
Die lange Geschichte der ertragskundlichen Versuchsfelder in Bayern

Hans Pretzsch, Enno Uhl, Martin Nickel, Leonhard Steinacker und Gerhard Schütze

Schlüsselwörter: Ertragskundliches Versuchswesen, Waldwachstum, Waldmesslehre, Ökosystemwissen, Wissenstransfer

Zusammenfassung: Die langfristigen ertragskundlichen Versuchsfelder in Bayern bilden die Grundlage für eine generationenübergreifende Waldwachstumsforschung. Dieser Aspekt der Nachhaltigkeit in der Waldwachstumsforschung in Bayern wurde anlässlich des 300-jährigen Jubiläums der von Carl von Carlowitz 1713 verfassten *Sylvicultura Oeconomica* in LWF Wissen Nr. 72 hervorgehoben. Die vorliegende, erweiterte Fassung gibt eine Übersicht über die wichtigsten Ergebnisse der ertragskundlichen Versuchsfelder für Forstwissenschaft und Praxis. Seit seiner Begründung in den 1860er Jahren durch August von Ganghofer erbrachte und erbringt das ertragskundliche Versuchswesen bis heute durch kontinuierliche Beobachtung, Vermessung und Analyse Kenntnisse über Wachstum und Dynamik von Waldbeständen und liefert unverzichtbares Wissen für das Waldökosystemverständnis und die Forstwirtschaft. Der Beitrag spannt einen Bogen von der geschichtlichen Entstehung und Entwicklung des ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern über seine Bedeutung für die Forstwissenschaft und Forstpraxis in nationaler und internationaler Hinsicht bis hin zum aktuellen Stand und zu Entwicklungsperspektiven.

Begründung des Ertragskundlichen Versuchswesens: von geglaubten Regeln zu gesichertem Wissen

Die Lebens-, Arbeits- oder Forschungszeit eines Menschen ist im Vergleich zur Lebensdauer heimischer Baumarten (bis circa 1.000 Jahre) und erst recht zu jener der ältesten Bäume der Welt (circa 6.000 Jahre) sehr kurz. Selbst wenn wir die gesamte Zeitspanne der Forstwissenschaft seit ihrer Begründung durch Cotta und Hartig im 18. Jahrhundert betrachten, deckt dieser Zeitraum doch nur einen Bruchteil der Lebensdauer von Bäumen ab. Experimentell gesichertes Wissen über die Entwicklung von Bäumen und Waldbeständen ist deshalb nur sehr schwer zugänglich. Experimente zum Wachstum von Bakterien, Insekten,

Getreidearten oder Säugetieren können in Stunden, Tagen, Monaten oder in wenigen Jahren belastbare Ergebnisse liefern. Experimente, die gesichertes Wissen zum Wachstum von Bäumen und Beständen erbringen, erfordern dagegen eigene Versuchsmethoden, die in Zeit- und Raumskala über die Standardmethoden der Physik, Medizin oder Landwirtschaft hinausgehen (Pretzsch 2004).

Die schwierige experimentelle Zugänglichkeit von Bäumen und Waldbeständen führte seit Beginn der geregelten Forstwirtschaft im 18. Jahrhundert immer wieder zur unreflektierten Übernahme und Anwendung vermeintlichen Erfahrungswissens. Aufgrund der langen Reaktionszeiten des Waldes auf waldbauliche Steuerungsmaßnahmen, wie beispielsweise auf die Wahl des Ausgangsverbands oder des Durchforstungsprogramms, konnten die Praktiker die langfristigen Konsequenzen ihrer Maßnahmen nur selten im vollen Umfang übersehen. Erfahrungen und Hypothesen waren also schon allein wegen der Zeitskala kaum zu überprüfen. Außerdem wurden lokal gewonnene Erfahrungen über das Waldwachstum auf Grund des regional begrenzten Tätigkeitsbereichs der Forstpraktiker selten andernorts überprüft. Praktiker neigten deshalb zur pauschalen Verallgemeinerung ihres in der zeitlichen und räumlichen Gültigkeit eng begrenzten Erfahrungswissens. August von Ganghofer (1827 bis 1900, Abbildung 1) – seit 1875 Vorstand der Abteilung für Versuchswesen und forstliche Statistik im bayerischen Finanzministerium und von 1881 bis 1897 Leiter der Bayerischen Staatsforstverwaltung – bemerkte 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 dem dogmatisch von Generationen zu Generationen fortgetragenen Erfahrungsregeln den Krieg zu erklären. Hat ja doch mancher Knasterbart seiner Zeit geringschätzig die Nase gerümpft, als G. L. Hartig in seinem, zuerst im Jahre 1791 erschienen Lehrbuch für Förster, die bis dahin als richtig anerkannten, aber, besser gesagt, geglaubten waldbaulichen Regeln systematisch darzustellen, gesucht hat.«* (v. Ganghofer 1877, S. I–II).



Abbildung 1: Gründer und Forscherpersönlichkeiten des Ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern seit Anlage der ersten Versuchsflächen in den 1870er Jahren. Angegeben ist die Zeitspanne der Wirkungszeit, im Falle von A. v. Ganghofer die Lebenszeit. Foto: Lehrstuhl für Waldwachstumskunde

August von Ganghofer begann in den 1860er Jahren, zeitgleich und in methodischer Abstimmung mit den Verantwortungsträgern in anderen Ländern, mit dem systematischen Aufbau ertragskundlicher Versuchsflächen, die bis in die Gegenwart kontinuierlich messtechnisch aufgenommen und ausgebaut wurden (Abbildung 2). Um von geglaubten Regeln zu gesichertem Wissen zu gelangen, wurden Versuche angelegt und in definierten Zeitintervallen vermessen – je länger ihre Beobachtungsdauer, desto besser. Etliche der damals angelegten Flächen unterstehen noch heute, über 140 Jahre nach ihrer Begründung, regelmäßiger Messung. Hierzu zählen z. B. die in klassischer Dreigliederung (A-, B-, C-Grad) konzipierten Buchen-Durchforstungsversuche Fabriksschleichach 15, Mittelsinn 25 und Hain 27, die im Herbst 1870 bzw. Frühjahr 1871 angelegt und seitdem annähernd zwanzigmal aufgenommen worden sind. Gegenwärtig etwa 140-jährig, sind sie beeindruckende Beispiele generationsübergreifender Experimente. Gerade die auf die Gründerjahre des Versuchswesens zurückgehenden Durchforstungs-, Ertrags- und Anbauversuche zählen heute zu den wertvollsten Informationsquellen über die langfristige Entwicklung von Waldbeständen. Friedrich Franz (*1927–†2002) bezeichnete solche Versuchsflächen als »Juwelen der Forstwissenschaft«. Boris Zeide (*1937–†2012), führender Forstwissenschaftler in den USA, wo die Ausstattung mit derartigen Messflächen mangelhaft ist, spricht mit Blick auf die langfristigen Versuchsflächen von der »Schatztruhe der zentraleuropäischen Forstwissenschaft«. Sie sind für die Entwicklung forstwirtschaftlicher Beurteilungs- und Entscheidungshilfen, für die Diagnose von Wachstumstrends, die Ableitung von Standort-Leistungs-Beziehungen, die Klimafolgenforschung oder schlichtweg als Musterflächen für die Lehre und Weiterbildung von unschätz-

barem Wert. Sie können auch noch der Beantwortung von Fragen dienen, die erst in der Zukunft gestellt werden (Spellmann et al. 1996).

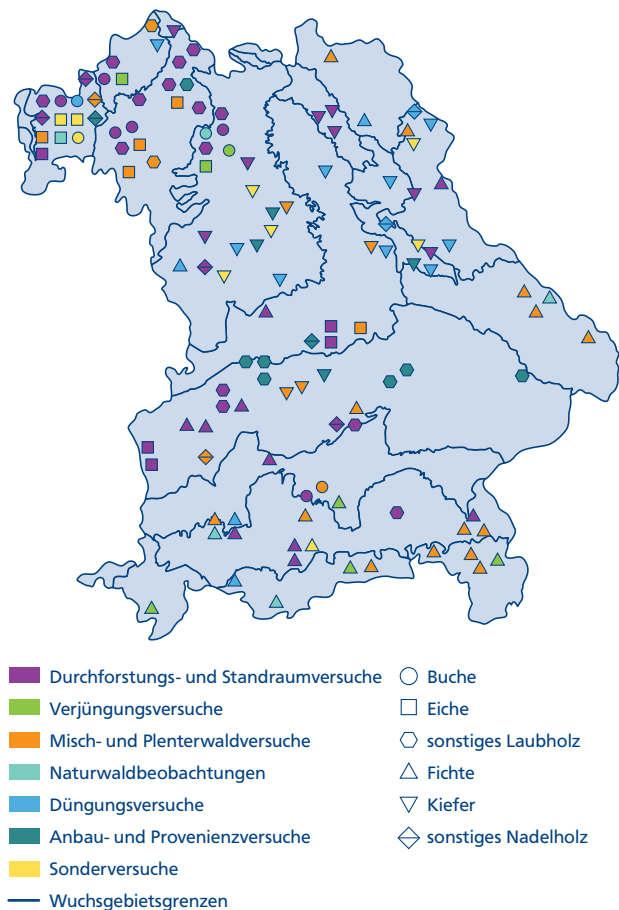


Abbildung 2: Übersichtskarte der langfristigen ertragskundlichen Versuchsflächen in Bayern mit Hervorhebung der Baumarten (Form der Symbole) und Versuchsarten (Farbe der Symbole) zum Stichtag 1.5.2012

Erst langfristige, generationenübergreifende Messungen, wie sie von Versuchsflächen vorliegen, decken auf, wie sich der langfristige Wachstumsgang von Waldbeständen durch Stoffeinträge und Klima verändert (Abbildung 3a), wie nach anfänglichem Vorseilen anderer Herkünfte schließlich eine bestimmte Provenienz vorteilhaft abschneidet (Abbildung 3b), wie sich die Tanne nach einer Zuwachsdepression in den 1970er und 1980er Jahren wieder erholt (Abbildung 3c), oder wie die Douglasie der Fichte – nach anfänglicher Verzögerung – langfristig in der Wuchsleistung überlegen wird (Abbildung 3d). Langfristige Versuchsanlagen, die solche Ergebnisse ermöglichen, spiegeln ein-

drucksvoll die viele Forscherleben verschlingende Lebensspanne von Bäumen und Beständen wider: August von Ganghofer (Leiter des Versuchswesens von 1875 bis 1878) und Franz von Baur (1878–1897) begründeten das in Abbildung 2 gezeigte Versuchsflächennetz. Rudolf Weber (1897–1905), Vincenz Schüpfer (1905–1937), Karl Vanselow (1937–1951), Ernst Assmann (1951–1972) und Friedrich Franz (1972–1993) führten es konsequent weiter und bauten es wissenschaftlich aus. Dennoch decken selbst diese sieben Forscherleben nur einen begrenzten Abschnitt der Lebensspanne der heute bis zu 200-jährigen Bestände ab (Abbildung 1).

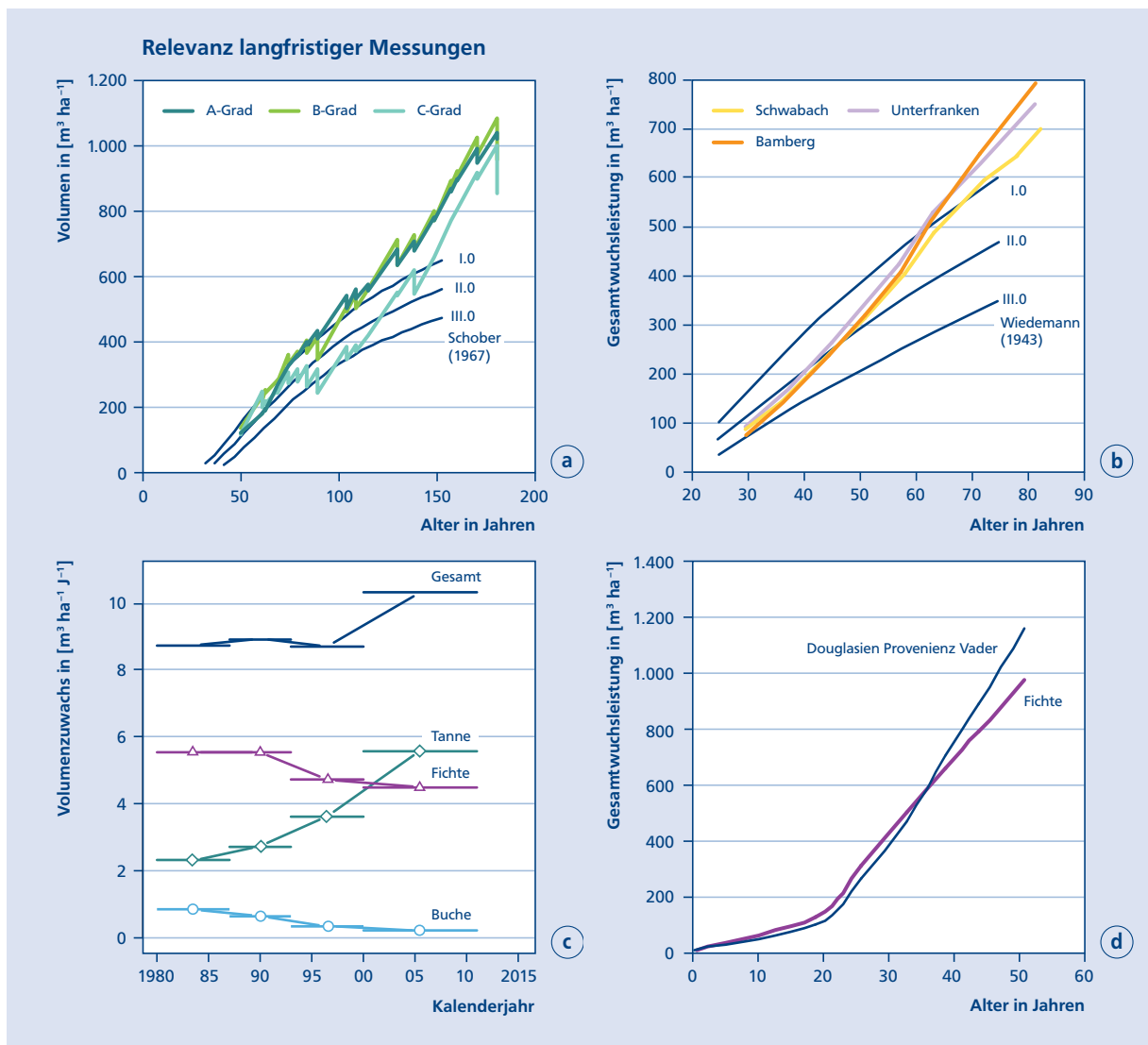


Abbildung 3: Beispiele für die Relevanz langfristiger Messungen auf ertragskundlichen Versuchsflächen; (a) Wachstumstrends der Buche auf der Buchen-Durchforstungs-Versuchsfläche Fabrikschleichach 15 im Vergleich zur Ertragstafel, (b) Aufholen der Kiefern-Provenienz Bamberg gegenüber den Provenienzen Schwabach und Unterfranken auf der Kiefern-Provenienz-Versuchsfläche Schwabach 304 ab dem Alter von 60–70 Jahren, (c) Erholung des Zuwachs der Tanne und Zuwachseinbruch bei der Fichte auf der Fichten-Tannen-Buchen-Plenterwald-Versuchsfläche Bodenmais 130 seit den 1980er Jahren und (d) Überschneidung der Gesamtwuchsleistung von Fichte und Douglasie ab dem Alter 40 auf der Douglasien-Provenienz-Versuchsfläche Kösching 95

Das Münchner Modell des Ertragskundlichen Versuchswesens

Die in den 1860er Jahren beginnenden Versuchsanlagen zum Wachstum der Hauptbaumarten stehen in enger Wechselwirkung mit dem Beginn der universitären Forstwissenschaft in München und der Königlich Bayerischen Forstlichen Versuchsanstalt (heute: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, LWF). Mit der Berufung von Franz von Baur, Ernst Ebermayer, Karl Gayer, Robert Hartig und Gustav Heyer zum 1. Oktober 1878 als ordentliche Professoren an die Staatswirtschaftliche Fakultät der Universität München nimmt die Forstwissenschaft in München ihren Anfang (Rehfuess 1978). Im Jahre 1881, also nur drei Jahre später, wird mit der Gründung der Königlich Bayerischen Forstlichen Versuchsanstalt, mit zunächst zwei Abteilungen, eine weitere institutionelle Grundlage für die langfristige Anlage, Erfassung und Auswertung von Versuchsflächen geschaffen. Zusammen mit der bereits 1870 beginnenden Einrichtung von forstlichen Versuchsanstalten in den anderen Ländern, wie Baden, Preußen, Sachsen und Württemberg wurde damit die fachliche und organisatorische Basis für eine Ertragsforschung in langfristigen Zeiträumen und weiträumigen Untersuchungsgebieten geschaffen. In München waren Anlage, wissenschaftliche Auswertung und praktische Nutzung der Versuchsergebnisse von Beginn an dadurch besonders eng miteinander verbunden, weil die Professoren der Fakultät zugleich Institutsleiter der forstlichen Versuchsanstalt waren. Der 1878 berufene Franz von Baur war also gleichermaßen in der Abteilung der Versuchsanstalt für die Einrichtung und den Ausbau des Ertragskundlichen Versuchswesens zuständig, wie in der universitären forstwissenschaftlichen Forschung und Lehre für die Versuchsauswertung, Publikation und den Wissenstransfer in Lehre und Praxis.

Dieses Münchner Modell der Kopplung von Versuchsanstalt und Universität wurde mit der Gründung einer selbständigen Forstwissenschaftlichen Fakultät 1971 und der Entflechtung von Lehrstühlen der Universität und Abteilungen der Forstlichen Versuchsanstalt im Jahre 1979 gelockert bzw. aufgelöst. Eine Ausnahme bildet hier das Ertragskundliche Versuchswesen in Bayern, bei dem sich die kooperative Arbeitsteilung als besonders erfolgreich erwiesen hatte. Es wurde die Arbeitsgruppe »Ertragskundliche Betreuung der langfristigen Versuche (W07)« gegründet, die finanziell und personell zu etwa gleichen Teilen von der Universität und der Bayerischen Forstverwaltung getragen wird.

Bis in die Gegenwart ist der Lehrstuhlleiter für Waldwachstumskunde gleichzeitig der Leiter des Ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern. Wissenschaft und Praxis bleiben auf diese Weise eng verbunden: Von der forstwirtschaftlichen Praxis wirken unter anderem in Form von neuen praktischen Fragestellungen, nachgefragten Wirkungen und Leistungen des Waldes und innovative waldbauliche Behandlungsvarianten auf das Versuchswesen. Seine Einbindung in die Wissenschaft sichert die Datenauswertung und Theoriebildung nach internationalem Standard. Die erarbeiteten Methoden, Versuchsergebnisse und Modelle fließen über Lehre und Beratung in die Praxis zurück. Nach Entflechtung von Lehrstühlen und Versuchsanstalt war von 1972 bis 1993 Friedrich Franz und ist seit 1994 bis in die Gegenwart der Erstautor des vorliegenden Aufsatzes für die Arbeitsgruppe W07 zuständig. Ersterer setzte Schwerpunkte im Bereich der Durchforstungs-, Düngungs- und Standraumversuche sowie der Modellbildung für Reinbestände (Franz 1968, 1972). Letzterer konzentriert sich auf Mischbestände, Verjüngungsversuche und die Modellbildung für Rein- und Mischbestände (Pretzsch et al. 2002b; Pretzsch 2009). Seit 1994 wurde der enge Austausch zwischen Universität und Bayerischer Forstverwaltung auch formalisiert, indem Forschungsvorhaben und -ergebnisse in regelmäßigen Fachgesprächen ausgetauscht werden.

Von den ersten Versuchsanlagen über die Gründung des Vereins Deutscher Forstlicher Versuchsanstalten zum Netzwerk der IUFRO

Die ab den 1870er Jahren gegründeten forstlichen Versuchsanstalten organisierten sich 1872 zum Verein Deutscher Forstlicher Versuchsanstalten, der auf eine Förderung des forstlichen Versuchswesens durch standardisierte Arbeitspläne, Vereinheitlichung von Methoden, Arbeitsteilung und gemeinsamer Auswertungen und Publikationen zielte. Aus diesem Verein ging im Jahre 1892 der internationale Verband Forstlicher Versuchsanstalten hervor. Die genannten Gründerväter des Versuchswesens bereiteten damit die Gründung des Internationalen Verbandes Forstlicher Versuchsanstalten (IUFRO) im Jahre 1929 vor. Neben der Ertragskunde formierten sich auch andere forstliche Disziplinen sukzessive unter der Vereinigung. Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde schließlich durch die Gründung des Deutschen Verbands Forstlicher Versuchsanstalten 1951 eine Nachfolgeinstitution des Vereins Deutscher Forstlicher Versuchsanstalten geschaffen, die bis heute die forstlichen Forschungsinstitutionen in

Deutschland zusammenführt. Die unter dem Dach des Deutschen Verbands Forstlicher Forschungsanstalten (DVFFA) neu formierte Sektion »Ertragskunde« entwickelt die Forschungslinie des Vereins Deutscher Forstlicher Versuchsanstalten seitdem konsequent weiter.

Die genannten nationalen und internationalen Organisationen haben zahlreiche Versuchsanlagen, Aufnahmen und Auswertungen von Versuchsreihen koordiniert und Empfehlungspapiere zur Planung, Anlage, Steuerung und Auswertung von Versuchen sowie zur Modellbildung ausgearbeitet. Dass in den meisten Ländern auf der Erde der Baumdurchmesser auf Versuchsflächen in der Höhe 1,3m gemessen, unter einer mäßigen Hochdurchforstung immer dasselbe verstanden wird und Ertragstafeln und andere Baum- bzw. Bestandsmodelle einen international einheitlichen Aufbau haben, resultiert aus dem Standard, den sich die nationalen und internationalen ertragskundlichen Forschungsorganisationen auferlegt haben. Wenn wir heute bei der Erfassung großregionaler Wachstumstrends, der Abschätzung von Folgen der Klimaveränderungen, bei der Parametrisierung von Wachstumsmodellen oder bei der Quantifizierung von Mischungseffekten ganz selbstverständlich auf ein Netz langfristiger ertragskundlicher Versuchsflächen zurückgreifen können, dann verdanken wir das den Gründervätern des forstlichen Versuchswesens. Das Ertragskundliche Versuchswesen in Bayern kann wie kein anderes auf zahlreiche Versuchs-

flächen aus der Gründerzeit zurückgreifen. Franz von Baur, Rudolf Weber, Vincenz Schöpfer, Karl Vanselow, Ernst Assmann und Friedrich Franz haben es zum Musterbeispiel einer generationenübergreifenden Kontinuität forstwissenschaftlicher Forschung werden lassen. Dass an zahlreichen forstlichen Landesanstalten bis in die Gegenwart die Ertragskunde oder Waldwachstumsforschung die Traditionsabteilung bildet und noch häufig mit dem forstlichen Versuchswesen begrifflich gleichgesetzt wird, resultiert aus der geschilderten Geschichte des forstlichen Versuchswesens, die mit der Organisation der langfristigen Versuchsflächenarbeit Mitte des 19. Jahrhunderts ihren Anfang nahm.

Entwicklung des Versuchsflächennetzes und gegenwärtiger Flächenstand

Seit den 1860er Jahren hat die Waldwachstumsforschung ein in Beobachtungsdauer und räumlicher Ausdehnung einmaliges Netz von Versuchsflächen aufgebaut. Dieses umfasst allein in Bayern etwa 1.000 Einzelflächen, von denen die ältesten seit über 140 Jahren unter Beobachtung stehen. In der Länge der Zeitreihen und der großregionalen Ausdehnung ist es allenfalls mit dem Netz von langfristigen Wetterstationen vergleichbar.

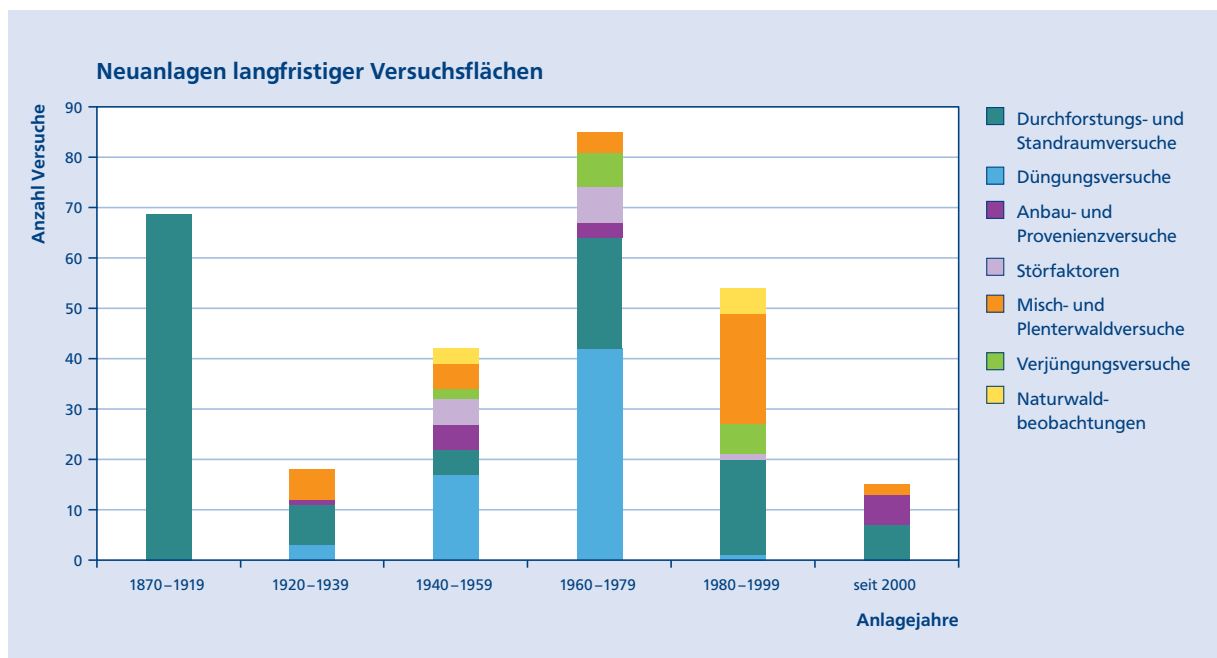


Abbildung 4: Übersicht über die Neuanlage langfristiger Versuchsflächen seit 1870 (Stand 1.5.2012): Versuche zu den Themenbereichen Durchforstung und Standraum (petrol), Düngung (blau), Anbau- und Provenienz (violett), Störfaktoren (flieder), Mischwald- und Plenterversuche (orange), Verjüngungsversuche (grün) und Naturwaldbeobachtung (gelb).

Abbildung 4 zeigt, wie sich die Versuchsneuanlagen seit 1870 mit den jeweils vorherrschenden Interessen und Fragen von Forstwirtschaft und Forstwissenschaft wandelten (Pretzsch et al. 2002a). In der Gründerzeit des Ertragskundlichen Versuchswesens (1870–1919) standen Durchforstungs- und Standraumversuche in Reinbeständen im Vordergrund. Durchforstungsversuche verfolgen die Wachstumsreaktionen auf Durchforstungseingriffe unterschiedlicher Art, Stärke und Intensität. Klassische Durchforstungsversuche, mit denen das Ertragskundliche Versuchswesen im 19. Jahrhundert seinen Anfang nahm, prüfen die Wirkung schwacher, mäßiger und starker Niederdurchforstung auf den quantitativen und qualitativen Ertrag von Waldbestän-

den, indem sie diese drei Behandlungsvarianten über das gesamte Bestandsleben messtechnisch verfolgen. Auch wenn die meisten dieser dreigliedrigen Versuchsanlagen (A-, B- und C-Grad) über keine Wiederholungen in dem ausgewählten Waldbestand verfügen, liegen ihnen das Design und die Auswertungsmöglichkeiten von Block- oder Streuversuchen zugrunde, weil solche Versuchsanlagen häufig zeitgleich an mehreren Standorten angelegt wurden. Klassische Durchforstungsversuche mit verschiedenen Graden der Niederdurchforstung, Hochdurchforstung und Lichtung mündeten in die bis heute verbreiteten Ertragstafeln (siehe z. B. Wiedemann 1949, 1951).

Beispiele für Versuchsanlagen

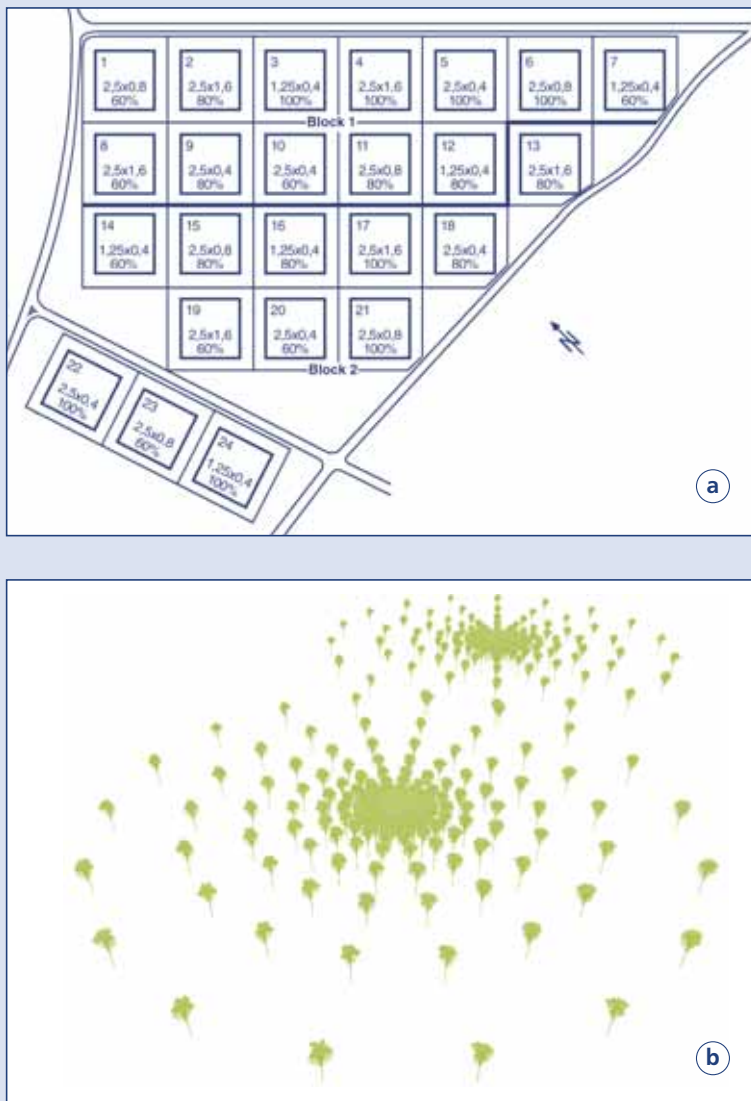


Abbildung 5:
 (a) Der zweifaktorielle Versuch Weiden 611 prüft die Wirkung von 4 unterschiedlichen Pflanzverbänden und drei Durchforstungsstärken (angegeben in prozentualer Grundflächenabsenkung bezogen auf die undurchforstete Variante) mit jeweils 2 Wiederholungen (in Blöcken) auf das Wachstum der Kiefer. Es ergibt sich ein Anlageschema mit insgesamt 24 Parzellen.
 (b) Das dargestellte Anlageschema des einzelbaumorientierten Nelder-Versuchs Ingolstadt 650 umfasst zwei Nelder-Kreise. Die Schnittpunkte von jeweils 12 Kreisbögen und 18 Speichen ergeben die Pflanzpositionen. Ausgehend vom Kreismittelpunkt repräsentieren sie eine kontinuierliche Standraumzunahme (zunehmendes Ressourcenangebot) von 0,1 m² pro Pflanze bis 200 m² pro Pflanze. Neben ertragskundlichen Größen werden auf diesen Flächen auch Informationen zur Strukturentfaltung und Biodiversität erhoben.

Neuere Durchforstungs- und Standraumversuche umfassen zumeist mehrere Wiederholungen oder Blöcke auf ein und demselben Versuchsstandort und decken häufig ein im Vergleich zu ihren Vorläuferversuchen wesentlich breiteres Spektrum an waldbaulichen Behandlungsalternativen ab (vergleiche Abbildung 5a), darunter auch in der Praxis nicht übliche Varianten wie z. B. unbehandelte Referenzflächen, Solitärvarianten oder Gradienten der Ressourcenkonkurrenz (vergleiche Abbildung 5b). Bei den seit 1980 neu hinzugekommenen Standraum- und Durchforstungsversuchen (Abbildung 6) handelt es sich überwiegend um Hoch- oder Auslesedurchforstungsversuche, bei denen, der Idee von Schädelin folgend, durch Eingriffe vom starken Ende der Durchmesserverteilung aus eine mehr oder minder große Zahl guter Zuwachsträger freigestellt und gefördert wird. Werden die waldbaulichen Eingriffe nicht nur summarisch für den Gesamtbestand, sondern für alle Bestandsglieder räumlich explizit dokumentiert, so erlauben Durchforstungsversuche die Ableitung von Wissen und Gesetzmäßigkeiten zwischen Wachstum und Konkurrenz auf Baum- und Bestandsebene, wie sie für moderne Behandlungsprogramme unverzichtbar sind.

In der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts deutete sich eine Konjunktur von Anbau-, Provenienz- und Düngungsversuchen an. In Anbauversuchen wird die forstwirtschaftliche Anbauwürdigkeit heimischer und fremdländischer Baumarten erprobt. Kriterien für die Anbauwürdigkeit sind in erster Linie Wuchsleistung, Holzqualität und Resistenz gegenüber biotischen und abiotischen Schäden. So erbrachten z. B. orientierende Anbauversuche zur Douglasie im 19. Jahrhundert überwiegend positive Resultate, so dass Standraum- und Durchforstungsversuche dann mit ausgewählten Provenienzen folgten. Im 20. Jahrhundert entstanden unter anderem Anbauversuche zu den Baumarten Esskastanie, Hickory, Japanlärche, Roteiche, Schwarznuss und Walnuss, die angesichts der sich abzeichnenden Klimaänderungen im mitteleuropäischen Raum neue Aktualität gewinnen. Anbauversuche sind zumeist über ein breites Spektrum von Standortbedingungen gestreut, um Anbaugrenzen sichtbar zu machen.



Ertragskundliche Befunde für Parzelle 611/3 im Jahr 2007	
Alter	37 Jahre
Bonität	II,3 (Wiedemann 1943, mäßige Df.)
Stammzahl	6731
Vorrat	203 VfmSha ⁻¹
Jährlicher Volumenzuwachs	9,9 VfmSha ⁻¹ J ⁻¹
Durchmesser der 100 stärksten Bäume	16,0 cm



Ertragskundliche Befunde der Parzelle 611/8 im Jahr 2007	
Alter	37 Jahre
Bonität	I,0 (Wiedemann 1943, mäßige Df.)
Stammzahl	663
Vorrat	118 VfmSha ⁻¹
Jährlicher Volumenzuwachs	7,5 VfmSha ⁻¹ J ⁻¹
Durchmesser der 100 stärksten Bäume	22,8 cm

Abbildung 6: Kombiniertes Standraum-Durchforstungsversuch Weiden 611 mit insgesamt 24 Parzellen und 4 verschiedenen Pflanzverbänden, d. h. die Kombinationswirkung von Pflanzverband und Durchforstung auf die Durchmesser- und Qualitätsentwicklung der Kiefer (vgl. Abb. 5a).

a) Parzelle 3, Pflanzverband 1,25 m × 0,4 m mit 20.000 Bäumen pro Hektar, undurchforstet

b) Parzelle 8, Pflanzverband 2,5 m × 1,6 m mit 2.500 Bäumen pro Hektar, Absenkung der Grundfläche auf 60 % der undurchforsteten Variante Fotos: L. Steinacker

Während Anbauversuche forstwirtschaftliche Möglichkeiten und Grenzen einer Baumart im Allgemeinen sondieren, gehen Provenienzversuche einen Schritt weiter. Sie quantifizieren Wachstum, Qualität und Widerstandsfähigkeit verschiedener Herkünfte unter verschiedenen Standortbedingungen und waldbaulichen Behandlungen (Schober 1961). Zu diesem Zweck werden verschiedene Provenienzen heimischer und fremdländischer Baumarten unter einem breiten Spektrum von Standortbedingungen angebaut und ihr Wachstum langfristig gemessen. Provenienzversuche sind deshalb häufig in internationale, koordinierte Versuchsreihen mit identischem Versuchskonzept eingebunden, um das standortabhängige Wuchspotenzial einer Provenienz möglichst umfassend beschreiben zu können. Es wird dann erkennbar, welche Provenienz für die jeweiligen Standortbedingungen besonders geeignet ist und welche über das Standortspektrum hinweg die gewünschte Wuchsleistung, Holzqualität und Resistenz gegenüber Schäden erbringt.

Düngungsversuche streben die Identifizierung von Gesetzmäßigkeiten zwischen Art, Menge und Turnus ausgebrachter Dünger und dem mit ihnen erzielten Ertrag an. Als Referenz dienen dabei unbehandelte Parzellen der Versuchsanlage. Die Mehrzahl der mitteleuropäischen Düngungsversuche geht auf die 1960er und 1970er Jahre zurück. Sie fanden ihre Begründung in der notwendigen Verbesserung der Nährstoffsituation der durch jahrzehntelang praktizierte Streunutzung verarmten Waldstandorte. Angesichts gegenwärtiger Stoffentzüge aus Waldbeständen durch Vollbaumnutzung erhalten Düngungsversuche aus dieser Zeit neue Aktualität und werden erneut mit veränderter Fragestellung ausgewertet. Abbildung 7 veranschaulicht, dass Versuchsflächen aufgrund ihrer langjährigen Zäunung auch als Referenzflächen für den Einfluss von Wildverbiss auf das Waldwachstum geeignet sind. Während innerhalb der seit 1964 eingezäunten, ungedüngten Versuchsparzelle ein reicher Unter- und Zwischenstand mit den natürlich vorkommenden Baumarten entstanden ist, dominiert außerhalb des Zauns aufgrund permanenten Wildverbisses ein einschichtiger Kiefernreinbestand ohne Mischbaumarten. Entscheidend für die Entwicklung von unter anderem Eiche, Buche und Fichte im Unter- und Zwischenstand ist nicht die Düngung, sondern vielmehr die Zäunung.



Ertragskundliche Befunde für die ungedüngte Parzelle 235/8 im Jahr 2003	
Alter	121 Jahre
Bonität	II,9 (Wiedemann 1943, mäßige Df.)
Stammzahl	258
Vorrat	208 VfmD ha ⁻¹
Jährlicher Volumenzuwachs	6,9 VfmD ha ⁻¹ J ⁻¹
Durchmesser der 100 stärksten Bäume	35,1 cm



Ertragskundliche Befunde der vollgedüngten Parzelle 235/10 im Jahr 2003	
Alter	121 Jahre
Bonität	II,2 (Wiedemann 1943, mäßige Df.)
Stammzahl	316
Vorrat	333 VfmD ha ⁻¹
Jährlicher Volumenzuwachs	6,8 VfmD ha ⁻¹ J ⁻¹
Durchmesser der 100 stärksten Bäume	38,6 cm

Abbildung 7: Ausgewählte Parzellen des Kiefern-Düngungsversuchs Burglengenfeld 235 »Pustert«. Dargestellt sind die Bestandsverfassung
a) der ungedüngten Parzelle 8 und
b) der mit Volldüngung behandelten Parzelle 10. Neben der Düngungswirkung wird der Effekt der Zäunung auf die Entwicklung der Folgegeneration unter dem Kiefern-Altbestand auf ungedüngten wie gedüngten Zellen sichtbar. Fotos: L. Steinacker

Mit der seit der Nachkriegszeit prosperierenden Volkswirtschaft stieg die Einflussnahme des Menschen auf den Wald, unter anderem durch Trassenaufhiebe, Grundwasserabsenkungen oder Emissionen aus Großfeuerungsanlagen. Im Rahmen von Beweissicherungsverfahren wurden in den 1950er bis 1980er Jahren zahlreiche Versuchsflächen zur Diagnose von lokalen und großräumigen, in den meisten Fällen anthropogenen Störfaktoren angelegt (Preußler 1990). Solche Versuche zielen auf den Nachweis und die Quantifizierung des Effekts von Störeinflüssen (z.B. Randschaden, Salzscha-den, Grundwasserstandsabsenkungen, Rauchschaden) auf das Waldwachstum (Abbildung 8). Da die Störeinflüsse in der Regel räumlich in unterschiedlicher Intensität ausgeprägt sind, werden die Parzellen solcher Versuche so positioniert, dass sie verschiedene Faktorstufen, z. B. der Höhe der Schwefelbelastung oder Eintragsraten von Streusalz, repräsentieren. Dieser Versuchstyp entfernt sich zwar von waldbaulichen und ertragskundlichen Kernfragen, spielt aber aufgrund der zunehmenden Fragmentierung der Wälder eine erhebliche Rolle in forstlicher Forschung, Lehre und gerichtlicher Beweissicherung.

Seit Mitte des zurückliegenden Jahrhunderts, nach zahlreichen Rückschlägen in der Reinbestandswirtschaft und mit dem Übergang zu einem breiteren Verständnis der Nachhaltigkeitsidee, rückten Mischbestände immer mehr in den Mittelpunkt von Forstwissenschaft und Forstwirtschaft. Deshalb wurden im Ertragskundlichen Versuchswesen in Bayern seit Mitte der 1990er Jahre Mischbestandsversuche in Mischbeständen aus unseren Hauptbaumarten systematisch ausgebaut (Abbildung 4). Mischbestandsversuche zielen auf die Quantifizierung der Wechselwirkung zwischen vergesellschafteten Baumarten. Auf den Versuchspartellen wird der Effekt verschiedener Mischungsanteile und räumlicher Mischungsstrukturen auf die Baum- und Bestandsentwicklung erfasst. Auf der Grundlage der Baumkoordinaten, einer Dokumentation der Absterbeprozesse und der einzelbaumweisen Wiederholungsmessungen von Stamm- und Kronendimensionen können solche Mischungseffekte in Mischbeständen, Bergmischwäldern oder Plenterwäldern sehr gut analysiert werden. Um die zeitliche Dynamik der Entwicklung von Mischbeständen aufgrund bisher häufig nur kurzer Beobachtungsdauer dennoch zeitnah erfassen zu können, wurden Wuchsrillen angelegt. Dabei werden Versuchsflächen in Beständen mit gleicher Baumartenmischung und Mischungsstruktur auf gleichem Standort, aber mit unterschiedlichem Bestandsalter angelegt. Dadurch wird

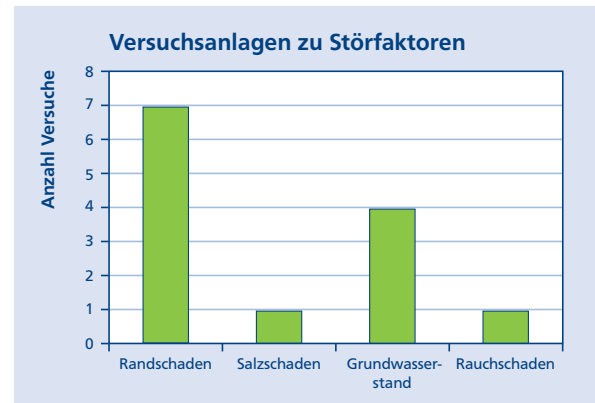


Abbildung 8: Versuchsflächen des Ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern zu Störfaktoren.

das zeitliche Nacheinander der Bestandsentwicklung durch ein räumliches Nebeneinander ersetzt. Als Referenz zu aktiv behandelten Mischbeständen wurde eine ganze Serie von unbewirtschafteten Wäldern, beispielsweise in Naturwaldreservaten, Urwäldern und Nationalparks, unter Beobachtung genommen. Solche Erhebungen vermitteln Struktur- und Wachstumsmerkmale sowie Mortalitätsprozesse bei Ablauf der natürlichen Bestandsdynamik. Die dort gefundenen Alter, Dimensionen und Entwicklungsgänge von Einzelbäumen, natürlichen Bestandsdichten und intra- wie interspezifischen Nachbarschafts- und Konkurrenzbeziehungen bilden wichtige Referenzdaten für die Beurteilung behandelter Wälder, für die Einschätzung von Naturnähe und für die modellhafte Abbildung des Waldwachstums (Pretzsch et al. 2002b).

Mit dem Übergang von der künstlichen zur natürlichen Verjüngung von Waldbeständen, insbesondere bei den Baumarten Fichte und Buche, rückten Verjüngungsversuche im Flachland und im Bergmischwald in den Fokus (Abbildung 9). Verjüngungsversuche prüfen die Wirkung definierter Bestandsstrukturen (z.B. Überschirmungsgrad, Mischungsanteile, Bestockungsgrad des Altbestands) auf das Ankommen, die Entwicklung, die Dynamik der Baumartenzusammensetzung und Qualität der Verjüngung (Preuhlsler 1979). Im Rahmen solcher Versuchsanlagen wird die aktiv eingebrachte oder natürliche Verjüngung in ihrer Entwicklung bei unterschiedlichen Eingriffsstärken in den Altholzschirm beobachtet.

Das Netz langfristiger ertragskundlicher Versuchsflächen in Bayern umfasst gegenwärtig 151 Versuche mit 934 Parzellen, die eine Fläche von insgesamt rund 181 ha ausmachen (Stand 1.5.2012). Davon entfallen 95 Versuche mit 329 Parzellen auf Durchforstungs- und Standraumversuche (Fläche 45,8 ha), 31 Versuche mit 147 Parzellen auf Mischwald- und Plenterwaldversuche (51,5 ha), 20 Versuche mit 179 Parzellen auf Düngungsversuche (23,5 ha), 14 Versuche mit 203 Parzellen auf Anbau- und Provenienzversuche (36,9 ha), 12 Versuche mit 37 Parzellen auf Verjüngungsversuche (12,4 ha), 9 Versuche mit 24 Parzellen auf Versuche zu Störfaktoren (3,6 ha) und 6 Versuche mit 15 Parzellen auf Naturwaldbeobachtungen (7,8 ha). Aus den Abbildungen 10 und 11 geht die Aufgliederung der Versuchsflächen nach Versuchsarten und Baumarten hervor.



Ertragskundliche Befunde für Parzelle 122/3 im Jahr 2004	
Alter/Altbestand	150 Jahre
Bonität/Altbestand	32 (Oberhöhenbonität nach Assmann/Franz 1963)
Stammzahl/Altbestand	457
Vorrat/Altbestand	1142 VfmD ha ⁻¹
Jährlicher Volumenzuwachs/Altbestand	15,2 VfmD ha ⁻¹ J ⁻¹
Durchmesser der 100 stärksten Bäume/Altbestand	67,0 cm
Baumartenzusammensetzung/Verjüngung	Fichte, Tanne, Buche, Bergahorn, Esche, Eibe
Alter/Verjüngung (> 50 cm)	29 Jahre
Stammzahl/Verjüngung (> 50 cm)	2.059 ha ⁻¹
Mittlere Höhe/Verjüngung (> 50 cm)	1,05 m



Ertragskundliche Befunde für Parzelle 122/4 im Jahr 2004	
Alter/Altbestand	150 Jahre
Bonität/Altbestand	32 (Oberhöhenbonität nach Assmann/Franz 1963)
Stammzahl/Altbestand	235
Vorrat/Altbestand	793 VfmD ha ⁻¹
Jährlicher Volumenzuwachs/Altbestand	12,9 VfmD ha ⁻¹ J ⁻¹
Durchmesser der 100 stärksten Bäume/Altbestand	65 cm
Baumartenzusammensetzung/Verjüngung	Fichte, Tanne, Buche, Bergahorn, Esche, Eibe
Alter/Verjüngung (> 50 cm)	29 Jahre
Stammzahl/Verjüngung (> 50 cm)	1.328 ha ⁻¹
Mittlere Höhe/Verjüngung (> 50 cm)	1,22 m

Abbildung 9a + 9b: Verjüngungsversuch Kreuth120-122, bei dem unterschiedliche Phasen der langfristigen Verjüngung im Bergmischwald erfasst werden; (a) geschlossener Ausgangsbestand aus Fichte, Tanne und Buche, (b) Initialphase der Verjüngung durch Schirmstellung Fotos: L. Steinacker

Entwicklungen bei den Messmethoden auf langfristigen ertragskundlichen Versuchsflächen

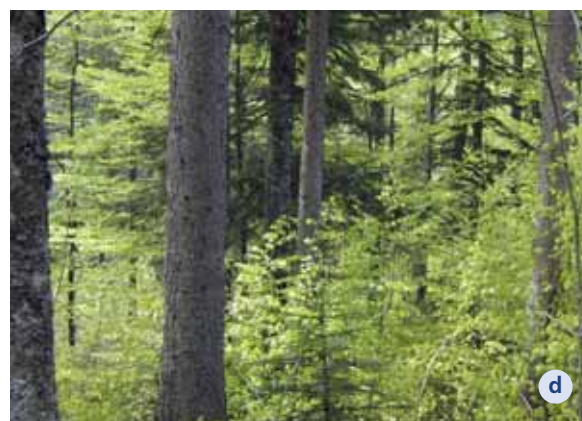
Auch heute ist man noch weit entfernt von einem vollständigen Wissen über die mechanistischen Wirkungswege beim Wachstum einzelner Bäume, ganzer Bestände oder bei der Entwicklung von Ökosystemen. Zur Gründerzeit des Ertragskundlichen Versuchswesens waren aber z. B. Fotosynthese, Stoffkreisläufe in Bäumen und Wäldern oder die Prinzipien von Konkurrenz und Facilitation zwischen Individuen in Waldbeständen nicht annähernd so gut verstanden wie in der Gegenwart. Wenn in den 1870er Jahren die Versuchsleiter die ihnen unterstellten Flächen zu Pferde aufsuchten und bestenfalls die Baumdurchmesser und Baumhöhen aller Bestandsglieder erfassten, dieselben Flächen dagegen heute mit dem Geländewagen angefahren und mit dem terrestrischen Laserscanner so

erfasst werden, dass selbst Astwinkel, Blattmasse und Kronenverzahnung gemessen werden, dann kommt darin das Bestreben zu einem immer detaillierteren Erfassen, besseren Verstehen und wirklichkeitsnäheren Modellieren und Reproduzieren der Waldstruktur und -dynamik zum Ausdruck.

In der Anfangszeit des Ertragskundlichen Versuchswesens wurde die Entwicklung von Waldbeständen durch Messung von Baumdurchmesser, Baumhöhe und Alter messtechnisch erfasst und über Mittel- und Summenwerte (z. B. Mitteldurchmesser, Mittelhöhe, Bestandsvolumen) dargestellt (Abbildung 12a). Abhängigkeiten der Bestandsentwicklung von den Standortbedingungen und der waldbaulichen Behandlung wurden allenfalls durch Abbildung der Bestandsmittel- und Bestandssummenwerte in Abhängigkeit von der Höhenbonität und der Bestandsdichte beschrieben. Modellvorstellungen gingen dahin, dass die Bestands-



Ertragskundliche Befunde für Parzelle 122/2 im Jahr 2004	
Alter/Altbestand	138 Jahre
Bonität/Altbestand	32 (Oberhöhenbonität nach Assmann/Franz 1963)
Stammzahl/Altbestand	327
Vorrat/Altbestand	546 VfmD ha ⁻¹
Jährlicher Volumenzuwachs/Altbestand	9,1 VfmD ha ⁻¹ J ⁻¹
Durchmesser der 100 stärksten Bäume/Altbestand	56,9 cm
Baumartenzusammensetzung/Verjüngung	Fichte, Tanne, Buche, Bergahorn, Esche, Vogelbeere
Alter/Verjüngung (> 50 cm)	29 Jahre
Stammzahl/Verjüngung (> 50 cm)	4.506 ha ⁻¹
Mittlere Höhe/Verjüngung (> 50 cm)	1,33 m



Ertragskundliche Befunde für Parzelle 120/1 im Jahr 2004	
Alter/Altbestand	166 Jahre
Bonität/Altbestand	32 (Oberhöhenbonität nach Assmann/Franz 1963)
Stammzahl/Altbestand	160
Vorrat/Altbestand	226 VfmD ha ⁻¹
Jährlicher Volumenzuwachs/Altbestand	4,9 VfmD ha ⁻¹ J ⁻¹
Durchmesser der 100 stärksten Bäume/Altbestand	60,5 cm
Baumartenzusammensetzung/Verjüngung	Fichte, Tanne, Buche, Bergahorn
Alter/Verjüngung (> 50 cm)	29 Jahre
Stammzahl/Verjüngung (> 50 cm)	32.343 ha ⁻¹
Mittlere Höhe/Verjüngung (> 50 cm)	1,29 m

Abbildung 9c + 9d: (c) Femelung mit Durchmesser des Femelhiebs von 20–30 m und (d) fortgeschrittene Verjüngungsphase, in welcher das Femelloch zunehmend erweitert wird, um die urchlasförmige Ausformung der Verjüngung aus Fichte, Tanne, Buche und Bergahorn immer weiter in den Altbestand hineinreichen zu lassen. Fotos: L. Steinacker

dynamik über Mittelwerte oder Durchmesserverteilung, die sich entlang der Zeitachse in der Lage und Form verschieben, abbildbar sei (Abbildung 12b).

Der erfolgreichen Analyse der Bestandsdynamik bei den vorwiegend in den süddeutschen Mischbeständen praktizierten, räumlich strukturierten Verjüngungsverfahren (z.B. Schirmschlag, Femelschlag, Lochhieb, Plenterhieb) konnte jedoch nur durch räumlich explizite Erfassung der Baumpositionen und -strukturen begegnet werden. Deshalb wurde ab den 1950er Jahren der Erfassung der Bestandsstruktur, beispiels-

weise durch Vermessung von Stammfußpunkten, Kronenformen sowie Inventur von Verteilungsmustern der Verjüngung unter Altbeständen, immer mehr Messarbeit gewidmet (Abbildung 13). Hinter dieser Tendenz steckte die Einsicht, dass zwar homogene Reinbestände über Bestandssummen- und Mittelwerte abstrahiert werden können, nicht aber strukturreiche Rein- und Mischbestände. Heute ist für die Mehrzahl der ertragskundlichen Versuchsflächen in Bayern die dreidimensionale Struktur von Altbestand und Verjüngung messtechnisch erfasst.

Abbildung 10:
Anzahl der Versuchsflächen des Ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern gegliedert nach Versuchsarten

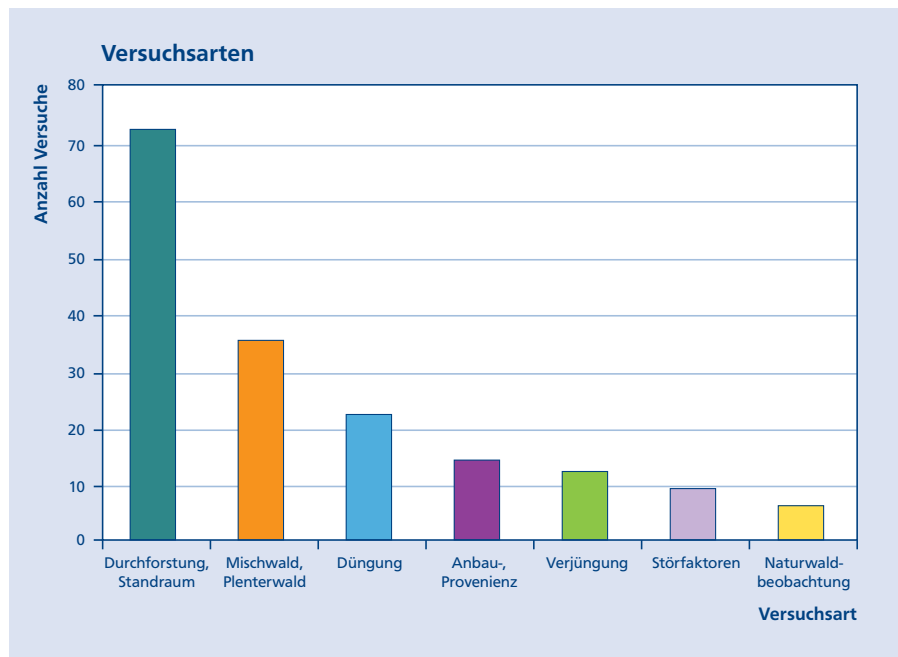
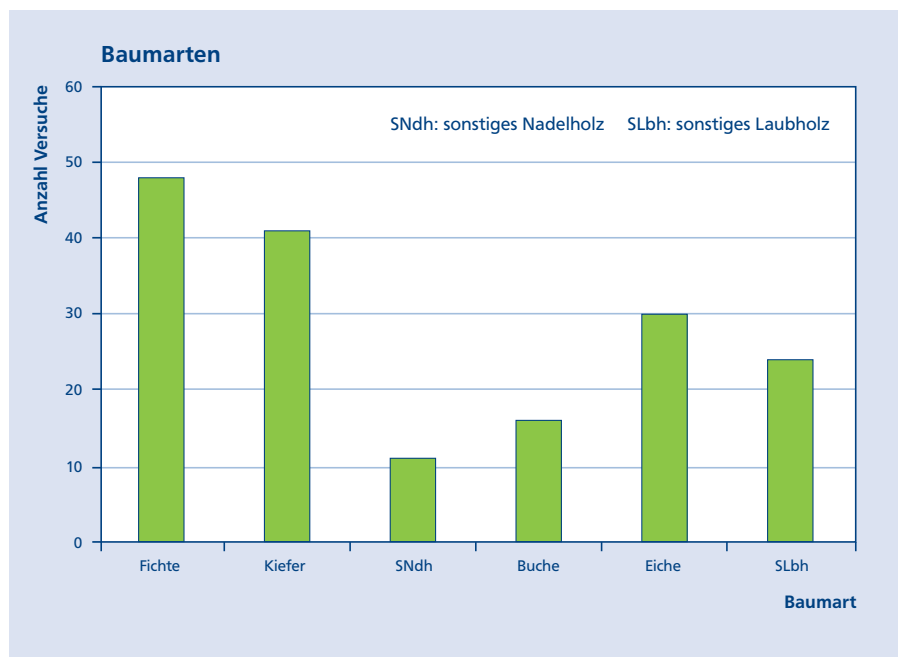
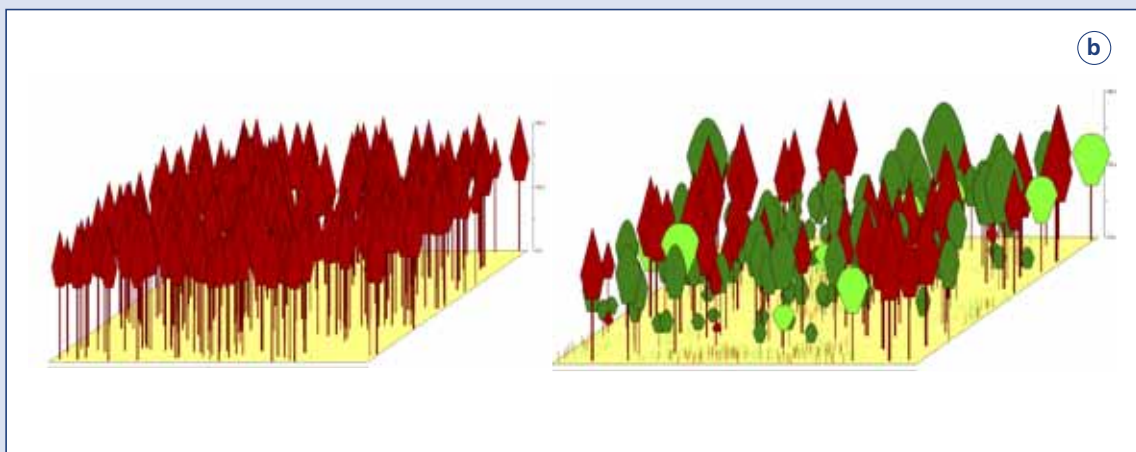
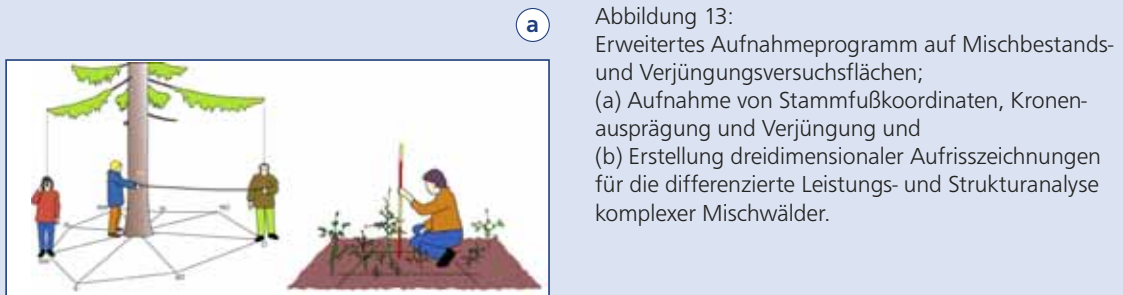
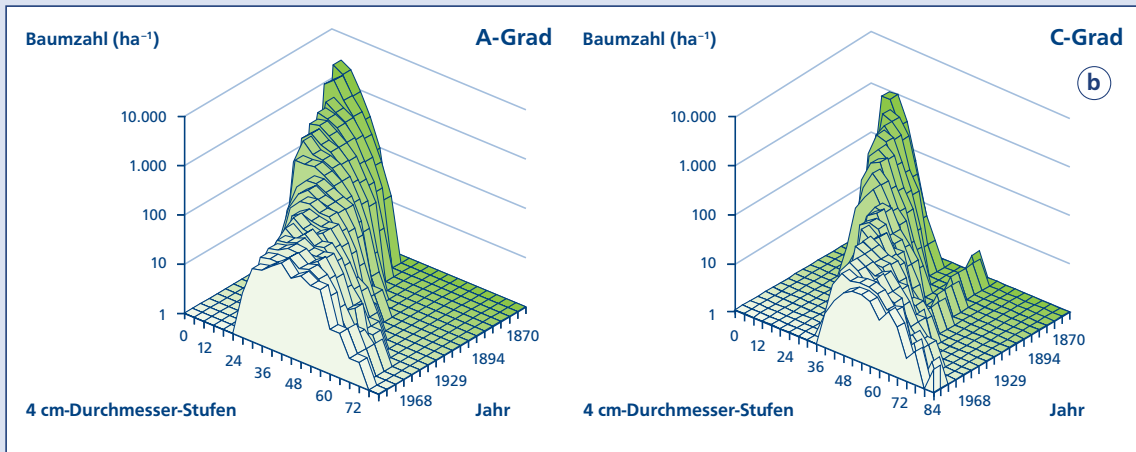
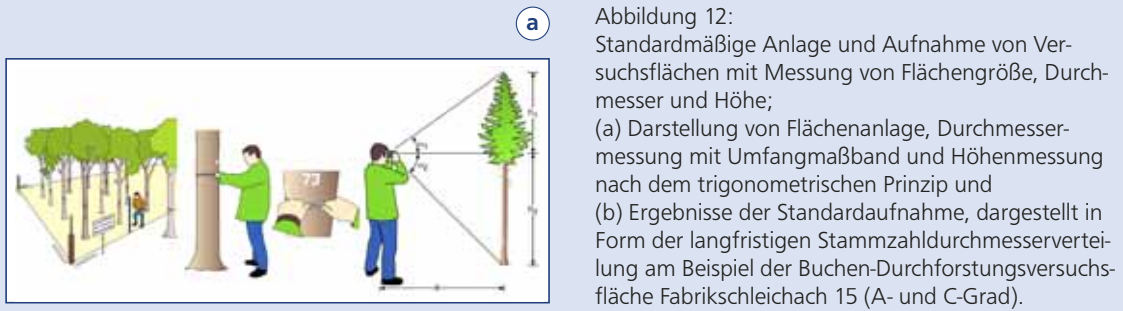


Abbildung 11:
Anzahl der Versuchsflächen des Ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern gegliedert nach Baumarten (SNdh: sonstiges Nadelholz SLbh: sonstiges Laubholz)





In den zurückliegenden zwei Jahrzehnten wurde die Analyse der Bestandsentwicklung immer mehr ausgehend von den Strukturen und Prozessen der Individuen aufgerollt (Abbildung 14). Messungen von Jahreszuwächsen entlang der Stammachse, von Kronenstruktur, Astwinkeln, Astlängen, Benadelungs- bzw. Belaubungszustand, Spross-Wurzel-Beziehungen liefern Informationen zum zunehmend besseren Verständnis der Baummorphologie, Allometrie und Individualent-

wicklung in Abhängigkeit von der Nachbarschaft im Bestand (Abbildung 15).

Charakteristisch für die ertragskundliche Versuchsarbeit ist dabei, dass sie sich nicht in der zunehmend höher auflösenden Vermessung verliert, sondern immer auch die Messvariablen auf Baum- und Bestandsebene mitführt, so dass jederzeit von der Organebene bis zur Bestandsebene skaliert werden kann. Auf diese Weise

Abbildung 14: Feinanalyse der Stamm- und Kronenentwicklung von Einzelbäumen zur vertieften Auswertung von Versuchsflächen; (a) Darstellung der Stammanalyse, bei welcher in den Baumhöhen n, n-1 ... n-9 Baumscheiben für die Jahrringanalyse aufgenommen werden und (b) Stammwuchsbilder der stammanalytisch beprobten Bäume, welche die Biografie einzelner Bäume oder, bei entsprechend umfangreicher Probenahme, retrospektiv die Entwicklung ganzer Bestände abbilden.

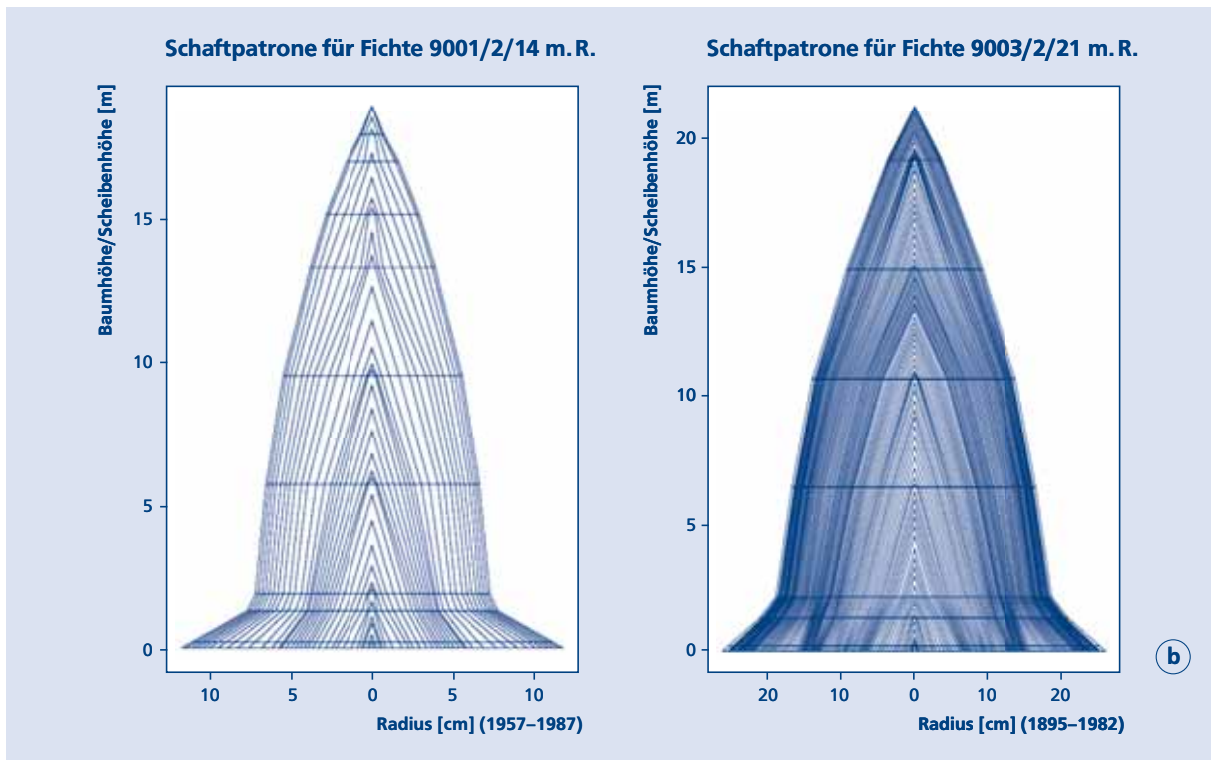
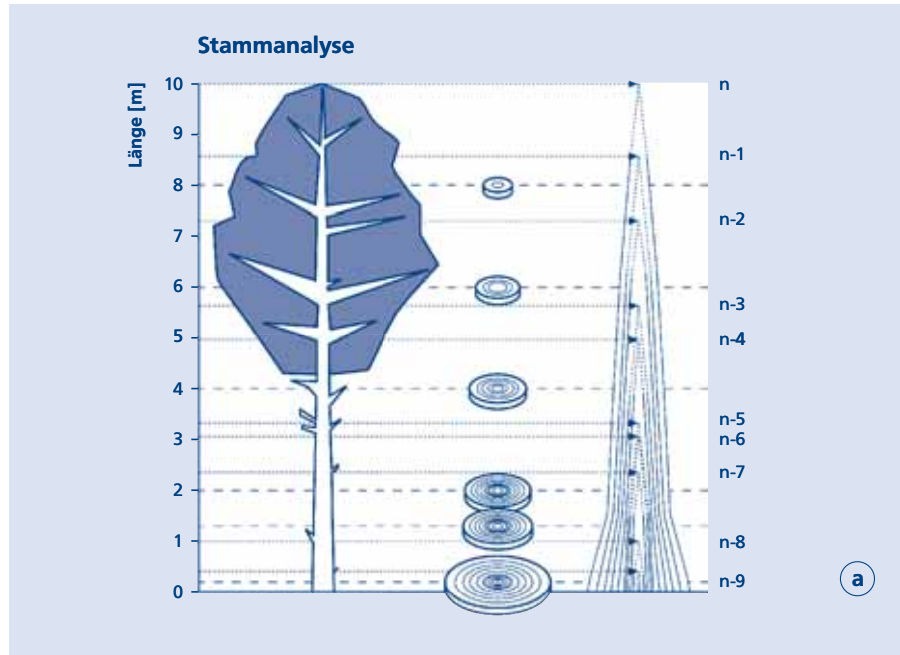




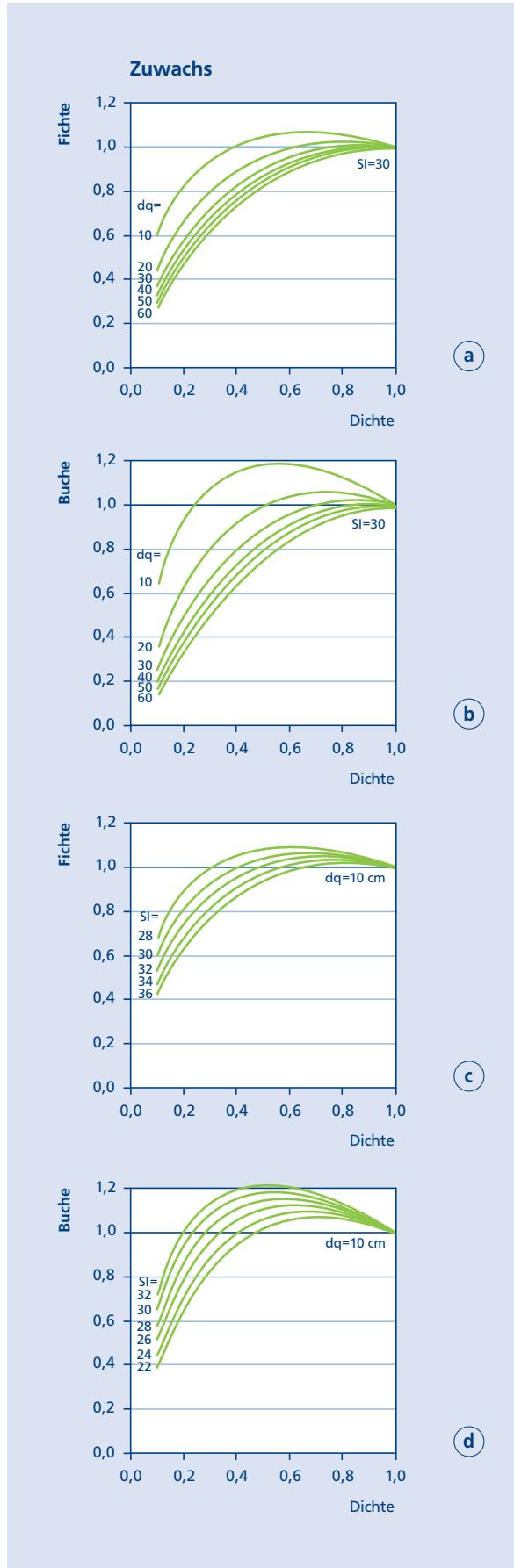
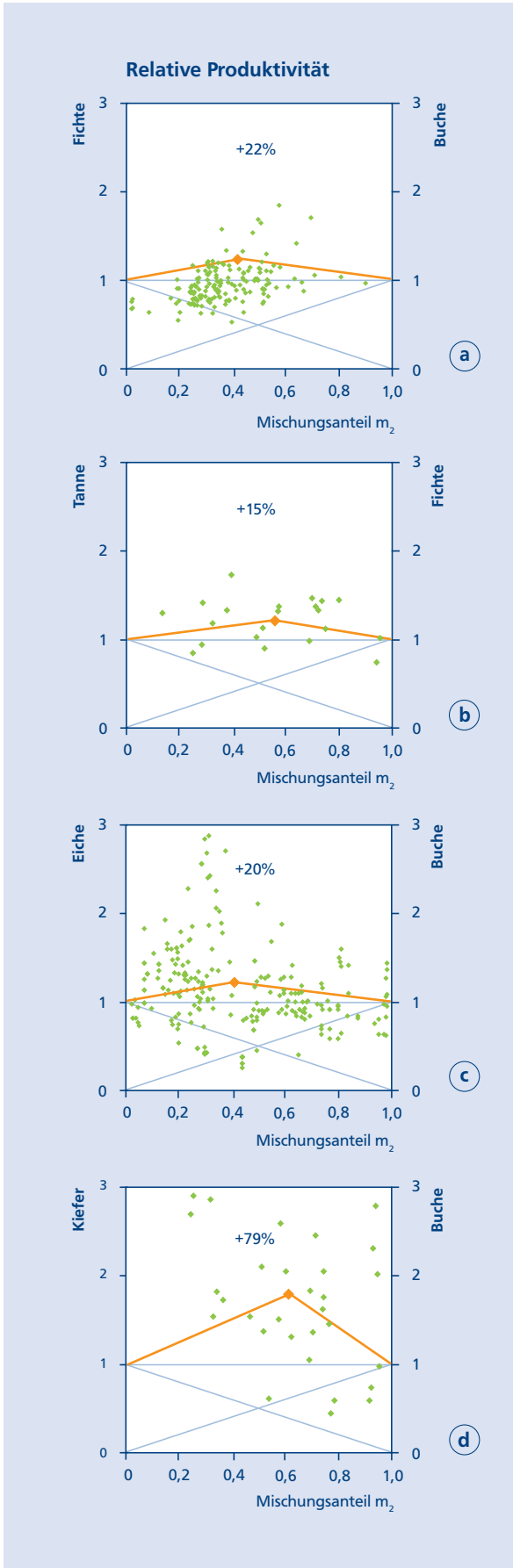
Abbildung 15: Detaillierte Erfassung der Kronenstruktur durch Anwendung von Gerüst, Kran und Laser-Scanning. Ergebnisse solcher punktuell ausgeführter Sonderuntersuchungen sind beispielsweise (a) detaillierte Informationen über Stammformveränderung von Fichte und Buche infolge von langfristiger Ozonbelastung und (b) über terrestrischen Laser-Scanner erfasste dreidimensionale Kronenmorphologien in Rein- und Mischbeständen. Fotos: (a) K.-H. Häberle (b) Lehrstuhl für Waldwachstumskunde

wird es möglich, die Relevanz von beobachteten Strukturen und Prozessen für die Bestands- oder Ökosystemebene insgesamt abzuschätzen. Parallel zu der immer besseren Datenlage über Prozesse und Strukturen auf Organ-, Baum- und Bestandsebene hat sich der Wissensstand über die Umweltfaktoren und Ressourcenversorgung erheblich verbessert. So kann eine immer engere Kausalanalyse zwischen den beobachteten Struktur- und Leistungsgrößen und den zu Grunde liegenden Triebkräften hergestellt werden. Wenn heute hoch auflösende mechanistische Modelle für die Nachbildung des Baum- und Bestandswachstums vorliegen, ist das vor allem der Tatsache zu verdanken, dass langfristige Messreihen auf verschiedenen Skalenebenen (Organ, Individuum, Bestand, Ökosystem) für die Modellentwicklung existieren und gleichzeitig langfristige Zeitreihen der Stör- und Steuergrößen des Wachstums (meteorologische Basisdaten, Immissionswerte, Daten zu biotischen und abiotischen Schäden) aufgezeichnet wurden. Beide Datenquellen zusammen liefern die notwendigen Grundlagen für Modellentwicklungen und -validierungen. Neben dem Streben nach Systemwissen resultiert die immer tiefere Beschreibung und Modellierung von Baum- und Bestandswachstum auch aus dem gestiegenen Informationsbedarf der forstwirtschaftlichen Praxis und der Umweltpolitik. Wurden von dieser Seite in der Vergangenheit im Wesentlichen Informationen zu Holzvorrat und Holzzuwachs nachgefragt, so wird von ertragskundlichen Versuchsflächen heute ein breites Spektrum an Informationen, das praktisch alle Indikatoren und Kriterien für die nachhaltige Waldbewirtschaftung abdeckt, abgerufen (unter anderem Informationen über die Kohlenstoffspeicherung, Schutzfunktion, Struktur- und Biodiversität).

Durch langfristige Messung und Theoriebasierung zur Praxisrelevanz

Die Erzeugung gefälliger Waldbilder (z. B. konkurrenzfrei gestellter Z-Bäume), die Beschreibung von Einzelfällen (z. B. gelungene Eichen-Naturverjüngung unter Buchenschirm) oder reine Existenzbeweise von Baumarten (z. B. Vorkommen von Schwarznuss im Auenwald) mag besonders öffentlichkeitswirksam sein, ist aber nicht Bestreben und Gegenstand der Forschung auf ertragskundlichen Versuchsflächen. Vielmehr zielt die Versuchsarbeit auf die Herausarbeitung zumeist schwer zugänglicher verallgemeinerbarer Aussagen, Regeln oder Gesetzmäßigkeiten der Baum-, Bestands- oder Ökosystemdynamik (Assmann 1961; Spellmann 1991). Es wird nicht allein danach gefragt, wie die Fichte auf einem gegebenen Standort auf Durchforstung reagiert, wie die Mischung von Eiche und Buche auf einem gegebenen Standort gegenüber Reinbeständen in der Produktivität abschneidet oder wie das Verhältnis zwischen Spross- und Wurzelwachstum auf Standorten mittlerer Güte ausfällt. Im Interesse steht vielmehr, wie sich diese und andere Beziehungen im Allgemeinen und in Abhängigkeit von den Standortbedingungen darstellen, also generalisierbar sind.

Deshalb werden ertragskundliche Versuchsflächen zumeist entlang ökologischer Gradienten angelegt. Versuche zum Wachstum von Fichte, Buche oder Eiche in Monokultur, Versuche zur Mischung von Fichte und Buche, Eiche und Buche oder Kiefer und Buche werden entlang eines Standortgradienten begründet, so dass sich die Umweltfaktoren und Ressourcenversorgung auf den einzelnen Versuchsstandorten



merklich voneinander unterscheiden. Nur dann besteht Aussicht, Reaktionsmuster in Abhängigkeit von Triebkräften zu verstehen und zu beschreiben.

Folgende Untersuchungen, an denen Versuchsflächen mehrerer Versuchsanstalten oder sogar mehrerer Länder beteiligt sind, unterstreichen den Nutzen von Querschnittsauswertungen entlang ökologischer Gradienten:

Lange Beobachtungszeitreihen ermöglichen die Aufdeckung von Wachstumstrends, die durch langfristige Standortveränderungen, beispielsweise durch Stoffeinträge, hervorgerufen werden können. So lässt sich für Buchen- und Fichtenbestände in den vergangenen Jahrzehnten ein beschleunigtes Wachstum feststellen. Zwar scheint sich an der generellen Kapazität der Bestände in Bezug auf die maximal mögliche Stammzahl bei einem gegebenen Mitteldurchmesser kaum etwas geändert zu haben. Allerdings sind die Bäume heutiger Bestände bei gleichem Alter deutlich dicker als vor hundert Jahren, sie wachsen also schneller (Pretzsch et al., S. 72 ff. in diesem Heft). Eichen- und Kieferbestände hingegen belegen bei übergreifenden Auswertungen langfristiger Versuchsflächen eher eine Erhöhung der Kapazitätsgrenze der Standorte (Pretzsch et al. 2013b).

Abbildung 16 (links):
Wuchsgesetzmäßigkeiten auf Bestandesebene, abgeleitet aus langfristigen ertragskundlichen Versuchsflächen. Mehr- und Minderzuwachs durch Artenmischung für die Mischungen a) Fichte/Buche, b) Tanne/Fichte, c) Eiche/Buche und d) Kiefer/Buche.

Gegenüber Reinbeständen produzieren insbesondere auf mittleren und ärmeren Standorten Mischbestände 20–30 % mehr oberirdischen Volumen- oder Biomassenzuwachs.

Abbildung 17 (rechts):
Wuchsgesetzmäßigkeiten auf Bestandesebene, abgeleitet aus langfristigen ertragskundlichen Versuchsflächen. Bestandsdichte und Zuwachs bei unterschiedlichen mittleren Baumgrößen (dq) (a und b) und Standortbedingungen (SI) (c und d).

Bei mittlerer Absenkung der Bestandsdichte werden maximale flächenbezogene Zuwächse erreicht. Diese Zuwachsbeschleunigung ebbt mit zunehmender Bestandsentwicklung ab und hängt von der Baumart und den Standortbedingungen ab.

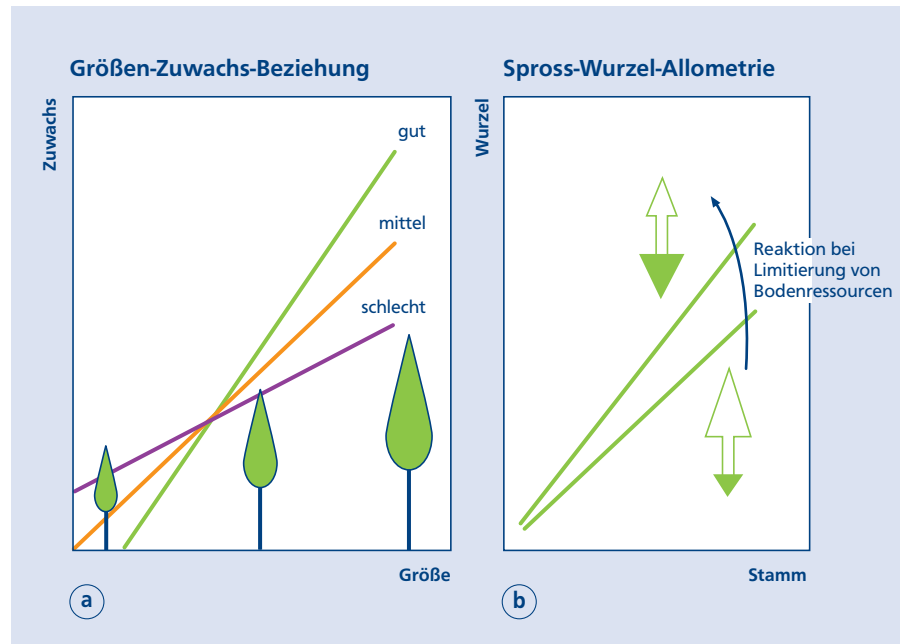
Analysen zum Zusammenhang zwischen Baumartenmischung und Produktivität zeigen, dass im Durchschnitt in Mischbeständen höhere Zuwächse als in benachbarten Reinbeständen aus denselben Baumarten erzielt werden (Kennel 1965; Zöhler 1961; Pretzsch et al. 2012b). Insbesondere auf ärmeren Standorten, auf denen Facilitation gegenüber Konkurrenz in den Vordergrund tritt, kommen Mehrzuwächse vor. Hier schneiden Mischbestände in der Produktivität deutlich besser ab als benachbarte Reinbestände (Abbildung 16).

Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Bestandsdichte und Zuwachs zeigen, dass maximaler Zuwachs meist bei mittlerer Bestandsdichte erzielt wird (Abbildung 17). Die Ausprägung des Maximums ist besonders deutlich auf ärmeren Standorten und in jüngeren Beständen, während die Optimumsbeziehung auf reichen Standorten und in älteren Beständen sowie bei Lichtbaumarten weniger deutlich ausgeprägt ist (Assmann 1961; Pretzsch 2005; Zeide 2001).

Analysen zur Zuwachsverteilung auf die einzelnen Bäume innerhalb von Waldbeständen zeigen, dass sich der Zuwachs auf fruchtbaren Standorten zumeist auf die dominanten und kodominanten Bäume konzentriert und dünnere Bäume geringere Zuwachsraten aufweisen. Dieser Verteilungsmodus ändert sich aber mit Abnahme der Standortqualität dahingehend, dass der Vorteil von Dominanz immer geringer wird und in zunehmendem Maße auch dünnere Bäume zuwachsen (Abbildung 18a). Eine solche standortabhängige Beschreibung des Verteilungsschlüssels von Zuwächsen in Waldbeständen erklärt, warum Strukturdiversität auf reichen Standorten schwerer zu erzielen ist als auf ärmeren Standorten (Pretzsch und Biber 2010).

Messungen auf Baumebene können zum Verständnis der morphologischen Plastizität und strukturellen Formbarkeit von Bäumen sowie zur Weiterentwicklung der Theorie der Allometrie beitragen (Enquist et al. 1998; Pretzsch und Dieler 2012). Beispielhaft seien Untersuchungen über die Standortabhängigkeit des für die Stabilität, Resilienz und Produktivität maßgeblichen Spross-Wurzel-Verhältnisses von Bäumen angeführt. Der Verteilungsschlüssel zwischen ober- und unterirdischem Zuwachs von Bäumen verändert sich entlang ökologischer Gradienten (Abbildung 18b). Bäume verteilen ihren Zuwachs offensichtlich so, dass immer jene Organe verstärkt ausgebaut werden, die den das Wachstum limitierenden Faktor verkleinern können. Limitieren Wasser oder Nährstoffe das Wachstum, so investiert der Baum verstärkt in Wurzeln, sind dagegen

Abbildung 18:
Wachsgesetzmäßigkeiten auf Baum- und Organ-
ebene, abgeleitet aus
langfristigen Versuchs-
flächen.
(a) Zuwachsverteilung auf
die Bäume in gleichaltrigen
Reinbeständen. Abhängig-
keit des Verteilungsschlüs-
sels von den Standortbe-
dingungen.
(b) Allometrische Unter-
suchungen auf Organ- und
Individualebene. Gesetzmäßigkeiten des Spross-
Wurzel-Verhältnisses
in Abhängigkeit von den
Standortbedingungen.



Licht oder Kohlendioxid limitierend, so investiert der Baum in Krone, Laub und Nadeln. Untersuchungen über das Spross-Wurzel-Verhältnis entlang ökologischer Gradienten und in witterungsbedingt günstigen gegenüber ungünstigen Jahren zeigen, dass Bäume bei guter Wasser- und Nährstoffversorgung eher »kopflastig« werden, während sie bei ungünstiger Versorgung mit bodengebundenen Ressourcen das Wurzelwachstum intensivieren (Pretsch et al. 2012b).

Der besondere Wert solcher verallgemeinerbarer Aussagen besteht zum einen darin, dass sie zur Theoriebildung in der Ökologie beitragen. Aufgrund ihrer Verallgemeinerbarkeit liefern sie zum anderen der forstlichen Praxis ein Grundgerüst zum Verständnis der Walddynamik und damit für die Planung und waldbauliche Entscheidung. Besonders wesentlich ist die Kenntnis, wie sich Zusammenhänge zwischen Triebkräften und Zuwachsreaktionen in Quantität und Qualität über Standorte hinweg verändern. Eine Übertragung von punktuell gewonnenen Erkenntnissen auf andere Standorte ist deshalb ohne Einbeziehung dieser allgemeinen Gesetzmäßigkeiten kaum möglich, sondern erzeugte in der Vergangenheit immer wieder Meinungsverschiedenheiten, Missverständnisse und weitreichende Fehlentscheidungen. Lokal gewonnene Erfahrungen über das Waldwachstum konnten aufgrund des regional begrenzten Tätigkeitsbereichs der Forstpraktiker selten andernorts überprüft werden. Der Praktiker neigte deshalb zu ungerechtfertigten Verallgemeinerungen seines lokal gewonnenen Erfah-

rungswissens. 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 nicht zuletzt aus dem beharrlichen Festhalten an vermeintlichem Erfahrungswissen, das auf lokalen Beobachtungen, aber nicht auf Messungen entlang von ökologischen Gradienten beruhte.

In Bayern erbrachte die enge Anbindung des Ertragskundlichen Versuchswesens an die forstwissenschaftliche Forschung (Münchner Modell) von Beginn an die wissenschaftliche Analyse, theoriegetriebene Interpretation und biometrische Formulierung ökologischer Gesetzmäßigkeiten. Die oben genannten sowie weitere ökologische Zusammenhänge in Waldbeständen wurden also nicht allein nur beschrieben und in konzeptuelle Modelle integriert, sondern mit Methoden der Biomathematik analysiert und algorithmisch nachgebildet. Das bringt eine Reihe von großen Vorteilen: Die Zusammenhänge werden quantitativ, also parametrisiert. Aussagen werden dadurch überprüfbar, das heißt, sie können mit neuen empirischen Daten falsifiziert werden. Ein entscheidender Vorteil besteht darin, dass einzelne funktionelle Komponenten von Waldökosystemen Mosaikstein für Mosaikstein biometrisch so beschrieben werden können, dass sie sich letztlich zu einer Gesamtvorstellung integrieren lassen.

Die so entwickelten Wachstumsmodelle zum Baum- und Bestandswachstum sind Hypothesenketten über Strukturen und Funktion von Komponenten von Wäldern oder Ökosystemen insgesamt. Werden mit solchen Modellen Szenarien berechnet und die Ergebnisse mit empirischen Daten verglichen, kommt das einer Hypothesenprüfung gleich, wobei die Modellvorstellung die Hypothese darstellt. Durch Weiterentwicklung, Ausbau, wiederholte Falsifizierungsversuche in Form von Szenarioanalysen und Vergleich zwischen Modell und Wirklichkeit kann eine zunehmend bessere Vorstellung von der Interaktion verschiedener Systemkomponenten und vom System insgesamt entstehen.

Gleichzeitig erbringt die Modellierung Werkzeuge für praxisrelevante Szenarioanalysen und Prognosen. So sind etwa das Wachstumsmodell SILVA 2.0 und das speziell für die forstwirtschaftliche Praxis entwickelte Modell SILVA 3.0 (Pretzsch 2001; Pretzsch et al. 2002b) Beispiele dafür, wie ertragskundliche Daten und daraus abgeleitetes Wissen in Modellen verdichtet werden und wie solche Modelle dann durch die Nutzung seitens der Praxis für Hiebsatzplanung, Forsteinrichtung und Entwicklung waldbaulicher Pflegekonzepte Anwendung finden (Abbildung 19). Praxisreife, regelmäßig überprüfte und verbesserte Modelle bilden die bestmögliche Rückführung von ertragskundlichen Versuchsflächen- und Inventurdaten in die forstwirtschaftliche Praxis.

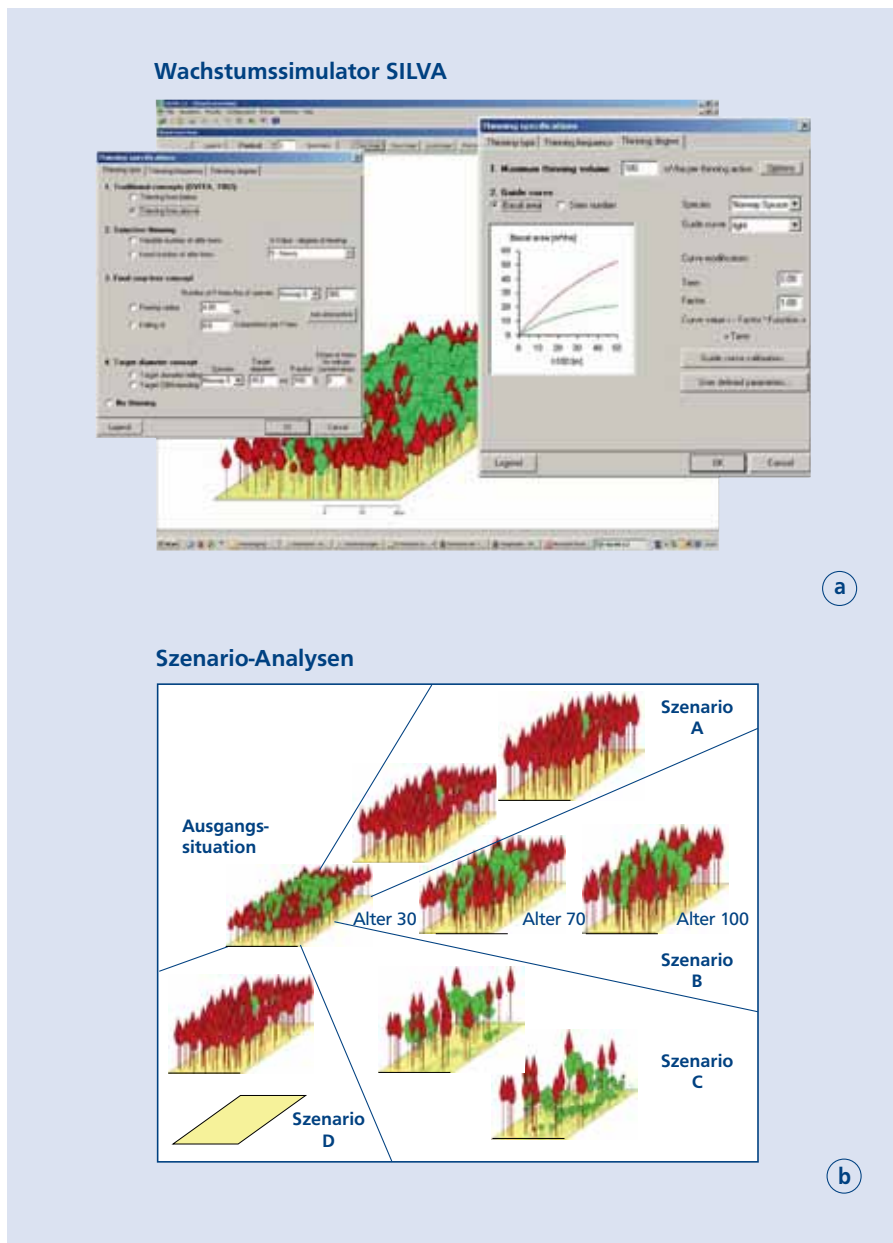


Abbildung 19: Der Waldwachstumsimulator SILVA als Instrument für die Rückführung der Versuchsergebnisse in die forstliche Praxis; dargestellt sind a) die Programmoberflächen von SILVA 2 (englische Version) und b) das Prinzip von Szenarioanalysen.

Synergien von ertragskundlichen Versuchsflächen und Waldinventuren

Seit den 1970er Jahren wird der Waldzustand auf Bund-, Länder- oder Forstbetriebsebene in zunehmendem Umfang und mit Wiederholung durch Waldinventuren erhoben. Angesichts der Verfügbarkeit solcher Inventurdaten wurde der Nutzen langfristiger ertragskundlicher Versuchsflächen wiederholt diskutiert (v. Gadow 1999; Nagel et al. 2012). Inventuren und langfristige Versuchsflächen dienen unterschiedlichen Zwecken, erbringen unterschiedliche Informationen und können sich ergänzen, aber nicht gegenseitig ersetzen.

Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Informationsquellen besteht darin, dass langfristige ertragskundliche Versuche Experimente darstellen, in denen Ursache-Wirkungs-Beziehungen aufgedeckt werden. In Durchforstungsversuchen werden bei gleichen sonstigen Bedingungen unterschiedliche Durchforstungsgrade in ihrer Wirkung auf die Produktivität geprüft. Provenienzversuche prüfen die Auswirkungen unterschiedlicher genetischer Herkünfte auf Produktivität, Resistenz und Holzqualität von ausgewählten Baumarten. Inventuren hingegen zielen auf unverzerrte Schätzungen des großregionalen Zustands und der Entwicklung von Wäldern, indem sie beispielsweise ausgewählte Variablen erfassen (z. B. die Baumartenzusammensetzung, das Bestandsvolumen, die Benadelungsdichte oder den Totholzvorrat). Sie repräsentieren dabei normalerweise mittlere Bedingungen (z. B. mittlere Bestandsdichten, Mischungsverhältnisse, Wachstum ohne aktive Düngung) und decken kaum Extremsituationen (z. B. Solitärbedingungen, maximale Bestandsdichte) ab, welche gerade für das Verstehen und die Modellierung des Baum- und Bestandswachstums besonders nützlich sind. Langfristige Versuchsflächen sind allerdings teuer und zeitaufwendig. Deshalb ist die Anzahl der Versuchsanlagen im langfristigen Ertragskundlichen Versuchswesen immer relativ beschränkt. Andererseits erbringt erst eine längerfristige Beobachtung mit Registrierung des ausscheidenden Bestands verlässliche Werte über die Gesamtwuchsleistung. Inventurdaten oder nur kurzfristig beobachtete Versuchsflächen ermöglichen deshalb keinen Zugang zur Gesamtwuchsleistung und beschränken sich auf die Erfassung des stehenden Vorrats, der nur einen Teil der gesamten Produktivität ausmacht. Gerade im Rahmen waldökologischer Untersuchungen, welche die Nährstoff-, Energie- oder Kohlenstoffbilanz betrachten, ist aber die vollständige Erfassung

von verbleibendem und stehendem Vorrat einschließlich des Turnover an Biomasse unverzichtbar.

Eine sinnvolle Kombination von Inventurdaten und Wissen aus ertragskundlichen Versuchsflächen kann folgendermaßen erreicht werden: Langfristige ertragskundliche Versuchsflächen spiegeln für ein breites Spektrum von Standortbedingungen und Behandlungsvarianten die Zuwachsreaktion auf Baum- und Bestands Ebene wider. Sie dienen der Parametrisierung von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen (z. B. zwischen Bestandsdichte und Baum- und Bestandswachstum). Inventurdaten ermöglichen die Kalibrierung solcher Zusammenhänge für Regionen, die nicht explizit über ertragskundliche Versuchsflächen abgedeckt sind. Damit dienen Inventuren der Hochskalierung von punktuell gewonnenem Wissen auf die Landschaftsebene. Beispiele für die gelungene Kombination von Daten ertragskundlicher Versuchsflächen und Inventurdaten bilden Wuchsmodelle: Ihr biometrisches Funktionensystem zur Nachbildung der Baum- und Bestandsdynamik basiert auf Systemwissen, das über Jahrzehnte bis Jahrhunderte aus ertragskundlichen Versuchsflächen gezogen wurde. Inventurdaten liefern dann Startwerte, Steuergrößen und Kalibrierungsdaten für die Anpassung und Anwendung des biometrischen Modells in der Praxis (Pretzsch et al. 2002b). Damit wird der Erkenntnis gefolgt, dass Waldökosysteme prinzipiell immer ähnlich funktionieren, lediglich die Systemparameter, Start- und Steuergrößen sowie die vom Management nachgefragten Ausgabegrößen zu Funktionen und Leistungen des Waldes sind regional unterschiedlich.

Wissenstransfer in Lehre, Forschung und Praxis

Wissen aus dem Ertragskundlichen Versuchswesen wird auf vielerlei Wegen in Lehre, Forschung und Praxis eingebracht (Abbildung 20). Die Forschungsergebnisse werden laufend in die Ausbildung an Universitäten, Hochschulen und Schulen integriert und erfahren in Form von Lehrbüchern (Pretzsch 2001, 2002, 2009) weitere Verbreitung. Regelmäßig werden die Forschungsergebnisse durch Veröffentlichung in referierten, internationalen Zeitschriften in die internationale fachliche Diskussion eingebracht. Publikationen in praxisnahen Journalen, beispielsweise in LWF aktuell, LWF Wissen, AFZ-DerWald oder dem Bayerischen Landwirtschaftlichen Wochenblatt dienen dem direkten Wissenstransfer an die forstliche Praxis. Sowohl das Wissen aus dem Ertragskundlichen Versuchswesen als auch die



Abbildung 20: Aufbauend auf den Erfahrungen und dem Wissen aus dem Ertragskundlichen Versuchswesen in Bayern erfolgt die Beratung Dritter bei Anlage und Auswertung von Versuchsflächen (a), der Entwicklung von Pflegerichtlinien und der Entwicklung und Ausführung von waldbaulichen Maßnahmen (b). Foto: S. Seifert

Versuchsflächen selbst werden für die forstliche Beratung verwendet. Beispielsweise werden andere Institutionen in der Anlage und Auswertung von Versuchsflächen beraten. Bei der Entwicklung von Pflegerichtlinien der Bundesländer liefern Versuchsflächen wertvolle Hinweise zum standortabhängigen waldbaulichen Handlungsspielraum. Im Rahmen von Beratungen für Waldpraktiker dienen sie gleichzeitig als Anschauungsobjekte für Waldentwicklungen unter definierten Bedingungen. In der Anwendung von Wachstumsmodellen für die Nachhaltsplanung auf Bestands-, Betriebs- oder Landesebene besteht eine besonders wirksame Rückkopplung zwischen Versuchswesen, Wissenschaft und Praxis. Ein Beispiel für diese Art des Wissenstransfers bildet der Waldwachstumssimulator SILVA, der als Handwerkszeug für die Forstplanung dient (Abbildung 19). Schließlich hat das Ertragskundliche Versuchswesen in Bayern in den zurückliegenden Jahren in Ländern wie Tschechien, der Slowakei, Portugal, Südafrika, Kanada, Chile und Vietnam – unter anderem durch den Transfer von Wissen zur Anlage und Auswertung von Versuchen, zur Baum- und Bestandsmodellierung und zur Entwicklung von Szenarioanalysen – eine erhebliche internationale Wirkung entfaltet.

Perspektiven

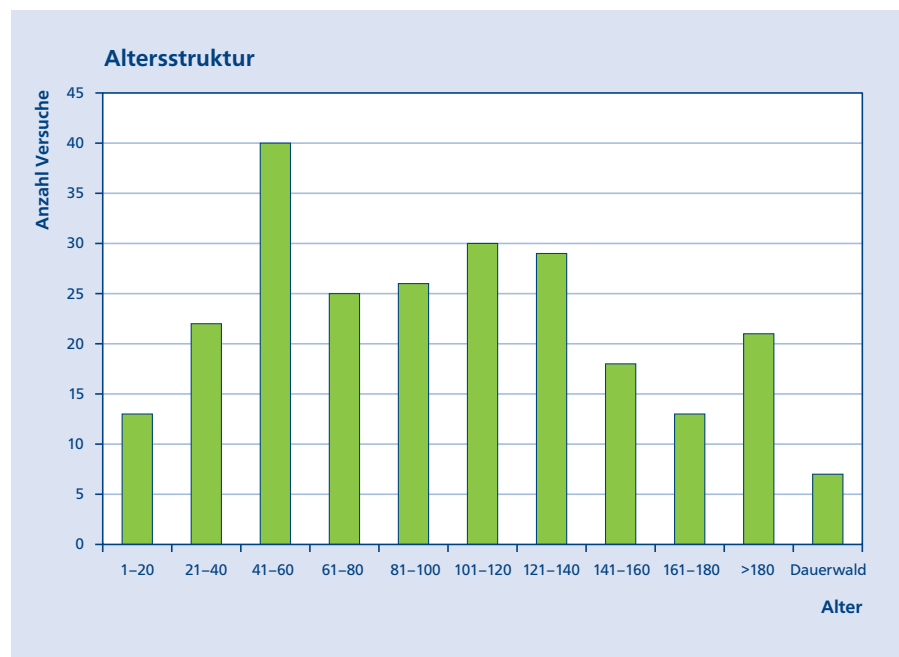
Langfristige Versuche, deren ursprüngliche Frage nach wiederholter Aufnahme und Auswertung bereits beantwortet ist, entwickeln häufig unerwartet neue Aktualität. Gegenwärtig erhalten z. B. Düngungsversuche, die in den 1950er bis 1970er Jahren angelegt und seitdem messtechnisch aufgenommen werden, angesichts der Bewertung von Biomasse- und Nährstoffentzügen im Rahmen der Holzernte neue Aktualität. Aus solchen Versuchen lassen sich Zusammenhänge zwischen Produktivität und Nährstoffversorgung ableiten, wie sie für den nachhaltigen Umgang von Wäldern bei energetischer Nutzung von Biomasse bisher fehlen. Ein weiteres Beispiel für die Wiederbelebung von bereits überholt anmutenden Versuchen bilden Provenienzversuche zu den Hauptbaumarten, die ursprünglich der Auswahl von Bäumen geeigneter Vitalität und Qualität sowie Widerstandskraft unter gegenwärtigen Wuchsbedingungen dienten. Diese erhalten aktuellen Zeitbezug, indem sie die Resistenz unterschiedlicher Provenienzen gegenüber Klimaänderungen (Klimatrends und Witterungsevents) widerspiegeln. Eine Renaissance erleben auch Mischbestandsversuche, die ursprünglich vor allem der Klärung des Zusammenhangs zwischen Produktivität und Diversität dienen.

Sie gewinnen angesichts des Strebens nach erhöhter Risikovorsorge, Stabilität und Ressourcennutzungseffizienz in Wald- und Landwirtschaft gegenwärtig enorme Bedeutung.

Aufgrund der Erfahrungen, dass die lange zurückreichenden Messreihen ertragskundlicher Versuche häufig auch Antworten auf Fragen ermöglichen, die bei der Anlage noch gar nicht gestellt wurden, erfolgt die Aufgabe von langfristigen Versuchsflächen nur äußerst überlegt und zögerlich. Dennoch scheiden immer wieder Flächen alters- oder kalamitätsbedingt aus dem Versuchsflächennetz aus. Der Erhalt dieses Netzes sowie Überlegungen zu Neuanlagen von Versuchsflächen müssen, wie die Forstwirtschaft selbst, vom Gedanken der Nachhaltigkeit getragen werden, damit künftige Generationen mit geeigneten Versuchsobjekten und Informationsgrundlagen versorgt bleiben. Ähnlich wie eine nachhaltige Holzversorgung durch Gleichverteilung der Betriebsfläche über die Altersklassen gewährleistet wird, sollten auch langfristige Versuchsflächen etwa gleich über die Altersklassen verteilt sein. Die Baumarten und Standorte, die unsere Wälder prägen, müssen repräsentativ durch Versuchsflächen abgedeckt sein. Dabei darf die mögliche Änderung der Baumarteneignung bzw. Standortverschiebung durch den Klimawandel nicht außer Acht gelassen werden. Nur so ist eine dauerhafte Versorgung mit geeigneten Versuchsflächen aller Altersklassen und relevanter Mischungsformen mit Blick auf waldwachstumskundliche Basisdaten, Anschauungsobjekte, Trainingsflächen und wissenschaftliche Daten-

basis gewährleistet. Wenn wir beispielsweise nur die gegenwärtige Altersklassenverteilung im ertragskundlichen Versuchsflächennetz in Bayern betrachten (Abbildung 21), wird ein Defizit in den ersten zwei Altersklassen offensichtlich, dem vor allem ein Mangel an jüngeren Standraum- und Durchforstungsversuchen zu den Hauptbaumarten zugrunde liegt. Deshalb zielen gegenwärtige Neuanlagen insbesondere auf die Erneuerung der Versuche in diesen Altersklassen. Weiterhin wird der Ausbau des Versuchsbereichs zu Baumartenmischungen (z. B. Eiche/Buche, Kiefer/Buche, Buche/Fichte, Buche/Tanne), Mischung von einheimischen und fremdländischen Baumarten (z. B. Buche/Douglasie, Kiefer/Roteiche) und zur Anlage kombinierter Mischungs- und Durchforstungsversuche der genannten Mischungen angestrebt. Auch originelle Neuanlagen, wie etwa der internationale Nelder-Versuch zur Baumart Eiche (Abbildung 5b), zählen zu solchen Neuanlagen, die gegenwärtig schon erste Ergebnisse erbringen. Ihr volles Informationspotenzial werden sie aber – und das gilt für alle Neuanlagen – erst in mehreren Jahrzehnten entfalten.

Abbildung 21:
Langfristige Versuchsflächen, gegliedert nach Bestandsalter. Sichtbar wird ein Defizit von insbesondere jüngeren Versuchsflächen in den ersten zwei Alterklassen.



Danksagung

Die Betreuung der ertragskundlichen Versuchsflächen in Bayern wird personell und finanziell im Dauerprojekt »Ertragskundliche Betreuung der langfristigen Versuche (W07)« gemeinschaftlich von der Bayerischen Forstverwaltung und der Technischen Universität München getragen. Die Versuchsflächen liegen zum größten Teil im Staatswald Bayerns, der von den Bayerischen Staatsforsten bewirtschaftet wird, aber auch in zahlreichen Privat- und Kommunalwäldern. Wir danken an dieser Stelle allen Beteiligten ausdrücklich für die nachhaltige Unterstützung zum Erhalt und zur beständigen Weiterentwicklung des Ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern.

Literatur

- Assmann, E. (1961): Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. BLV Verlagsgesellschaft, München, Bonn, Wien, 490 S.
- Enquist, B.J.; Brown, J.H.; West, G.B. (1998): Allometric scaling of plant energetics and population density. *Nature* 395, S. 163–165
- Franz, F. (1968): Das EDV-Programm STAOET – zur Herleitung mehrgliedriger Standort-Leistungstabellen. Unveröffentlicht, München
- Franz, F. (1972): Gedanken zur Weiterführung der langfristigen ertragskundlichen Versuchsarbeit. *Forstarchiv* 43 (11), S. 230–233
- Gadow v., K. (1999): Datengewinnung für Baumhöhenmodelle – permanente und temporäre Versuchsflächen, Intervallflächen, *Centralblatt für das gesamte Forstwesen*, 116(1/2), S. 81–90
- Ganghofer v., A. (1877): Das forstliche Versuchswesen. Bd. 1, H. 1, im Selbstverlag des Herausgebers, München, 176 S.
- Kennel, R. (1965): Untersuchungen über die Leistung von Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 136, S. 149–161, S. 173–189
- Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München (2012): Ertragskundliches Versuchswesen in Bayern. Exkursionsführer MWW-EF 151, 21 S. Dokumentation DVFFA
- Nagel, J.; Spellmann, H.; Pretzsch, H. (2012): Zum Informationspotenzial langfristiger forstlicher Versuchsflächen und periodischer Waldinventuren für die waldwachstumskundliche Forschung. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 183. Jg., 5/6, S. 111–116
- Pretzsch, H. (2001): Modellierung des Waldwachstums. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, Wien, 336 S.
- Pretzsch, H. (2002): Grundlagen der Waldwachstumforschung. Blackwell Verlag, 414 S.
- Pretzsch, H. (2004): Der Zeitfaktor in der Waldwachstumforschung. *LWF Wissen* 47, S. 11–30
- Pretzsch, H. (2005): Stand density and growth of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.). Evidence from long-term experimental plots. *Eur. J. For. Res.* 124, S. 193–205
- Pretzsch, H. (2009): Forest dynamics, growth and yield – From measurement to model. Springer, Berlin, Heidelberg, 664 S.
- Pretzsch, H.; Utschig, H.; Bachmann, M. (2002a): Innovation durch Kontinuität – Das Ertragskundliche Versuchswesen in Bayern. *Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung*, Heft 51, Band II, S. 425–443
- Pretzsch, H.; Biber, P.; Ďurský, J. (2002b): The single-tree-based stand simulator SILVA. Construction, application and evaluation. *Forest Ecology and Management*, 162, S. 3–21
- Pretzsch, H.; Biber, P. (2010): Size-symmetric versus size-asymmetric competition and growth partitioning among trees in forest stands along an ecological gradient in central Europe. *Can. J. For. Res.* 40(2), S. 370–384
- Pretzsch, H.; Dieler, J. (2012): Evidence of variant intra- and interspecific scaling of tree crown structure and relevance for allometric theory. *Oecologia* 169/3, S. 637–649
- Pretzsch, H.; Uhl, E.; Biber, P.; Schütze, G.; Coates, D. (2012a): Change of allocation and allometry between coarse root and shoot of Lodgepole pine (*Pinus contorta* DOUGL. ex. LOUD.) along an abiotic stress gradient in the sub-boreal forest zone of British Columbia. *Scandinavian Journal of Forest Research* 27/6, S. 532–544
- Pretzsch, H.; Bielak, K.; Bruchwald, A.; Dieler, J.; Dudzińska, M.; Erhart, H.-P.; Jensen, A.M.; Johannsen, V.K.; Kohnle, U.; Nagel, J.; Spellmann, H.; Zasada, M.; Zingg, A. (2012b): Mischung und Produktivität von Waldbeständen. *Ergebnisse langfristiger ertragskundlicher Versuche*. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 184(7/8), S. 177–196
- Pretzsch, H.; Uhl, E.; Nickel, M.; Steinacker, L.; Schütze, G. (2013a): Das Ertragskundliche Versuchswesen in Bayern – Nachhaltigkeit in der Waldwachstumssforschung. In: *LWF Wissen* 72, S. 114–121
- Pretzsch, H.; Biber, P.; Schütze, G.; Bielak, K. (2013b): Changes of forest stand dynamics in Europe. Facts from long-term observational plots and their relevance for forest ecology and management. *Forest Ecology and Management*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.050>
- Preuhsler, T. (1979): Ertragskundliche Merkmale oberbayerischer Bergmischwald-Verjüngungsbestände auf kalkalpinen Standorten im Forstamt Kreuth. *Forstl. Forschungsber.* München 45, 372 S.

Preuhler, T. (1990): Einfluß von Grundwasserentnahmen auf die Entwicklung der Waldbestände im Raum Genderkingen bei Donauwörth. Forstl. Forschungsber. München 101, 95 S.

Rehfuess, K.-E. (1978): 100 Jahre Forstwissenschaft in München. In: Fachbereich Forstwissenschaft der Ludwig-Maximilians-Universität München (Hrsg.), Symposium »100 Jahre Forstwissenschaft in München«. Forschungsberichte der Forstlichen Forschungsanstalt München, Nr. 42, S.1–8

Schober, R. (1961): Zweckbestimmung, Methodik und Vorbereitung von Provenienzversuchen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 132 (2), S.29–38

Spellmann, H. (1991): Beiträge der Forsteinrichtung und Ertragskunde für ein forstliches Informationssystem. Forst und Holz 46, S.57–65

Spellmann, H.; Wagner, S.; Nagel, J.; Guericke, M.; Griese, F. (1996): In der Tradition stehend, neue Wege beschreitend. Forst und Holz 51 (11), S.363–368

Wiedemann, E. (1949): Ertragstafeln der wichtigen Holzarten bei verschiedener Durchforstung. Verlag M & H Schaper, Hannover

Wiedemann, E. (1951): Ertragskundliche und waldbauliche Grundlagen der Forstwirtschaft. JD Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main

Zeide, B. (2001): Thinning and growth: A full turnaround. J Forestry 99, S.20–25

Zöhrer, F. (1969): Bestandszuwachs und Leistungsvergleich montan, subalpiner Lärchen-Fichten-Mischbestand. Forstw. Cbl. 88 (1), S.41–63

Schlüsselwörter: long term yield trials, forest growth, forest measurement, ecosystem knowledge, transfer of Knowledge

Summary: The long-term experimental plots in Bavaria are forming the basis for generation-overarching growth and yield research. The sustainability aspect of growth and yield research in Bavaria has been stressed in LWF Wissen on the occasion of the 300th anniversary of *Sylvicultura Oeconomica* published by Carl von Carlowitz in 1713. The paper in hand provides an extended version with an overview on the most relevant results and their relevance for forest science and practice. Since its foundation in the 1860ies by August von Ganghofer the trials provide relevant knowledge about growth and dynamic of forest stands by continuously monitoring, measurement and analyses. We briefly stretch how they have contributed substantially to forest ecosystem understanding and forest management planning since the early beginnings of the trial network in the 1860ies.
