Nördliche Alpenzwischenzone/Österreich) weist mit einem jährlichen Volumenzuwachs von 9 VfmS/ha nur mäßige Leistung aber mit 54 % einen erhebliche Anteil gerader Schäfte auf.

(b) Demgegenüber besitzt die Provenienz Mala Wies (Warschauer Ebene/Polen) mit einer jährlichen Volumenzuwachs von 27 VfmS/ha das aktuell höchste Zuwachsniveau aber keine Anteil gerader Schäfte.

Fotos: Leonhard Steinacker

Besondere Aktualität besitzen die gegenwärtig 49 Mischbestands- und Verjüngungsversuche mit 194 Parzellen (Bildtafeln 5 – 7):

Mischbestandsversuche zielen auf die Quantifizierung der Wechselwirkungen zwischen vergesellschafteter Baumarten. Auf den Versuchspartellen wird der Effekt verschiedener Mischungsanteile und räumliche Mischungsstrukturen auf die Baum- und Bestandesentwicklung erfasst. In Bergmischwäldern oder Plenterwäldern können solche Mischungseffekte bestmöglich auf der Grundlage der Baumkoordinaten einzelbaumweiser Wiederholungsmessung von Stamm- und Kronendimensionen und einer Dokumentation der Absterbeprozesse analysiert werden.



Bild 5a



Bild 5b

Bildtafel 5: Verjüngungsversuch Ebrach 133 und Bergmischwaldversuch Rohrmoos 107.

(a) Im Versuch Ebrach 133 wird die Reaktion der langfristigen Verjüngung von Eiche und Buche unter Schirm erfasst. Der hier gezeigte Ausschnitt aus der Parzelle 5 (Aufnahme 1999: Alter 159 Jahre, Stammzahl 254 Bäume/ha, Vorrat 414 VfmD/ha, jährlicher Volumenzuwachs 4,7 VfmD/ha) zeigt die strukturierte und gemischte Verjüngung in der Startphase des Verjüngungsganges. Der Bestandesvorrat ist noch sehr hoch, die Verjüngung etabliert sich erst langsam in Femellücken.

(b) Verjüngungsversuch Rohrmoos 107 in den Allgäuer Alpen. Der seit 1952 beobachtete, im Mittel über 160-jährige Bergmischwald befindet sich in einer Höhenlage von 1.120 m über NN. Obwohl 1992 etwa 84 % der Fläche überschirmt sind – die Hälfte davon sogar zwei- und mehrfach – wurden 14.500 Verjüngungspflanzen/ha gezählt, die sich zu 14 % aus Fichte, zu 12 % aus Tanne und zu 74 % aus Buchen und sonstigem Laubholz zusammensetzen.

Fotos: Leonhard Steinacker



Bildtafel 6: Plenterwald-Versuch Freyung 129 im Kreuzberger Gemeindewald. Obwohl die Teilparzelle 3.2 mit 660 VfmD/ha "*vorratsreich*" ist, 504 Derbholzstämme/ha trägt und einen jährlichen Volumenzuwachs von 11,4 VfmD/ha leistet, lassen sich in der Verjüngung (Durchmesserbereich bis Derbholzgrenze) 37.800 Pflanzen/ha finden, davon 70 % Fichte, 7 % Tanne und 23 % Buche.

Verjüngungsversuche prüfen die Wirkung definierter Bestandesstrukturen (z.B. Überschirmungsgrad, Mischungsanteile, Bestockungsgrad) auf das Ankommen, die Entwicklung sowie den qualitativen und quantitativen Ertrag der Verjüngung. Auf Freiflächen oder unter einem Altholzschirm, der mehr oder weniger stark aufgelichtet ist, werden natürliche oder künstlich eingebrachte Verjüngungspflanzen in ihrer Entwicklung verfolgt und gegebenenfalls durch Eingriffe in den Altholzschirm gesteuert.

Unter Naturwaldmonitoring verstehen wir kontinuierlich wiederkehrende Erhebungen langfristiger Zustandsänderungen, die schon allein wegen des größeren Messaufwandes ohne Anspruch auf Repräsentativität ausgeführt werden. Das Ertragskundliche Versuchswesen betreibt ein solches Monitoring in Naturwaldreservaten, Urwäldern oder Nationalparks (7 Anlagen mit 17 Parzellen). Solche Parzellen vermitteln Struktur- und Wachstumsmerkmale sowie Mortalitätsprozesse bei Ablauf der natürlichen Bestandesdynamik. Die gefundenen Alter, Dimensionsgrößen und Entwicklungsgänge von Einzelbäumen, natürlichen Bestandesdichten und intra- wie interspezifischen Nachbarschafts- und Konkurrenzbeziehungen bilden wichtige Referenzdaten für Forstwissenschaft und Forstwirtschaft.



Bild 7a



Bild 7b

Bildtafel 7: Ausschnitt aus der Buchen-Eichen-Wuchsreihe Kelheim 804 zur Erfassung der Wuchsdynamik in Buchen-Eichen-Mischbeständen. Die gewonnenen Daten liefern wichtige Eingangsgrößen für die Konstruktion von Wuchsmodellen für die Baumarten Buche und Eiche.

(a) Das Bild zeigt einen Bestandesausschnitt aus Parzelle 4 (Aufnahme 1997: Alter 66 Jahre, Stammzahl 1.380 Bäume/ha (Oberstand Buche 190 und Eiche 418 Bäume/ha), Vorrat 404 VfmD/ha, jährlicher Volumenzuwachs 18,3 VfmD/ha). Auf dieser Parzelle stehen die beiden Baumarten in starker Konkurrenz (Durchmesser der 100 stärksten Stämme/ha bei Buche 38,2 cm und bei Eiche 30,6 cm).

(b) Parzelle 7 repräsentiert einen reifen Buchen-Eichen-Bestand (Aufnahme 1997: Alter 146 Jahre, Stammzahl 549 Bäume/ha (Oberstand Buche 137 und Eiche 161 Bäume/ha), Vorrat 687 VfmD/ha, jährlicher Volumenzuwachs 12,6 VfmD/ha). Der Buchenoberstand hat sich aus dem Buchenunterstand heraus entwickelt und wird erst jetzt zu einer Konkurrenz für die herrschenden Eichen (Durchmesser der 100 stärksten Stämme/ha bei Buche 37,4 cm und bei Eiche 60,9 cm). Fotos: Leonhard Steinacker

## Wechselwirkungen zwischen Versuchswesen und Praxis

Abbildung 3 verdeutlicht die Wechselwirkungen zwischen Versuchswesen und Praxis. Das Ertragskundliche Versuchswesen greift Fragen und Themen der Praxis auf. Es versorgt die Praxis über deskriptive Auswertung von Experimenten mit Soll-Ist-Aussagen. Bei einem solchen Vorgehen sind Aussagen über das Wachstum nur für solche Faktorstufen (z.B. Durchforstungsvarianten oder Standortbedingungen) möglich, die von der Versuchsanlage abgedeckt und experimentell geprüft werden. Geht dem Versuchswesen aber eine Verallgemeinerung seiner Befunde, so werden darüber hinaus Wenn-Dann-Aussagen, Prognosen und Szenarien möglich. Ein solcher Übergang von der Deskription zu Abstraktion ist dann gegeben, wenn beispielsweise die Gesetzmäßigkeiten zwischen Durchforstung und Zuwachs, Standort und Leistung oder die Interaktion der Baumarten im Mischbestand aufgedeckt werden. Somit lassen sich Aussagen über die zu vermutenden Wachstumsreaktionen auf waldbauliche Eingriffe und Standortänderungen oder über die Wachstumsverläufe bei unterschiedlichen Mischungsstrukturen treffen, auch wenn diese nicht mit Probenahmen abgedeckt sind.<sup>5</sup>

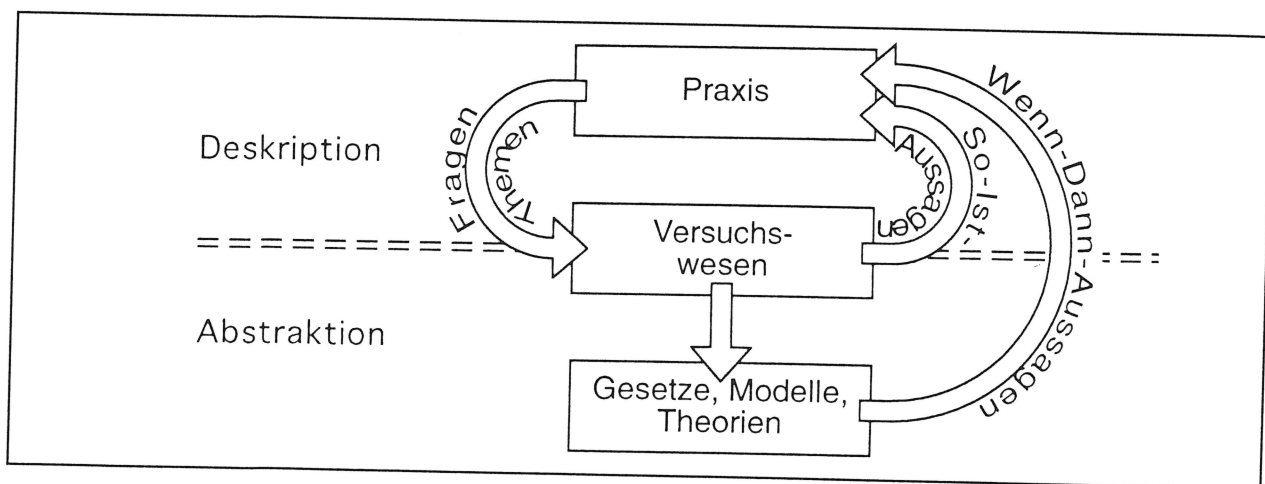


Abb. 3: Wechselwirkung zwischen Ertragskundlichem Versuchswesen und Praxis.

Vor großflächigem Anbau einer neuen Sorte von Sonnenblumen, Raps oder Mais kann deren Wachstum und Behandlung kurzfristig experimentell geprüft werden. Diese Vorgehensweise ist bei Waldbeständen, etwa zur Analyse waldbaulicher Behandlungsprogramme, aufgrund der langen Zeiträume in der Regel nicht möglich; nach Abschluss solcher langwieriger Prüfungen wären die Behandlungsmodelle vermutlich bereits wieder veraltet oder vergessen. Beschränken sich Untersuchungen aber auf einen nur kurzen Abschnitt der Bestandesentwicklung oder auf spezifische Standortbedingungen, so besteht die Gefahr voreiliger Schlüsse und unzulässiger Verallgemeinerungen.

Ein wohl ewig aktuelles Beispiel bildet der durch temporäre Untersuchungen genährte Glaube an eine beliebig oft wiederholbare Wuchsbeschleunigung durch früh einsetzende, starke Durchforstungseingriffe. Allein ein kurzer Blick auf das Gesetz des abnehmenden Grenznutzens von MITSCHERLICH<sup>6</sup>, das auch zwischen dem Standraumangebot eines Baumes und seinem Stammzuwachs besteht, zeigt, dass zwar eine erste Standraumerweiterung (1. Eingriff) den bekannten Zuwachseffekt auslöst, dieser Zuwachseffekt mit jedem folgenden Eingriff (2. Eingriff usw.) aber geringer wird (Abb. 4a):

<sup>5</sup> PRETZSCH, 2002

<sup>6</sup> MITSCHERLICH, 1948

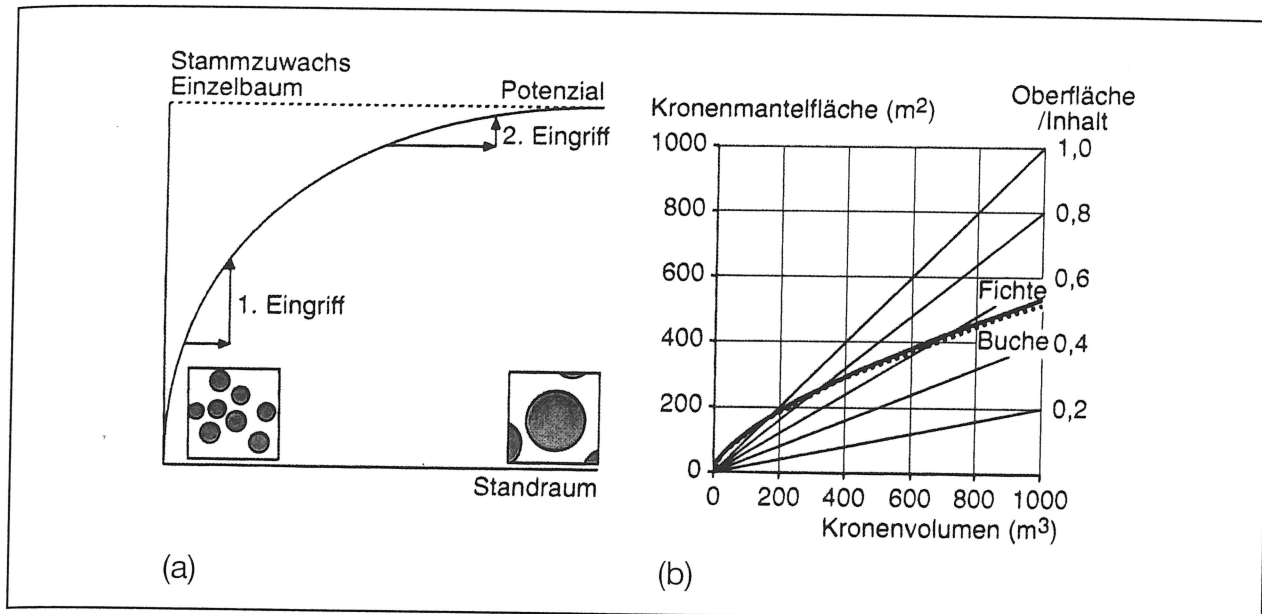


Abb. 4: Gesetzmäßigkeiten des Wachstums von Einzelbäumen in schematischer Darstellung.  
 (a) Abnehmender Grenznutzen hinsichtlich des Zuwachses bei zunehmendem Standflächenangebot.  
 (b) Gesetzmäßige Abnahme des Verhältnisses zwischen Kronenoberfläche und Kroneninhalt mit der Zunahme der Kronengröße von Fichte und Buche.

Der Grenznutzen der Freistellung nimmt also ab. Plausibel macht das die Oberflächen-Inhalt-Regel von RUBNER<sup>7</sup>, nach welcher die Assimilation (Aufbaukomponente) proportional zur Oberfläche und die Respiration (Abbaukomponente) proportional zum Volumen eines Organismus erfolgt. Da das Oberflächen-Inhalt-Verhältnis von Bäumen und Baumkronen mit zunehmendem Alter aber ungünstiger wird, geht auch ihr Zuwachs zurück (Abb. 4b). Ein solcher Zuwachsrückgang wird aber auch durch eine Durchforstung ausgelöst, denn der ihr folgende Mehrzuwachs erbringt eine Verminderung des Oberflächen-Inhalt-Verhältnisses, sie löst quasi eine allometrische Alterung aus, die das Reaktionsvermögen des Baumes bei künftigen Begünstigungen allein aufgrund des verminderten Oberflächen-Inhalt-Verhältnisses eng begrenzt. Der in temporären Versuchen beobachtete Durchforstungseffekt darf also nicht prolongiert werden, vielmehr leitet er eine raschere allometrische Alterung der betroffenen Bäume ein (Strohfeuer-Effekt), die ihre künftige Reaktionsfähigkeit eng begrenzt (Abb. 5). Weniger starke oder nicht geförderte Bäume folgen ihrem eigenen Altersrhythmus und werden im Zuwachs in der Folgezeit überlegen sein. Damit soll nicht die Sinnhaftigkeit starker Eingriffe infrage gestellt, vielmehr auf ihre in Niveau und Dauer eng begrenzte Beschleunigungswirkung hingewiesen werden. Der häufig übertriebene Optimismus bezüglich der Wirkung starker waldbaulicher Eingriffe wird weiter durch die zunehmend abgesicherte Regel von HERMS und MATTSON gedämpft.<sup>8</sup> Dieser zufolge besteht ein Widerstreit zwischen Wachstum und Abwehr (Abb. 6). Wird das Wachstum merklich gefördert, so sinkt die Abwehrfähigkeit gegenüber Kalamitäten und vice versa. Demnach vermeiden mäßige Eingriffe gegenüber starken nicht nur den Strohfeuer-Effekt der Durchforstungsreaktion und die Risikokonzentration, sondern sie gewährleisten auch ein Austarieren zwischen Wachstum und Abwehr.

<sup>7</sup> RUBNER, 1931

<sup>8</sup> HERMS, MATTSON, 1992, S. 283 ff.

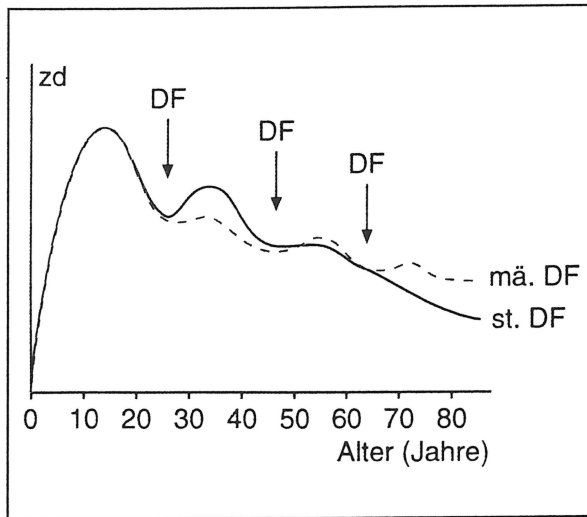


Abb. 5: Strohfeuer-Effekt von starken Durchforstungseingriffen in schematischer Darstellung. Bei mehrfacher starker Durchforstung nimmt die Durchforstungsreaktion infolge beschleunigter allometrischer Alterung ab. Die mäßige Durchforstung wird ab dem Alter 60 im Durchmesserzuwachs überlegen.

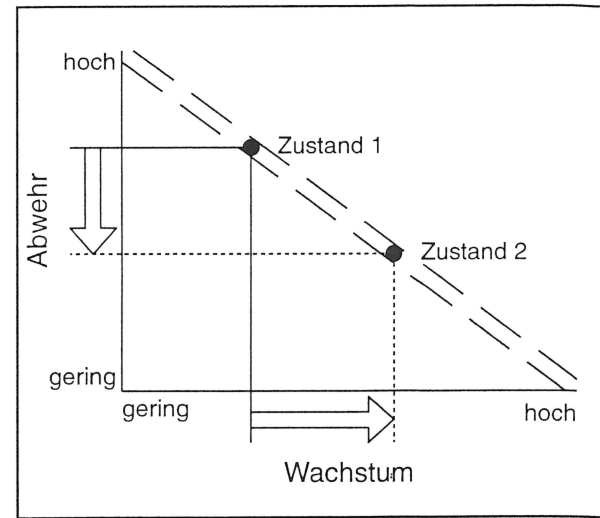


Abb. 6: Kompromiss zwischen Wachstum und Abwehr in schematischer Darstellung (verändert nach HERMS und MATTSON, 1992). Die eingezeichnete Diagonale gibt den Zustandsraum eines Baumes hinsichtlich der Investition in Wachstum oder Abwehr vor. Zustand 1 zeichnet sich durch ein eher geringes Wachstum und hohe Abwehrfähigkeit aus. Ein Übergang zu Zustand 2 erhöht zwar das Wachstum, senkt aber gleichzeitig die Abwehrfähigkeit.

Langfristige Versuchsflächen fungieren ferner als ultimative Schiedsrichter im Ringen zwischen „waldbaulichem Glauben“ und „waldwachstumkundlichem Wissen“. Sie tragen zur systematischen Aufdeckung und Konsolidierung von Gesetzmäßigkeiten bei und können verhindern, dass der Waldbau zur Klärung aktueller Fragen immer wieder bei Null beginnt. Beispielsweise wird der bereits von ASSMANN<sup>9</sup> zutreffend als Optimumkurve beschriebene Zusammenhang zwischen Bestandesdichte und Wachstum durch neuere kurzfristig angelegte Untersuchungen in Frage gestellt<sup>10, 11, 12</sup>. Abbildung 7 verdeutlicht für 26 Fichten- und 30 Buchenversuche, die seit der Gründerzeit des Ertragskundlichen Versuchswesens konsequent nach den Vorschriften für den A-, B- und C-Grad<sup>13</sup> behandelt werden, also für einen einzigartigen Datensatz, die Gesamtwuchsleistung in verschiedenen Altersphasen. Dargestellt ist die mittlere Gesamtwuchsleistung über alle B- bzw. C-Grad-Parzellen in der Relation zum A-Grad (= 100 Prozent). Demnach vollzieht sich maximales Wachstum, entgegen herrschender Lehrmeinung<sup>14, 12</sup>, nicht bei maximaler Dichte, also nicht in solchen Beständen, die der Selbstdifferenzierung überlassen sind. Bemerkenswert ist, dass die Gesamtwuchsleistung beim Übergang vom A- zum B-Grad in allen Fällen um 5 – 10 % ansteigt. Dieser Anstieg ist in mittlerem Alter stärker als in höherem. Beim Übergang vom B- zum C-Grad stellen wir eine Abnahme der Gesamtwuchsleistung fest; auf der Mehrzahl der Versuchsflächen

<sup>9</sup> ASSMANN, 1953, S. 69-101; 1956, S. 257-265; 1961

<sup>10</sup> CURTIS et al., 1997, S. 19-25

<sup>11</sup> SMITH et al., 1997

<sup>12</sup> ZEIDE, 2001, S. 20-25

<sup>13</sup> VEREIN DEUTSCHER FORSTLICHER VERSUCHSANSTALTEN, 1902, S. 180-184

<sup>14</sup> HARPER, 1977



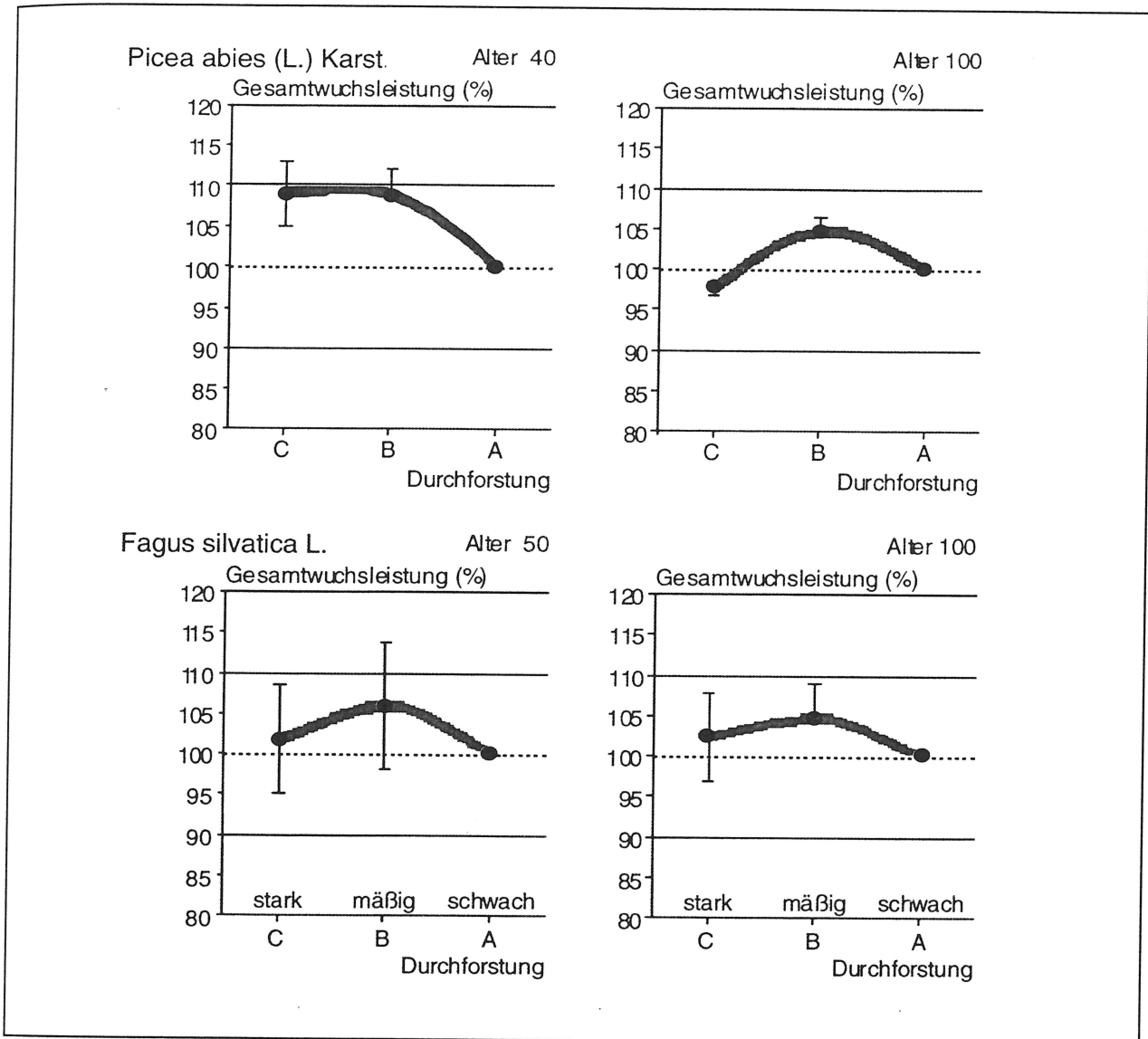


Abb. 7: Gesamtwuchsleistung langfristiger Fichten- und Buchen-Versuchsflächen in Abhängigkeit vom Durchforstungsgrad in mittlerem und höherem Alter. Mäßige und starke Entnahmen können die Gesamtwuchsleistung gegenüber unbehandelten Beständen (= 100 Prozent) signifikant erhöhen.

liegt die Gesamtwuchsleistung beim C-Grad aber immer noch höher als beim A-Grad. Die eingetragenen Balken für den einfachen Standardfehler weisen für den B-Grad überwiegend signifikante Unterschiede vom A-Grad (= 100 %-Wert) nach. Der Zusammenhang zwischen Dichte und Wachstum stellt sich also als Optimumkurve dar; die Annäherung an maximale Dichte ist mit durchschnittlichen Wachstumseinschränkungen von 5–10% verbunden. In absoluten Werten ist das gleichbedeutend mit Ertragseinbußen von 80 bis 160 Vfm pro Hektar bei der Fichte und von 30 bis 60 Vfm pro Hektar bei der Buche.

Diese und weitere Gesetze sind unverzichtbares Basiswissen für einen verantwortungsvollen Umgang mit dem Wald. Sie erlauben der forstwirtschaftlichen Praxis u.a. eine Beurteilung der Zuwachsreaktion auf Düngung oder Durchforstung oder eine Abschätzung der Bestandesentwicklung ohne aktive Eingriffe. Sie bilden außerdem das Rückgrat von Ertragstafeln, managementorientierten Einzelbaummodellen und ökophysiologischen Prozessmodellen. Durch ihre Integration in Modelle werden Wuchsgesetze für die Entscheidungsunterstützung der Praxis nutzbar gemacht.<sup>15</sup> Ein Beispiel dafür ist die Beurteilung der Auswirkungen unterschiedlicher Behandlungskonzepte auf das Wachstum der Fichte im Vorallgäu (Wuchsbezirk 13.4, Abb. 8):

<sup>15</sup> PRETZSCH, 2001

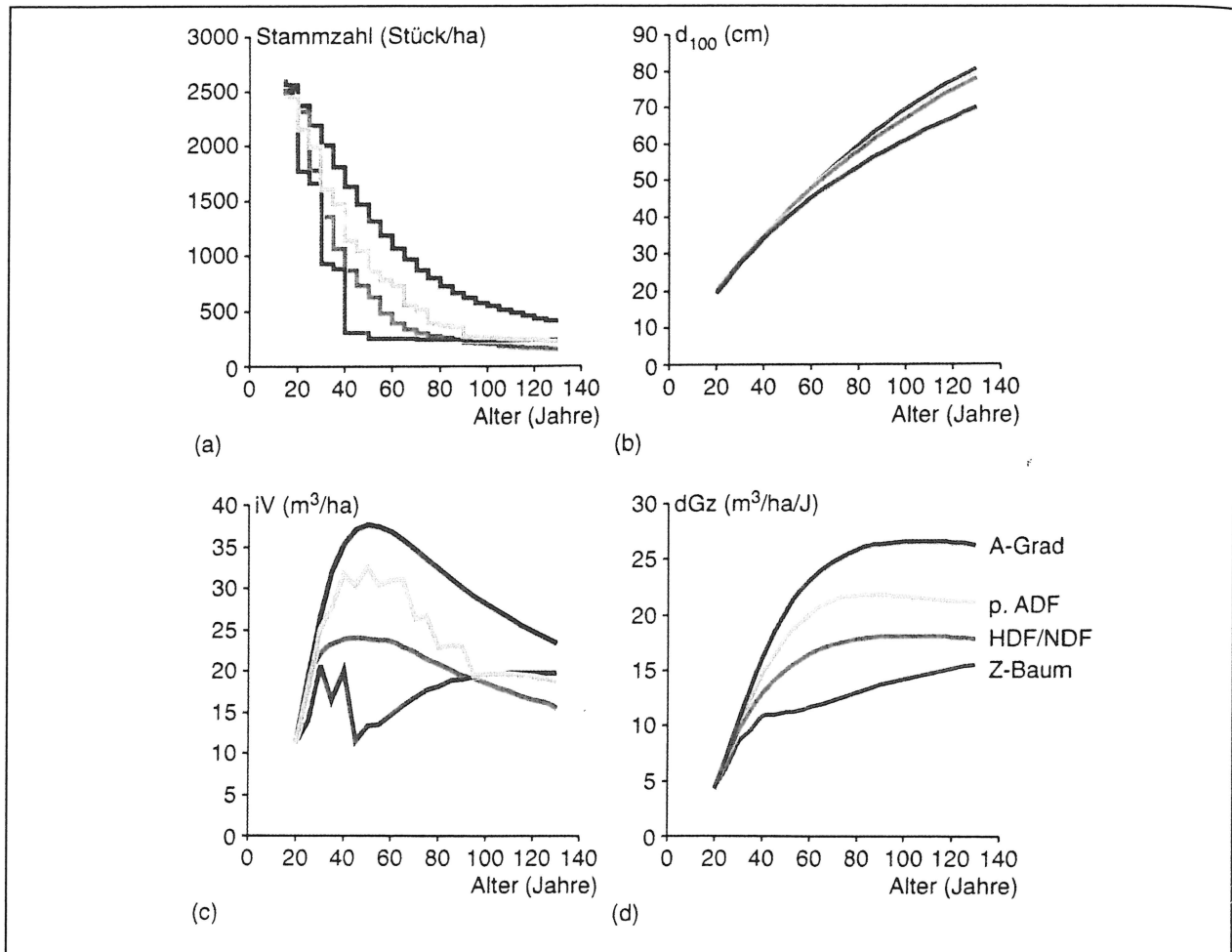


Abb. 8: Ergebnis der Modellberechnungen für Fichtenbestände auf wüchsigen Standorten im Vorallgäu (Wuchsbezirk 13.04). Für 4 Behandlungsstrategien (A-Grad, blaue Linie), punktuelle Auslese-durchforstung (p. ADF, gelbe Linie), starke kombinierte Hochdurchforstung/Niederdurchforstung (HDF/NDF, grüne Linie) und Z-Baum-Durchforstung (rote Linie)) wurde die Bestandesentwicklung über 110 Jahre mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 fortgeschrieben. (a) Die Stammzahlentwicklung beschreibt die unterschiedlichen Eingriffsstärken. (b) Hier wird die Wirkung der Eingriffe auf die Durchmesserentwicklung der 100 stärksten Stämme/ha ( $d_{100}$ ) gezeigt. (c) Der laufende jährliche Volumenzuwachs ( $iV$ ) sinkt zunächst mit zunehmender Eingriffstärke deutlich ab. Erst in höherem Alter gleichen sich die Werte wieder an. (d) Insgesamt ist der durchschnittliche jährliche Gesamtwuchs ( $dGz$ ) für die einzelnen Behandlungsvarianten recht unterschiedlich.

Das Interesse am Wald, seinen ökologischen, ökonomischen und sozioökonomischen Leistungen wird immer vielschichtiger. Es reicht bis hin zu Systemanalytikern und Ingenieuren, die dem Bauplan und Funktionieren des Waldes intelligente Lösungen für die Gestaltung technischer und biologischer Systeme abgewinnen. Ein auf Theoriebildung ausgerichtetes und aus Gesetzen und Theorien schöpfendes Versuchswesen ist für neu auftkommende Fragen inhaltlich bestmöglich gewappnet. Eine Theorie der Raum-Zeit-Dynamik von Waldökosystemen muss Einzelaspekte wie Stoffaufnahme und Umsatz, Stoffverteilung innerhalb und zwischen den Pflanzen, Interaktion von Bäumen durch Raumbesetzung und Raumausbeute, Reaktion von Wäldern auf Stress sowie ihre Investition in Abwehr und Wachstum zu einem Ganzen verbinden. Bedient sich das theoriegestützte Versuchswesen dabei auch noch moderner Informationstechnologien, so vermag es die gewonnenen Erkenntnisse bestmöglich in den Informationsfluss der Praxis und Entscheidungsprozesse einzubringen.

## Literaturverzeichnis

- ASSMANN, E. (1953): Bestockungsdichte und Holzerzeugung. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 72. Jg., H. 3/4, S. 69 – 101
- ASSMANN, E. (1956): Natürlicher Bestockungsgrad und Zuwachs. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 75. Jg., S. 257 – 265
- ASSMANN, E. (1961): Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. BLV Verlagsgesellschaft, München
- CURTIS, R. O., MARSHALL, D. D. und BELL, J. F. (1997): LOGS: A pioneering example of silvicultural research in coast Douglas-fir. Journal of Forestry, Vol. 95, No. 7, S. 19 – 25
- FRANZ, F. (1972): Gedanken zur Weiterführung der langfristigen ertragskundlichen Versuchsarbeit. Forstarchiv, 43. Jg., H. 11, S. 230 – 233
- FRANZ, F. (1990): Ernst Assmanns Wirken in München – Ein Rückblick zu seinem zehnten Todestag. S. 1 – 16, in: FRANZ, F., UTSCHIG, H. (Hrsg.): Schrift zum Gedenksymposium anlässlich des zehnten Todestages von Professor Ernst Assmann, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München
- GANGHOFER, A. v. (1877): Das forstliche Versuchswesen. Bd. 1, H. 1, im Selbstverlag des Herausgebers, München
- HARPER, J. L. (1977): Population Biology of Plants. Academic Press, London, New-York, San Francisco, 892 S.
- HERMS, D. A., MATTSON, W. J. (1992): The dilemma of plants: to grow or defend. The Quarterly Review of Biology, Vol. 67, p. 283 – 335
- MITSCHERLICH, A. (1948): Die Ertragsgesetze. Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Vorträge und Schriften, H. 31, Akademie-Verlag, Berlin
- PRETZSCH, H. (2001): Modellierung des Waldwachstums. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin
- PRETZSCH, H. (2002): Grundlagen der Waldwachstumforschung. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin
- RUBNER, M. (1931): Die Gesetze des Energieverbrauchs bei der Ernährung. Sitzberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-Mathematische Klasse, H. 16/18, Berlin
- SCHOBER, R. (1972): Zur Gründung des Vereins der Forstlichen Versuchsanstalten Deutschlands vor 100 Jahren. Ein Rückblick. Forstarchiv, 43. Jg., H. 11, S. 221 – 227
- SMITH, D. M., LARSON, B. C., KELTY, M. J. UND ASHTON, P. M. S., (1997): The practice of silviculture. Applied forest ecology, 9th edition, Wiley, New York
- UTSCHIG, H. (1992): Zielsetzung des Ertragskundlichen Versuchswesens im Wandel – dargestellt am Beispiel langfristiger Eichenversuche. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 111. Jg., S. 117 – 128
- VEREIN DEUTSCHER FORSTLICHER VERSUCHSANSTALTEN (1902): Beratungen der vom Vereine Deutscher Forstlicher Versuchsanstalten eingesetzten Kommission zur Feststellung des neuen Arbeitsplanes für Durchforstungs- und Lichtungsversuche. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 78. Jg., S. 180 – 184
- ZEIDE, B. (2001): Thinning and growth: A full turnaround. Journal of Forestry, Vol. 99, No. 1, S. 20 – 25