

**LWF**

**Wissen**

**76**

## Das forstliche Versuchswesen in Bayern

BAYERISCHE  
FORSTVERWALTUNG 



  
ZENTRUM WALD FORST HOLZ  
WEIHENSTEPHAN

Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

**Das forstliche  
Versuchswesen  
in Bayern**

# Impressum

## ISSN 2198-106X

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, sowie fotomechanische und elektronische Wiedergabe nur mit Genehmigung des Herausgebers. Insbesondere ist eine Einspeicherung oder Verarbeitung der auch in elektronischer Form vertriebenen Broschüre in Datensystemen ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig.

### Herausgeber und Bezugsadresse

Bayerische Landesanstalt  
für Wald und Forstwirtschaft (LWF)  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
Telefon: +49 (0) 81 61/71-4801  
Fax: +49 (0) 81 61/71-4971  
poststelle@lwf.bayern.de  
www.lwf.bayern.de

### Verantwortlich

Olaf Schmidt, Leiter der Bayerischen Landesanstalt  
für Wald und Forstwirtschaft

### Redaktion

Stefan Geßler, Dr. Dagmar Förster

### Layout

Mano Wittmann, Komplizenwerk

### Titelfoto

Leonhard Steinacker

### Druck

Bosch-Druck GmbH, Ergolding

### Auflage

800 Stück

### Copyright

Bayerische Landesanstalt  
für Wald und Forstwirtschaft  
Dezember 2014

# Vorwort

Forstwirtschaft ist aufgrund der langen Lebenszeit der Bäume langfristig angelegt. Vergleicht man die üblichen Erntealter oder gar die biologische Lebensspanne wichtiger einheimischer Baumarten mit unserer durchschnittlichen Lebenserwartung, so werden uns die Unterschiede der zeitlichen Dimension besonders deutlich. Nachhaltigkeit setzt zwangsläufig langfristiges, strategisches Denken, Planen und Handeln voraus, das den auf kurzfristige Gewinnmaximierung geprägten Ökonomen im Allgemeinen fehlt. Der forstliche Klassiker Georg Ludwig Hartig (1764–1837) formulierte seine Definition der Nachhaltigkeit daher wie folgt: »... jede weise Forstdirection muss daher die Waldungen... doch so zu benutzen suchen, dass die Nachkommenschaft wenigstens ebenso viel Vortheil daraus ziehen kann, als sich die jetzt lebende Generation zueignet«.

König Ludwig der II. gründete im Jahr 1881 auf Veranlassung von August von Ganghofer die Forstliche Versuchsanstalt in München. Der Schwerpunkt lag zunächst in der forstlichen Ertragskunde und der Holzproduktion. Forschungsergebnisse sollten in praxisgerechte Anwendungen münden. Ganghofer zählt zu den Gründungsmitgliedern des Vereins der Forstlichen Versuchsanstalten Deutschlands. Überzeugende Beispiele für Kontinuität in der Forschung sind heute neben den ertragskundlichen Versuchsflächen unter anderem die Naturwaldreservate und die Waldklimastationen. Seit 1970 wird in Bayern ein Netz naturnaher Waldbestände ausgewiesen, in denen jegliche forstliche Nutzung unterbleibt und das heute 160 Naturwaldreservate mit einer Fläche von 7.066 ha umfasst. Hier werden in einzigartiger Weise natürliche Prozesse untersucht, in denen der Mensch nicht aktiv eingreift. Mit Hilfe forstmeteorologischer Messstationen erkundete bereits im 19. Jahrhundert Prof. Dr. Ernst Ebermayer die Gefahren negativer Witterungseinflüsse auf den Wald. Aus heutiger Sicht, vor allem unter dem Gesichtspunkt des Klimawandels, war es richtungweisend und innovativ, ab 1989 in Bayern ein Messnetz von Waldklimastationen mit einem umfassenden Forschungsansatz einzurichten.

Wie schon zu Beginn des forstlichen Versuchswesens sind auch heute Wissenschaftler und Praktiker bestrebt, künftigen Generationen langfristig nutzbare Ressourcen zu hinterlassen. Dieses Bestreben kann nur erfolgreich sein, wenn die nachfolgenden Generationen von den »Alten« lernen, aber auch mit offenen Augen und wachem Geist eigene Erkenntnisse hinzugewinnen. Mit dieser Ausgabe von LWF Wissen wollen wir einen Bogen spannen von den Anfängen forstlicher Forschung bis hin zu Überlegungen für die Zukunft.

Olaf Schmidt  
Präsident der Bayerischen Landesanstalt  
für Wald und Forstwirtschaft



**Sie finden  
Nachhaltigkeit  
modern?**

**Wir auch –  
seit 300 Jahren.**

**FORSTWIRTSCHAFT  
IN DEUTSCHLAND**  
Vorausschauend aus Tradition

# Inhaltsverzeichnis

Impressum .....	2
Vorwort .....	3
Inhaltsverzeichnis .....	5
<b>Die lange Geschichte der ertragskundlichen Versuchsflächen in Bayern</b> .....	7
Hans Pretzsch, Enno Uhl, Martin Nickel, Leonhard Steinacker und Gerhard Schütze	
<b>36 Jahre Dauerbeobachtung in bayerischen Naturwaldreservaten</b> .....	31
Udo Endres und Bernhard Förster	
<b>Waldbauliche Versuche in Bayern</b> .....	36
Bernhard Felbermeier, Sebastian Höllerl, Bernd Stimm, Alexander Abt, Franz Binder, Hany El Kateb und Reinhard Mosandl	
<b>»Woher wissen Sie das?« – Versuchsflächen an der Fakultät Wald und Forstwirtschaft der HSWT</b> .....	54
Manfred Schölch und Bernhard Thalhammer	
<b>Bayerische Waldklimastationen: Umweltbedingte Veränderungen im Wald erkennen und bewerten</b> .....	58
Hans-Peter Dietrich, Stephan Raspe, Lothar Zimmermann, Ernst Bickel, Uwe Blum, Anna Kanold, Alfred Schubert, Alexandra Wauer und Christian Kölling	
<b>Versuchsflächen am Bayerischen Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP)</b> .....	67
Monika Konnert, Gerhard Huber und Randolph Schirmer	
<b>Veränderte Dynamik von süddeutschen Waldbeständen seit 1870</b> .....	72
Hans Pretzsch, Peter Biber, Gerhard Schütze, Enno Uhl und Thomas Rötzer	
<b>Überlegungen zur Weiterentwicklung des Ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern</b> .....	88
Enno Uhl, Christian Kölling und Hans Pretzsch	
<b>Anschriften der Autoren</b> .....	98



---

# 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).

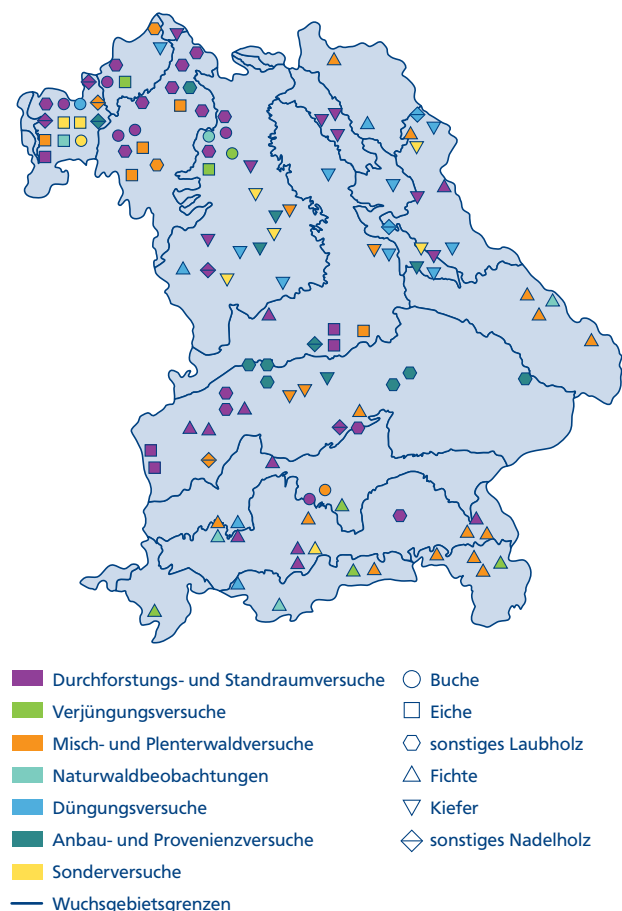


Abbildung 2: Übersichtskarte der langfristigen ertragskundlichen Versuchsflächen in Bayern mit Hervorhebung der Baumarten (Form der Symbole) und Versuchsarten (Farbe der Symbole) zum Stichtag 1.5.2012

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).

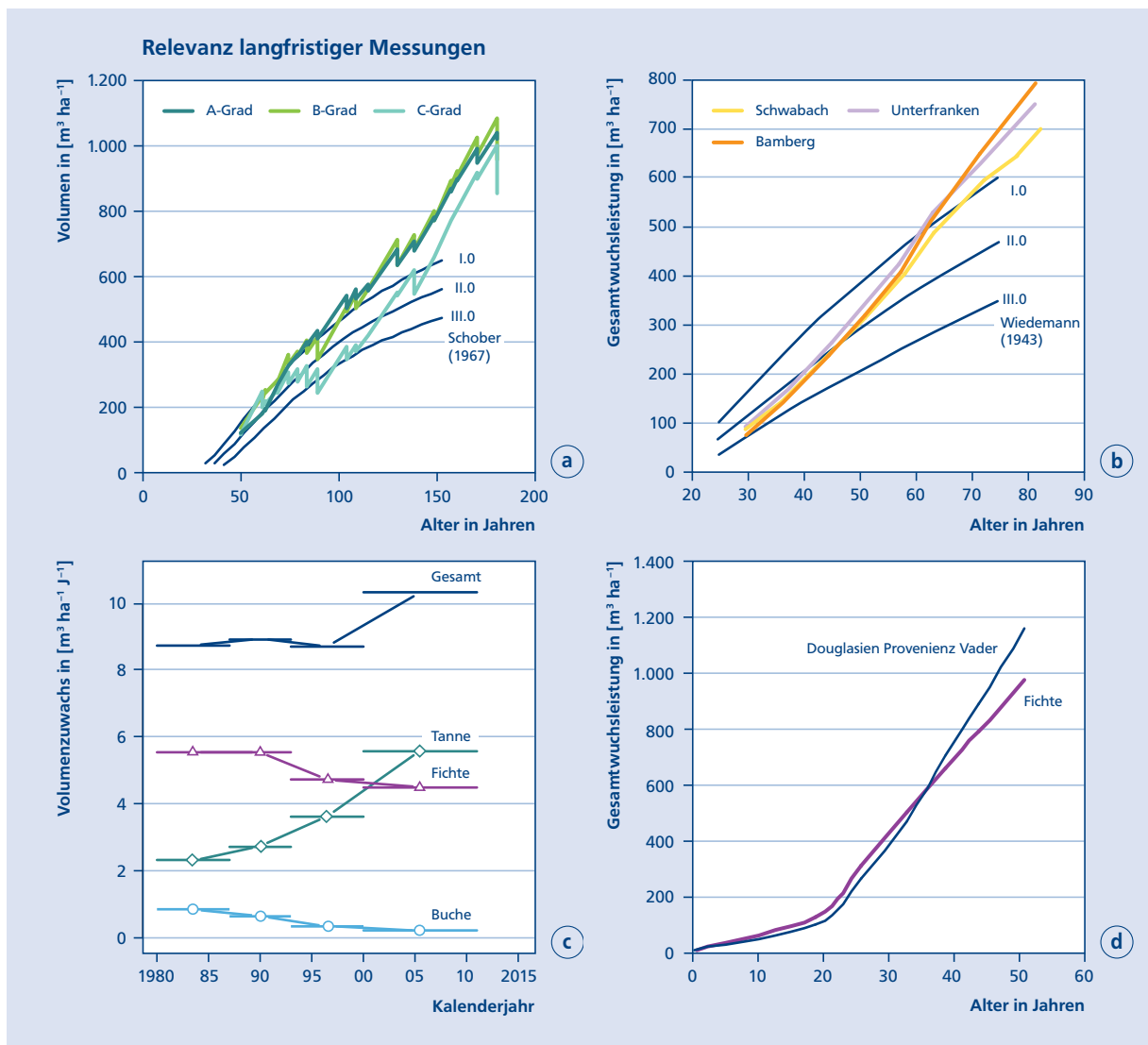


Abbildung 3: Beispiele für die Relevanz langfristiger Messungen auf ertragskundlichen Versuchsflächen; (a) Wachstumstrends der Buche auf der Buchen-Durchforstungs-Versuchsfläche Fabrikschleichach 15 im Vergleich zur Ertragstafel, (b) Aufholen der Kiefern-Provenienz Bamberg gegenüber den Provenienzen 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.

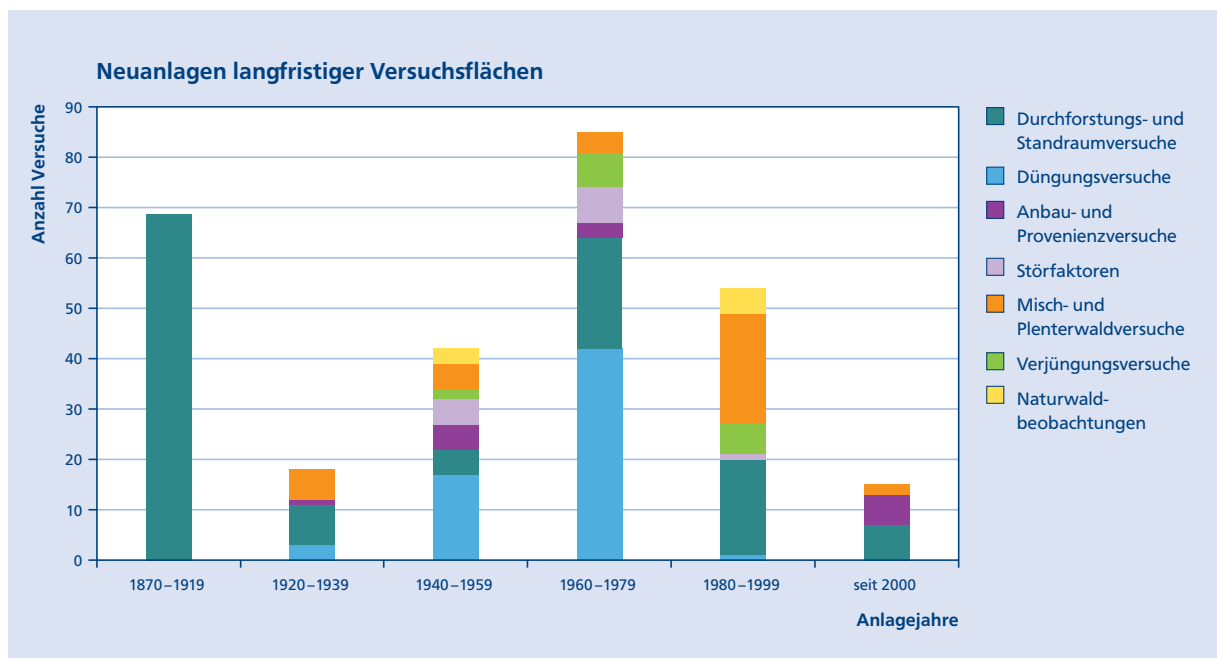


Abbildung 4: Übersicht über die Neuanlage langfristiger Versuchsflächen seit 1870 (Stand 1.5.2012): Versuche zu den Themenbereichen Durchforstung und Standraum (petrol), Düngung (blau), Anbau- und Provenienz (violett), Störfaktoren (flieder), Mischwald- und Plenterversuche (orange), Verjüngungsversuche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

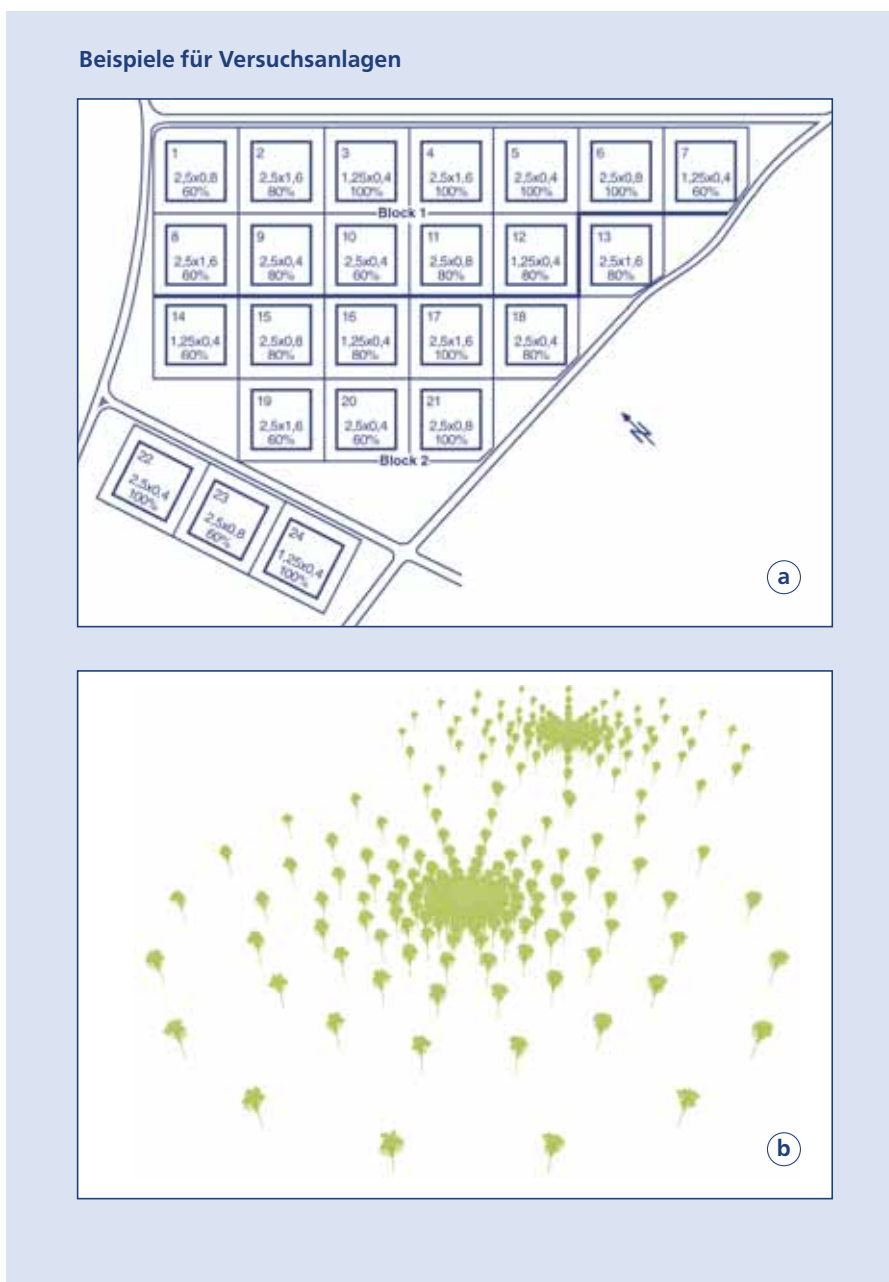


Abbildung 5:  
 (a) Der zweifaktorielle Versuch Weiden 611 prüft die Wirkung von 4 unterschiedlichen Pflanzverbänden und drei Durchforstungsstärken (angegeben in prozentualer Grundflächenabsenkung bezogen auf die undurchforstete Variante) mit jeweils 2 Wiederholungen (in Blöcken) auf das Wachstum der Kiefer. Es ergibt sich ein Anlagenschema mit insgesamt 24 Parzellen.  
 (b) Das dargestellte Anlagenschema 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 m<sup>2</sup> pro Pflanze bis 200 m<sup>2</sup> 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 <sup>-1</sup>
Jährlicher Volumenzuwachs	9,9 VfmSha <sup>-1</sup> J <sup>-1</sup>
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 <sup>-1</sup>
Jährlicher Volumenzuwachs	7,5 VfmSha <sup>-1</sup> J <sup>-1</sup>
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 <sup>-1</sup>
Jährlicher Volumenzuwachs	6,9 VfmD ha <sup>-1</sup> J <sup>-1</sup>
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 <sup>-1</sup>
Jährlicher Volumenzuwachs	6,8 VfmD ha <sup>-1</sup> J <sup>-1</sup>
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

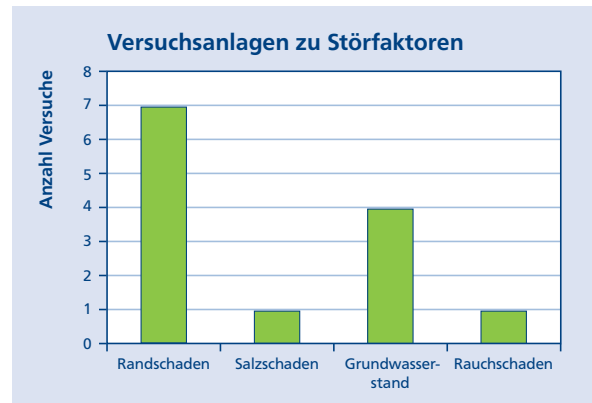


Abbildung 8: Versuchsflächen des Ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern zu Störfaktoren.

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 (Preuhsler 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 <sup>-1</sup>
Jährlicher Volumenzuwachs/Altbestand	15,2 VfmD ha <sup>-1</sup> J <sup>-1</sup>
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 <sup>-1</sup>
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 <sup>-1</sup>
Jährlicher Volumenzuwachs/Altbestand	12,9 VfmD ha <sup>-1</sup> J <sup>-1</sup>
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 <sup>-1</sup>
Mittlere Höhe/Verjüngung (> 50 cm)	1,22 m

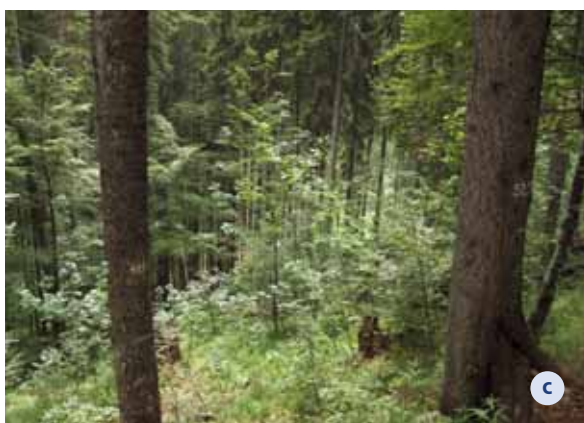
Abbildung 9a + 9b: Verjüngungsversuch Kreuth120-122, bei dem unterschiedliche Phasen der langfristigen Verjüngung im Bergmischwald erfasst werden; (a) geschlossener Ausgangsbestand aus Fichte, Tanne und Buche, (b) Initialphase der Verjüngung durch Schirmstellung Fotos: L. Steinacker

## Entwicklungen bei den Messmethoden auf langfristigen ertragskundlichen Versuchsflächen

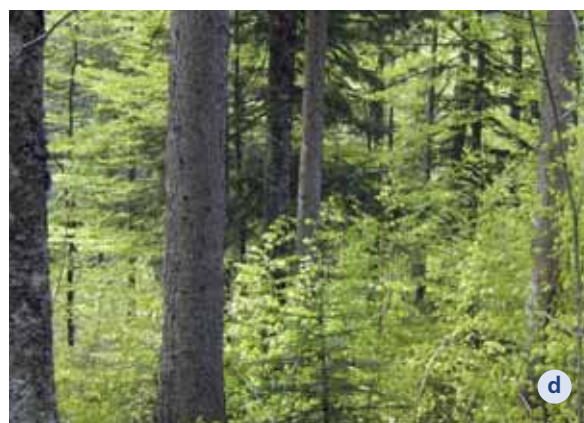
Auch heute ist man noch weit entfernt von einem vollständigen Wissen über die mechanistischen Wirkungswege beim Wachstum einzelner Bäume, ganzer Bestände oder bei der Entwicklung von Ökosystemen. Zur Gründerzeit des Ertragskundlichen Versuchswesens waren aber z. B. Fotosynthese, Stoffkreisläufe in Bäumen 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 <sup>-1</sup>
Jährlicher Volumenzuwachs/Altbestand	9,1 VfmD ha <sup>-1</sup> J <sup>-1</sup>
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 <sup>-1</sup>
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 <sup>-1</sup>
Jährlicher Volumenzuwachs/Altbestand	4,9 VfmD ha <sup>-1</sup> J <sup>-1</sup>
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 <sup>-1</sup>
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

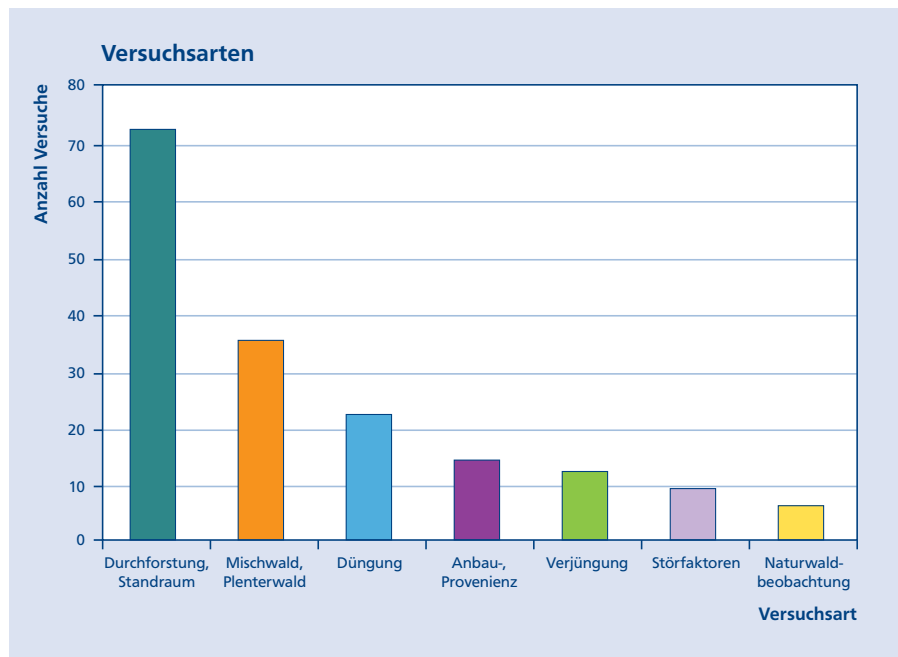
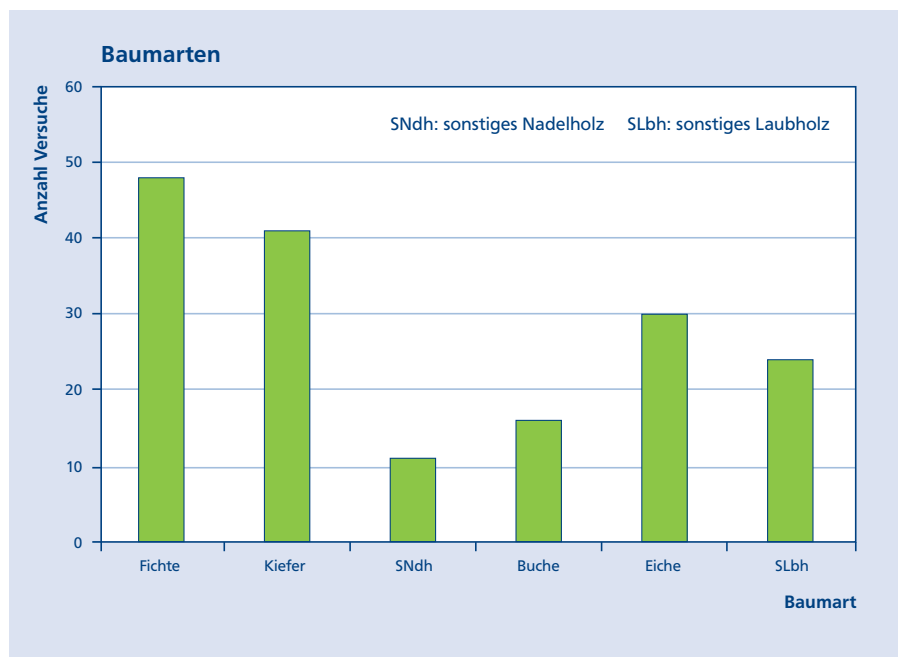
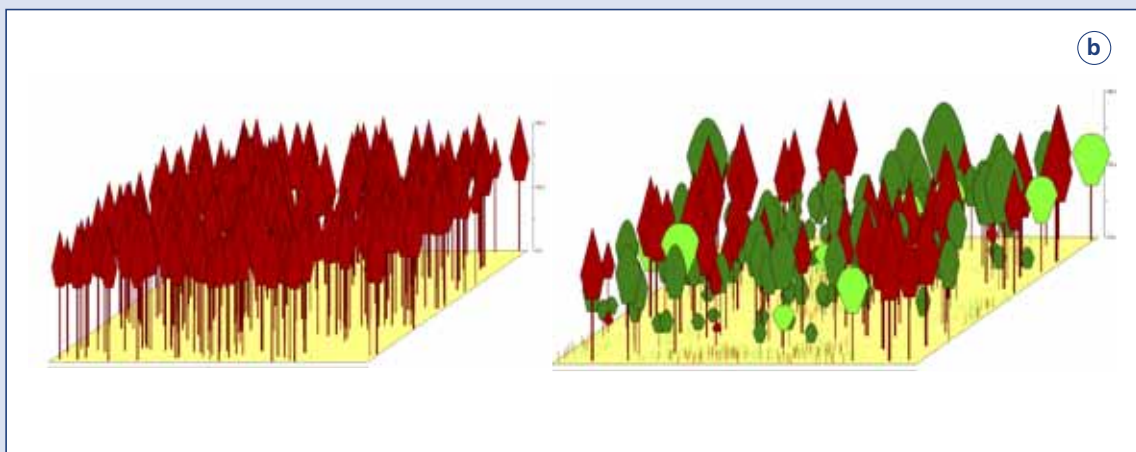
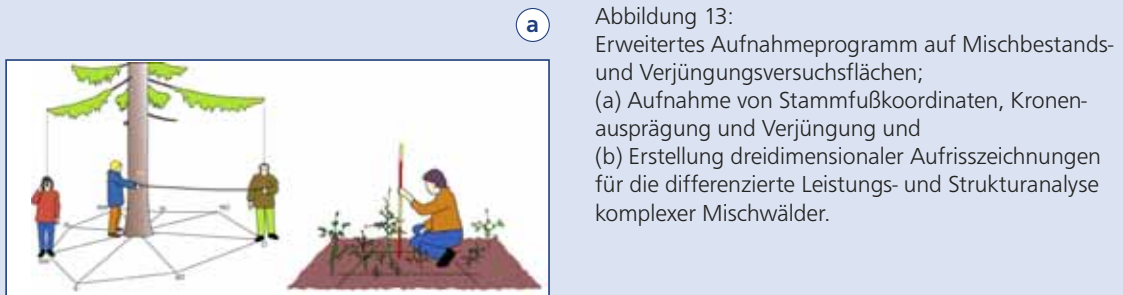
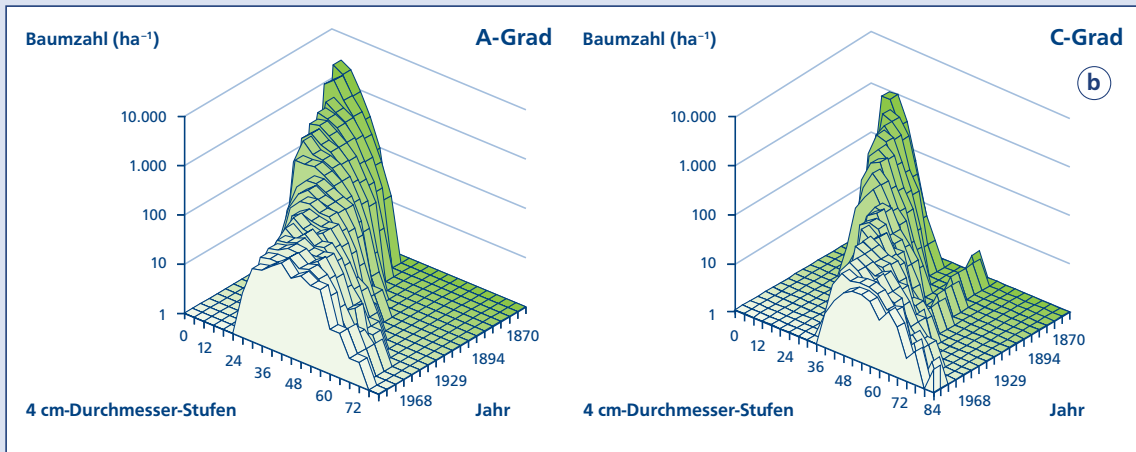
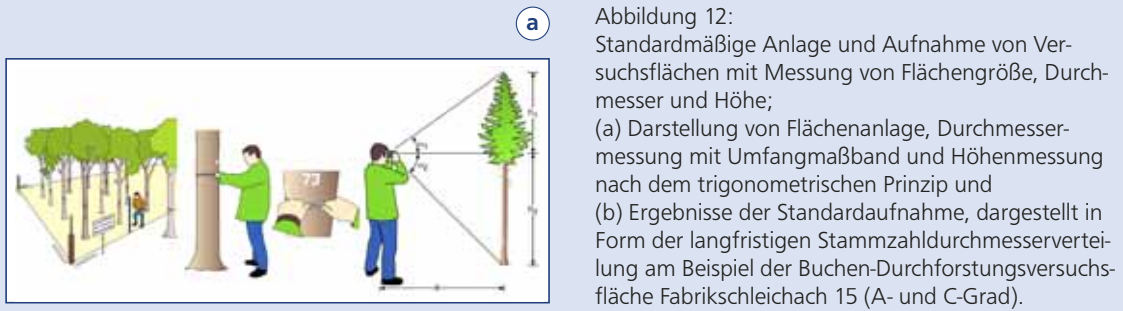


Abbildung 11:  
Anzahl der Versuchsflächen des Ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern gegliedert nach Baumarten (SNdh: sonstiges Nadelholz SLbh: sonstiges Laubholz)









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 Kronstruktur, 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  $n, n-1 \dots n-9$  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.

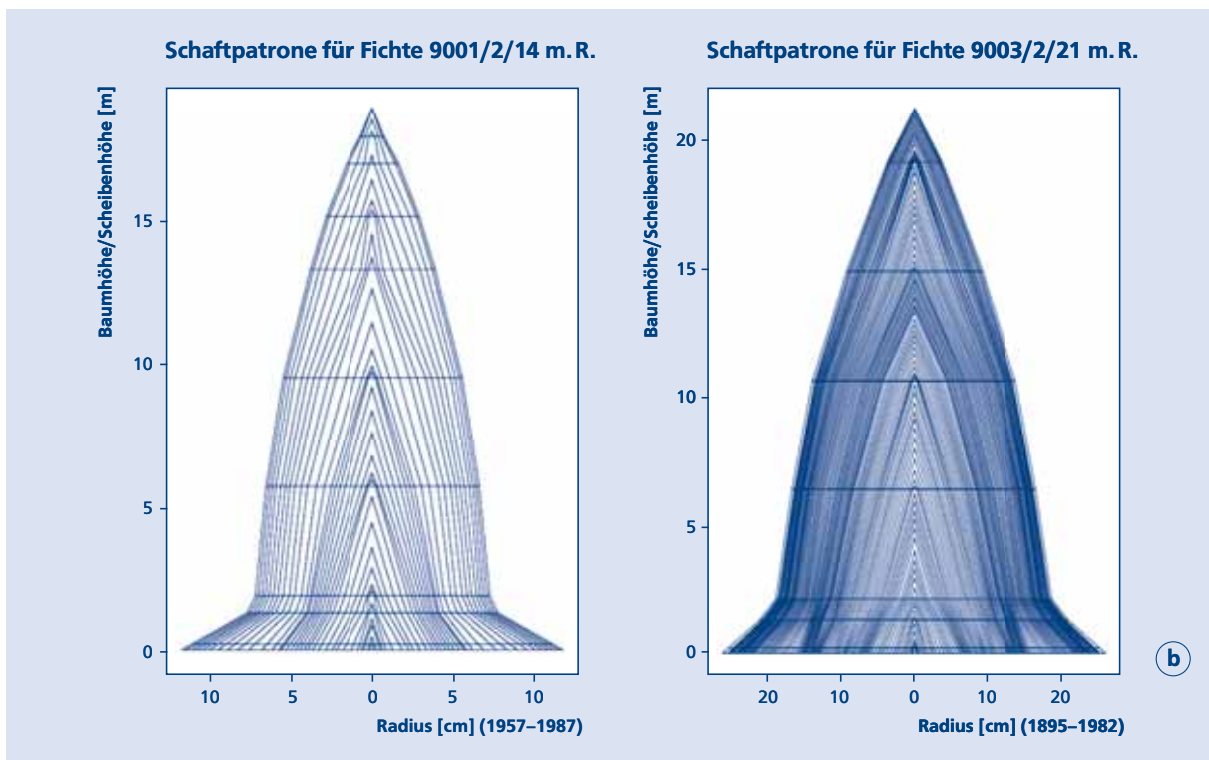
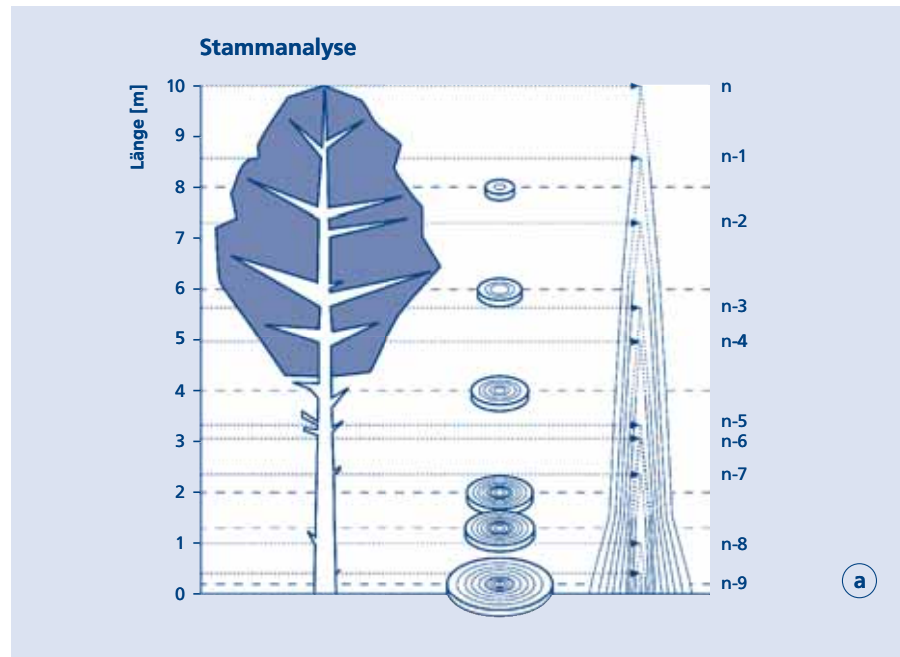




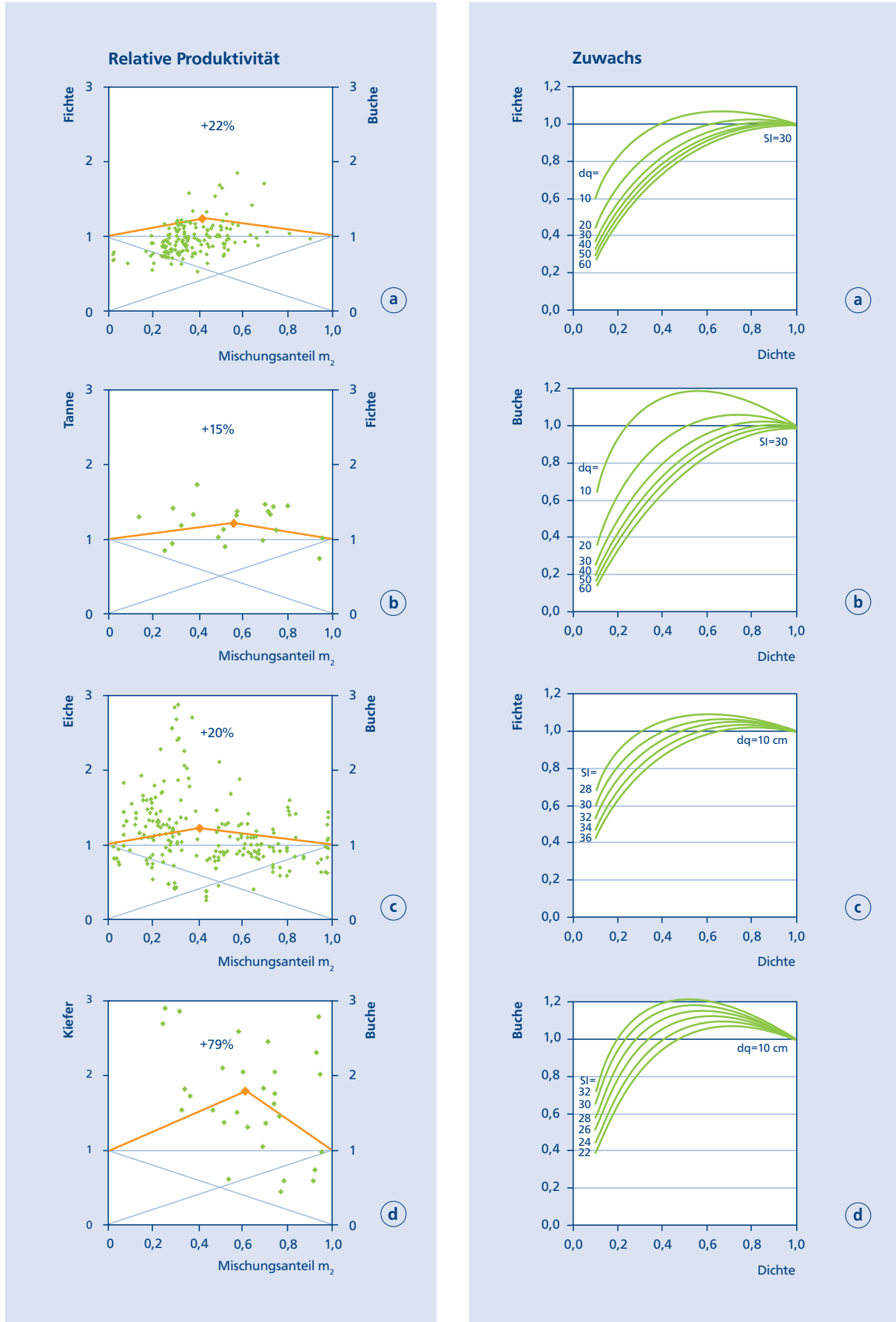
Abbildung 15: Detaillierte Erfassung der Kronenstruktur durch Anwendung von Gerüst, Kran und Laser-Scanning. Ergebnisse solcher punktuell ausgeführter Sonderuntersuchungen sind beispielsweise (a) detaillierte Informationen über Stammformveränderung von Fichte und Buche infolge von langfristiger Ozonbelastung 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.

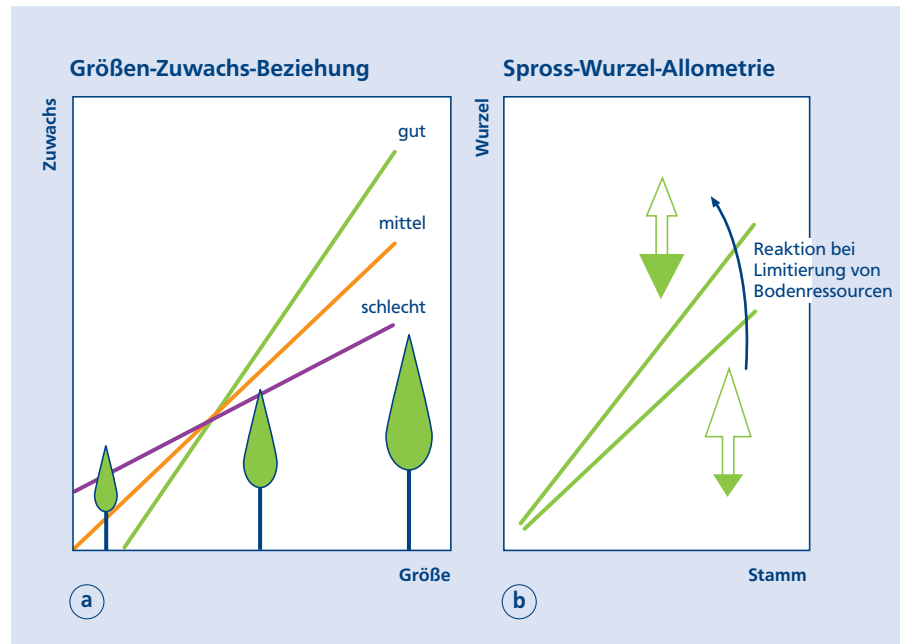
Analysen zum Zusammenhang zwischen Baumartenmischung und Produktivität zeigen, dass im Durchschnitt in Mischbeständen höhere Zuwächse als in benachbarten Reinbeständen aus denselben Baumarten erzielt werden (Kennel 1965; Zöhler 1961; Pretzsch et al. 2012b). Insbesondere auf ärmeren Standorten, auf denen 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 (Pretzsch 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-

rungrswissens. 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.

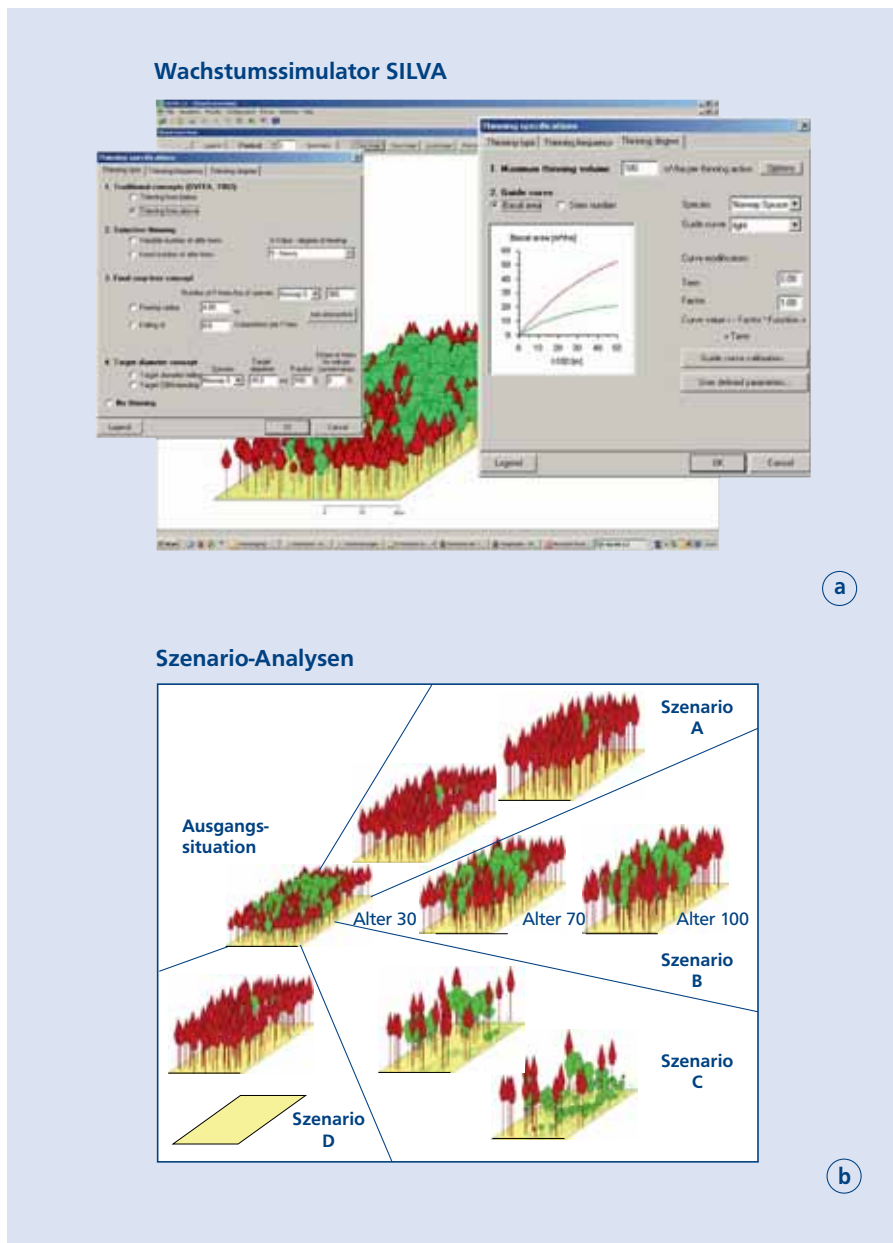


Abbildung 19: Der Waldwachstumsimulator SILVA als Instrument für die Rückführung der Versuchsergebnisse in die forstliche Praxis; dargestellt sind a) die Programmoberflächen von SILVA 2 (englische Version) und b) das Prinzip von Szenarioanalysen.

### **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 Pfliegerichtlinien 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 Pfliegerichtlinien 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

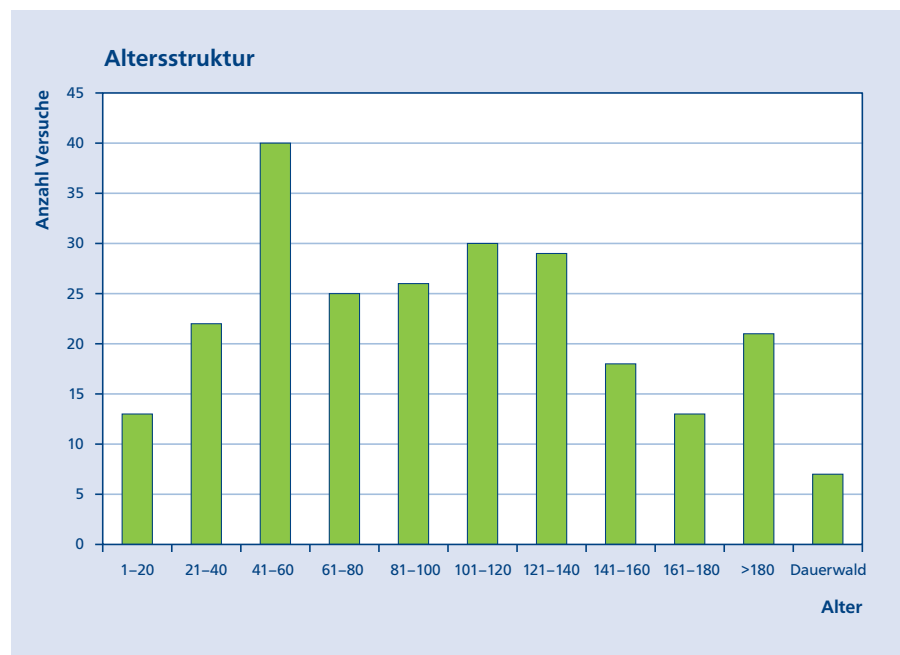
Langfristige Versuche, deren ursprüngliche Frage nach wiederholter Aufnahme und Auswertung bereits beantwortet ist, entwickeln häufig unerwartet neue Aktualität. Gegenwärtig erhalten z. B. Düngungsversuche, die in den 1950er bis 1970er Jahren angelegt und seitdem messtechnisch aufgenommen werden, angesichts 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 dienen. 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-Leistungstafeln. 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.

Preuhlsler, 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 300<sup>th</sup> 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.

---

# 36 Jahre Dauerbeobachtung in bayerischen Naturwaldreservaten

Udo Endres und Bernhard Förster

**Schlüsselwörter:** Naturwaldreservate, Repräsentationsflächen, Stichprobennetz, Totholz

**Zusammenfassung:** Eine Säule der Beobachtung der bayerischen Naturwaldreservate sind die so genannten Repräsentationsflächen. Dort wird seit Beginn der Ausweisung der Naturwaldreservate die Entwicklung von Waldstrukturen auf kleinen Ausschnitten verfolgt. Alle Flächen der Naturwaldreservate haben die später hinzugekommenen Stichprobeninventuren im Blick. Heute zeigen Daten aus Inventuren wie Repräsentationsflächen Trends der Entwicklung Bayerischer Waldflächen nach Aufgabe der Bewirtschaftung. Als echte Zeitreihe sind die bis heute erhobenen Daten in ihrem Wert für das Verständnis vieler Abläufe im Wald nicht zu unterschätzen.

Von Experten werden die bayerischen Naturwaldreservate oft als verkannte Schätze bezeichnet. Diese Achtung beruht einerseits auf der großen Vielfalt an dort vorzufindenden Waldbildern, Arten und Lebensräumen. Andererseits resultiert sie aus einem Datenpool, der in über drei Jahrzehnten zu Waldstrukturen sowie zu Flora, Fungi und Fauna auf Untersuchungsflächen in Naturwaldreservaten erfasst wurde.

Auf die mit der Untersuchung der Naturwaldreservate verbundenen Erwartungen folgte in manchen Fällen Ernüchterung: Mit der Anlage der Flächen war zwar ein solides Fundament gelegt, unterschätzt wurde aber der Aufwand, der mit der weiteren Unterhaltung und Erhebung der Flächen verbunden war. Immer wieder mussten leider Flächen aufgrund unzureichender oder nicht mehr vorhandener Markierungen aufgegeben werden. Überschätzt wurden von manchen die Erkenntnismöglichkeiten, die ein reiner Beobachtungsansatz ohne Ausgangshypothese im Gegensatz zu experimentellen Ansätzen bietet. Nach einer Beobachtungszeit von zwei Jahrzehnten und der Auswertung erster Wiederholungsaufnahmen bayerischer Repräsentationsflächen (Abbildung 1) schrieb der zuständige Bearbeiter: »Hohe Erwartungen an spektakuläre Ereignisse oder an kurzfristig auszusprechende Waldbauempfehlungen müssen daher deutlich gedämpft werden (Kölbel 1999)«.

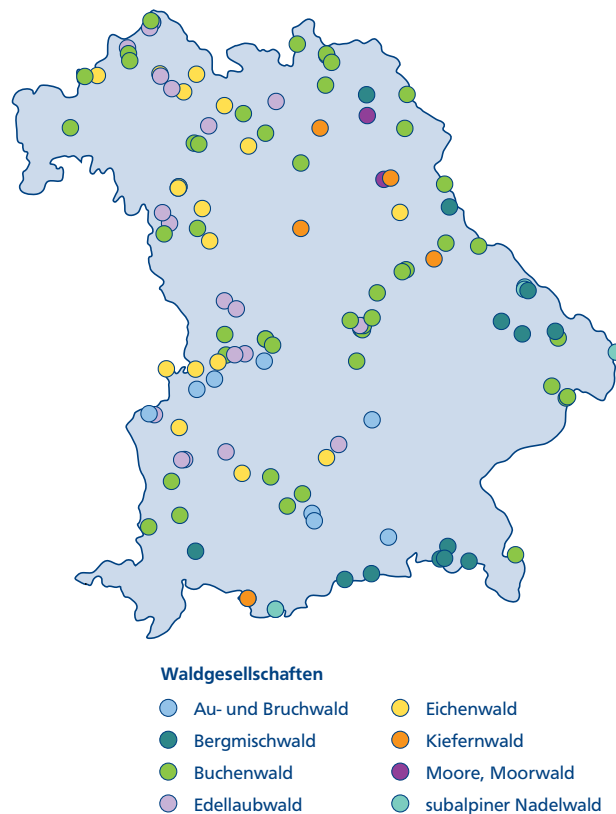


Abbildung 1: In 114 bayerischen Naturwaldreservaten gibt es Repräsentationsflächen.

## Aufnahme und Unterhalt der Flächen

Bereits vier Jahre nach dem Ausweisen der ersten Naturwaldreservate in Bayern waren insgesamt 90, meist 1 ha große Repräsentationsflächen durch die jeweils örtlich zuständigen Forstämter zur intensiven Dauerbeobachtung angelegt worden (Jahn 1980). Der im Waldgesetz für Bayern formulierte Auftrag zur Erforschung der Naturwaldreservate wurde somit von Anfang an engagiert angegangen. In den folgenden Jahrzehnten wurden weitere Repräsentationsflächen angelegt und in einigen Naturwaldreservaten mit einem Stichprobennetz auf ganzer Fläche als zweites Element der Beobachtung von Waldstrukturen ergänzt. Die zugehörigen Probekreise wurden meist im Rahmen von Projekten mit einer Größe von 1.000 m<sup>2</sup> in einem Raster von 100 m × 100 m angelegt (Albrecht 1990;

Helfer 2001; Straußberger 1999, 2004). Diese 1.000-m<sup>2</sup>-Probekreise wurden in der Folge allerdings nicht erneut aufgenommen, da ihre Erhebung zu aufwendig war. Heute wird die Inventur auf einem Großteil der Naturwaldreservate im Staatswald vom Unternehmen Bayerische Staatsforsten (BaySF) im Rahmen der Betriebsinventur auf konzentrischen, permanenten Probekreisen durchgeführt. In allen Naturwaldreservaten, die mindestens 20 Hektar umfassen und die nicht auf Sonderstandorten wie z. B. Mooren oder felsigen Steilhängen stocken, findet zudem eine Verdichtung der Inventurraster statt. Die Auswertung der Daten erfolgt dann an der Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF).

Im Gegensatz zur Stichprobeninventur hat sich seit den Anfängen in den 1970er Jahren der Umfang der Aufnahmeparameter bei den Repräsentationsflächen erhöht. In den ersten beiden Jahrzehnten der Dauerbeobachtung wurden nur die Brusthöhendurchmesser beim lebenden Bestand sowie pro Baumart eine Auswahl an Höhen erhoben.

Totholz als wesentliches Strukturelement der natürlichen Waldentwicklung wurde entsprechend seiner zunehmend erkannten Bedeutung in den Naturwaldreservaten ab den 1990er Jahren systematisch erfasst. In der Folge kamen noch die Lagekoordinaten sämtlicher aufgenommener Bäume und Totholzobjekte hinzu (Abbildung 2). Seit 2012 wird auf den Repräsentations-

flächen der 26 Schwerpunktreservate eine Verjüngungsaufnahme in Form einer Stichprobeninventur in Anlehnung an die Methode der Bundeswaldinventur (BWI) 3 mit einem 12,5 m × 12,5 m umfassenden Stichprobenraster durchgeführt.

Um die mit Anlage und Aufnahme sämtlicher Repräsentationsflächen getätigten Investitionen zu sichern, wurden die Unterhaltungsmaßnahmen in den letzten Jahren intensiviert. Damit soll die räumliche Kontinuität und damit verbunden die Möglichkeit für eine Fortsetzung der Zeitreihe erhalten bleiben. Dauerhaft gesichert ist die intensive Untersuchung der Schwerpunktreservate, die im Forschungskonzept 2012 ausgewählt wurden.

### Grundlagen und methodische Ansätze

Die Untersuchung der Waldstruktur in Naturwaldreservaten verfolgt zwei von Albrecht (1990) beschriebene Ansätze:

Die intensive Beobachtung kleiner Ausschnitte in Form von in der Regel 1 ha großen Repräsentationsflächen wird ergänzt durch die das gesamte Naturwaldreservat umfassende Stichprobeninventur. Den zeitlichen Dimensionen der Entwicklung von Wäldern entsprechend ist die Erhebung der Daten auf Dauer angelegt, mit dem Ziel, die forstlich ungesteuerte Entwicklung

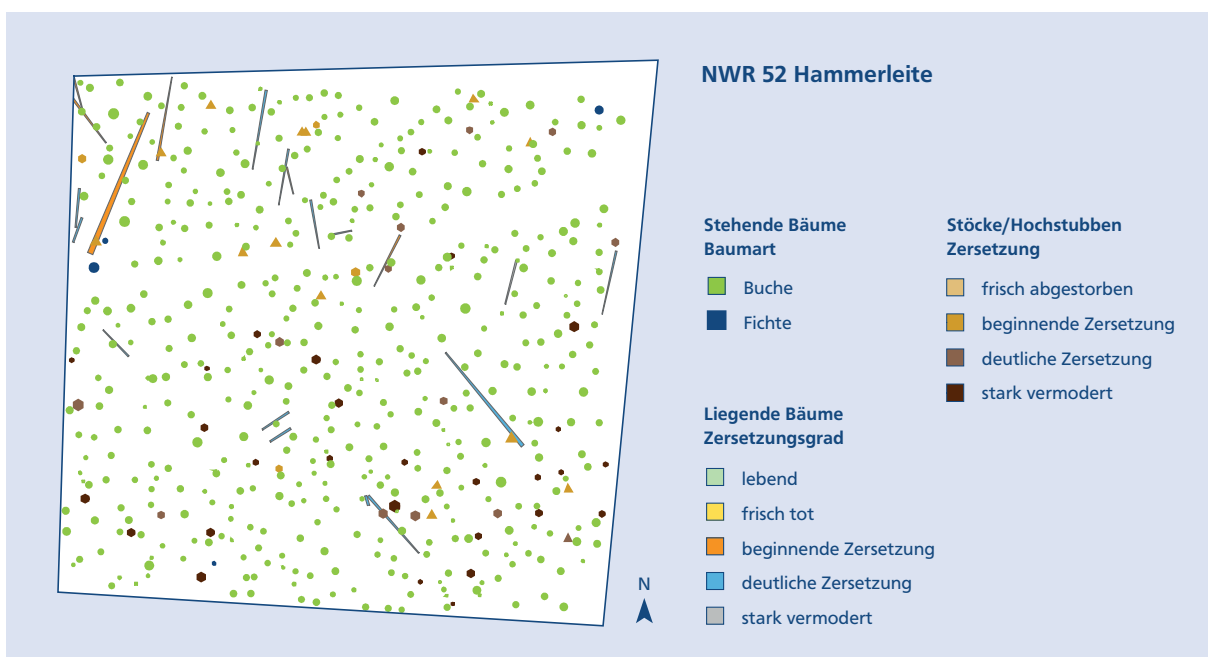


Abbildung 2: Beispiel für eine Stammfußkarte der Repräsentationsfläche im Naturwaldreservat Hammerleite, auf der die Lage aller bei der Aufnahme 2013 erfassten Objekte dargestellt ist.





Abbildung 3:  
Bestand auf der Repräsen-  
tationsfläche im NWR  
Hammerleite. Foto: U. Endres

von Wäldern langfristig zu verfolgen. Die große Bedeutung von Kontinuität beim Aufbau solcher Zeitreihen und deren Betreuung und Koordination hat die Projektgruppe Naturwaldreservate in ihren Empfehlungen für die Einrichtung und Betreuung von Naturwaldreservaten in Deutschland bereits 1993 ausführlich erläutert (Projektgruppe Naturwaldreservate 1993). Eine wesentliche Aussage betrifft den Wert der Daten und Flächen. Dieser steigt mit der Dauer der Beobachtung an. Auf die extrem langen zeitlichen Dimensionen der Naturwaldreservats-Forschung haben auch bereits deren Begründer in Bayern hingewiesen: »Auf jeden Fall lassen die Reservate, deren eigentliche Fragestellung erst nach 100 oder 200 Jahren beantwortet werden kann, eine ganze Reihe von Forschungsprojekten möglich werden« (Seibert und Hagen 1974).

Wesentliche, mit der Dauerbeobachtung in Naturwaldreservaten verbundene Probleme erläutert Meyer 1997, ohne den Untersuchungsansatz grundsätzlich in Frage zu stellen. Kritische Punkte sind die ungewöhnlich langen Untersuchungszeiträume, der noch länger erkennbare Einfluss vergangener Bewirtschaftung und ein »Zielorientierungsproblem«. Darunter ist zu verstehen, »... dass aktuelle Fragestellung und Struktur der Untersuchungsergebnisse einander letztendlich nicht optimal entsprechen« (Meyer 1997).

Die zeitliche Kontinuität der Beobachtung als wesentliche Voraussetzung für den in der Zukunft erwarteten Erkenntnisgewinn ist systembedingt vielfältigen »Gefahren« ausgesetzt. Diese reichen von Vergessenwerden bis hin zur Prioritätenverschiebung zugunsten kurzfristig erfolgversprechenderer, aktuellerer, neuerer Projektideen angesichts knapper werdender öffentlicher Mittel. Realisieren sich solche Gefahren, z. B. indem die Flächen über Jahrzehnte nicht unterhalten und erhoben werden, dann ist die räumliche Kontinuität als weitere zwingende Voraussetzung der Dauerbeobachtung bedroht.

Mit verloren gegangenen Markierungen und Baumnummern schwinden auch die Auswertungsmöglichkeiten. So ist für die Untersuchung der in Naturwaldreservaten besonders interessanten Mortalitätsprozesse der Erhalt der ursprünglichen Baumnummern entscheidend. Nur so kann die Entwicklung der jeweiligen Fläche auf Einzelbaumebene verfolgt werden. Auf vielen der bayerischen Flächen ging die ursprüngliche Nummerierung nach der Erstaufnahme verloren. Hier kann die Entwicklung bis zur ersten Wiederholung nur summarisch für die gesamte Fläche verfolgt werden. Mit den meist schon bei den ersten Wiederholungen erstellten Stammbußkarten können heute auf Flächen, bei denen die Farbnummerierung nicht mehr erkennbar ist, die Nummern (der ersten Wiederholung) meist rekonstruiert werden.

Im Zusammenhang mit Aspekten mangelnder räumlicher Kontinuität mussten in Niedersachsen bereits 1991 ein Viertel der ursprünglichen Untersuchungsflächen aufgegeben werden (Setje-Eilers 1991 zitiert in Meyer 1997). Auch in Bayern mussten ebenfalls schon Flächen, die nicht rekonstruiert werden konnten, aufgegeben werden.

**Erkennbare Trends der letzten zwei Jahrzehnte**

Mit der Quantifizierung des Vorkommens der Baumarten über Jahrzehnte liefern die Dauerbeobachtungsflächen Informationen zum natürlichen Potenzial der Baumart unter wechselnden Umweltbedingungen. Insbesondere bei geringfügigen Veränderungen wesentlicher Zustandsgrößen zeigen die aus Repräsentationsflächen erhobenen Daten Vorteile, da hier keine stichprobenbedingten Fehler zu berücksichtigen sind. Nachteile ergeben sich aus dem Fallstudiencharakter der Flächen bei der Analyse von Kausalitäten. Für diese Zwecke sind die Daten aus der Stichprobeninventur aufgrund einer besseren Flächenverteilung geeigneter.

Bei Auswertung der jeweils aktuellsten Daten (ohne Verjüngung) ist die Buche auf den Repräsentationsflächen die am häufigsten vorkommende Baumart in den Naturwaldreservaten. Sie kommt dort auf 76% aller Flächen vor, gefolgt von der Fichte mit 58% und der Eiche mit 43%. Die Inventuren ergeben eine andere Reihenfolge. Häufigste Baumart ist hier die Fichte, die in 77% aller Reserverate vorkommt, gefolgt von der Buche mit 75% und der Eiche mit 53%. Die unterschiedliche Reihung von Buche und Fichte ist kein Widerspruch, da die Repräsentationsflächen jeweils in besonders naturnahen Bereichen der Naturwaldreservate angelegt wurden.

Zugenommen haben die Totholzvorräte. Von insgesamt 40 Flächen liegen inzwischen entsprechende Wiederholungsaufnahmen vor. Der Durchschnittswert dieser Flächen hat sich von der ersten zur zweiten Aufnahme von 50,3m<sup>3</sup> auf 65,1m<sup>3</sup> erhöht. Die Daten zum Totholz zeigen, in welcher Größenordnung sich die Totholzvorräte nach über drei Jahrzehnten ohne Bewirtschaftung bewegen sowie mit welchen Anreicherungs-raten zu rechnen ist.

Bislang erkennbare Trends bei den Baumartenanteilen (gemessen an den relativen Grundflächenanteilen [G%]) bestätigen die dominante Rolle der Buche in Bayern (Endres und Förster 2013). Ihr Anteil zeigt eine leichte Zunahme. Eiche und Fichte nehmen jeweils geringfügig ab (Tabelle 1). Die Fichte fällt oft in Folge von Borkenkäferbefall beziehungsweise Windwurf aus, bei der Eiche kann ebenso wie in nordwestdeutschen Naturwaldreservaten eine Verdrängung durch die Buche (Meyer 2008) festgestellt werden.

**Ausblick**

Die vorhandenen Flächen samt Wiederholungen in Naturwaldreservaten stellen eine umfangreiche Basis einer echten Zeitreihe für die forstlich ungesteuerte Waldentwicklung dar. Neben dem räumlichen Umfang der 119 über ganz Bayern verteilten Repräsentationsflächen ist auch die zeitliche Dimension der schon vorliegenden Daten aus 35 Jahren Beobachtung beachtlich. Dennoch sind die Erkenntnismöglichkeiten des Monitorings im Gegensatz zu wissenschaftlichen Experimenten begrenzt. Begriffe wie »Schätze« wecken hier schnell falsche Erwartungen. Künftig erlauben die seit 2013 in den Schwerpunktreservaten räumlich und zeitlich abgestimmten Aufnahmen von Waldstrukturen und verschiedenen Artengruppen neue Erkenntnismöglichkeiten im Rahmen einer gemeinsamen Auswertung beider Datensätze.

Anzahl Flächen	Baumart	G [%] (1994–2003)	G [%] (2004–2013)	Veränderung
22	Fichte	16	15,6	-0,4
16	Eiche	18,2	17,2	-1,0
35	Buche	72,1	73,2	1,1

Grundlage für die Mittelwertbildung waren alle Repräsentationsflächen, die in beiden Zeitintervallen aufgenommen wurden und in denen die Baumart jeweils vorhanden war.

Tabelle 1: Relative Grundflächenanteile von Fichte, Eiche und Buche

## Literatur

Albrecht, L. (1990): Grundlagen, Ziele und Methodik der wald-ökologischen Forschung in Naturwaldreservaten. Schriftenreihe »Naturwaldreservate in Bayern«, Band 1, Schriftenreihe des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München, 221 S.

Endres, U.; Förster, B. (2013): Hohe Vorräte bei der Buche – Abnahme bei den Mischbaumarten. LWF aktuell 95, S. 28–31

Helfer, W. (2001): Urwälder von morgen. Bayerische Naturwaldreservate in UNESCO-Biosphärenreservat Rhön. Schriftenreihe »Naturwaldreservate in Bayern«, Band 5, IHW-Verlag, Eching, 160 S.

Jahn, H.C. (1980): Bayern. In: Berichte aus den Bundesländern zur Auswahl, Einrichtung und Bestandserfassung der Naturwaldreservate. Natur- und Landschaft, 55 (4), S. 136

Kölbel, M. (1999): Diversität in Wäldern – Strukturentwicklung von Buchen-Naturwaldreservaten. AFZ/DerWald 8; S. 382–383

Meyer, P. (1997): Probleme und Perspektiven der Naturwaldforschung am Beispiel Niedersachsens. Forstarchiv (68): S. 87–98

Meyer, P. (2008): Naturwaldforschung in Nordwestdeutschland. LWF aktuell 63, S. 37–39

Projektgruppe Naturwaldreservate (1993): Empfehlungen für die Einrichtung und Betreuung von Naturwaldreservaten in Deutschland. Forstarchiv, H. 3, S. 122–129

Seibert, P.; Hagen, J. (1974): Zur Auswahl von Waldreservaten in Bayern. Forstwissenschaftliches Centralblatt (93), S. 274–284

Straußberger, R. (1999): Untersuchungen zur Entwicklung baye-rischer Kiefern-Naturwaldreservate auf nährstoffarmen Stand-orten. Schriftenreihe »Naturwaldreservate in Bayern«, Band 4, IHW-Verlag, 180 S.

Straußberger, R. (2004): Buchen-Naturwaldreservate – Perlen im Oberpfälzer Wald, LWF Wissen 43, S. 47–77

**Keywords:** Strict forest reserves, monitoring area of specific interest, sample plot design, dead wood

---

**Summary:** One important element of the monitoring program concerning strict forest reserves (SFR) in Bavaria are the so called »Repräsentationsflächen« (i. e. detail monitoring area of specific interest of 1ha size). Since the first designations of SFR the structural changes of the forests there are observed in small detail. The whole area of SFR are focused by sample plot designs which came along later. Today inventory data of sample plots as well as of »Repräsentationsflächen« show trends of forest dynamics after giving up management. The value of the data of this real time series concerning the understanding of various natural processes is not to undervalue.

---

# Waldbauliche Versuche in Bayern

Bernhard Felbermeier, Sebastian Höllerl, Bernd Stimm, Alexander Abt, Franz Binder, Hany El Kateb und Reinhard Mosandl

**Schlüsselwörter:** Waldbau, Versuche, Waldpflege, Durchforstung, Waldverjüngung

**Zusammenfassung:** Waldbauliche Versuche sind ein wichtiges Instrumentarium, um das Wissen über die Steuerung von Waldökosystemen zu erweitern. Sowohl aus wissenschaftlichem Interesse als auch auf Anregung aus der Praxis untersuchen Wissenschaftler am Lehrstuhl für Waldbau über viele Jahre die Reaktionen des Waldes auf unterschiedliche Behandlungen und nutzen diese Informationen, um Empfehlungen für die Waldbewirtschaftung zu geben. Waldbestände werden hierzu durch waldbauliche Eingriffe bis an die Grenzen ihrer Reaktionsfähigkeit geführt, teilweise aber auch sich selbst überlassen. Damit kann erkundet werden, welches Mittel für eine zielgemäße Entwicklung des Wirtschaftswaldes geeignet ist. Unterschiede zwischen Wirtschaftswald und unbewirtschaftetem Wald können dabei ebenfalls erfasst werden. Die waldbaulichen Versuchsflächen decken die wichtigsten Wirtschaftsbaumarten in ihren bayerischen Hauptverbreitungsgebieten ab.

Die Steuerung von Waldökosystemen durch waldbauliche Verfahren beruht auf Wissen, das sich auf praktische Erfahrung und auf wissenschaftliche Untersuchungsergebnisse stützt. Mit waldbaulichen Experimenten erforschen Wissenschaftler des Lehrstuhls für Waldbau der Technischen Universität München unter den in Bayern vorherrschenden ökologischen und sozioökonomischen Verhältnissen verschiedene Waldbausysteme und Verfahren der Verjüngung sowie der Bestandspflege. Dabei werden ganze Waldökosysteme über Jahrzehnte hinweg entsprechend einer wissenschaftlichen Fragestellung waldbaulich behandelt und regelmäßig Messdaten auf den Versuchsflächen gewonnen. Nach statistischer Analyse der Daten fließen die Untersuchungsergebnisse in waldbauliche Empfehlungen sowie in Prognosemodelle und forstliche Entscheidungsunterstützungssysteme ein. Die über ganz Bayern verteilten waldbaulichen Versuche (Abbildung 1) dienen dabei auch als Demonstrationsflächen für die universitäre Lehre und berufliche Weiterbildung. Sie werden im Folgenden – geordnet nach Naturräumen – vorgestellt.

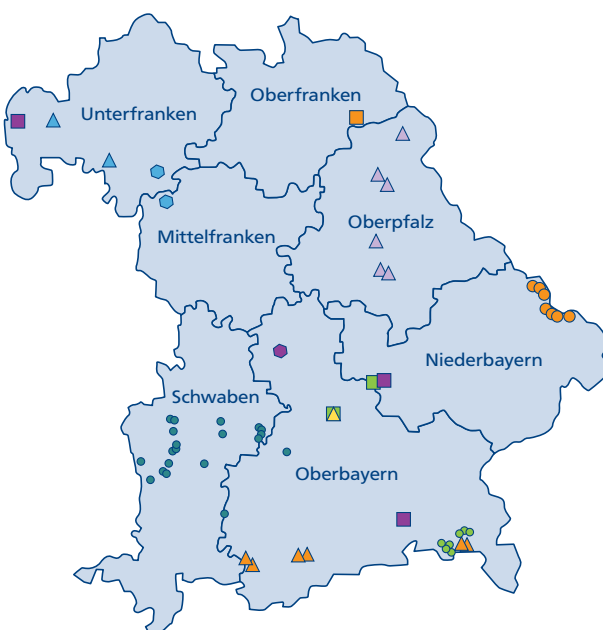


Abbildung 1:

Lage der waldbaulichen Versuche in Bayern. Die Versuchsflächen im Bayerischen Wald und im Auwald werden mit Kooperationspartnern betrieben – (a) zusammen mit dem Fachgebiet Geobotanik, Technische Universität München, (b) zusammen mit der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

- Buchensaatversuch
- Aufforstung Waldschadensgebiet
- Anbauversuche Paulowina
- ▲ Bestandspflege Eichenjungbestände
- ▲ Bestandspflege Kiefernjungbestände
- ▲ Bestandspflege Fichtenjungbestände
- ▲ Bestandspflege Fichte Bergmischwald
- Bergmischwaldversuch
- Verjüngung NP Bayerischer Wald (a)
- Versuchsflächennetz Mittelschwaben
- Auwaldforschung (b)
- Mittelwald Eiche



## Bayerische Alpen

Der Bergwald hat eine große Bedeutung für die soziale und ökonomische Entwicklung im bayerischen Alpenraum. Teure Sanierungsmaßnahmen sind jedoch seit Jahren erforderlich, um Degradationsprozesse im Bergwald zu stoppen. Die in den 1970er Jahren viel diskutierte Entmischung der Bergmischwälder und deren Ursachen gaben den Anlass für die Entstehung der Bergwaldforschung am Lehrstuhl für Waldbau. Langjährige Untersuchungen im natürlich vorkommenden Bergmischwald dienen seither dazu, die Prozesse in der Bergwaldentwicklung zu verstehen und waldbauliche Empfehlungen zu geben. Hierzu zählt auch die Behandlung der auf großer Fläche künstlich begründeten Fichtenbestände in der Bergmischwaldzone, welche auf gesonderten Versuchsflächen untersucht werden.

### Bergmischwaldversuch

#### Zielsetzung

Im Jahre 1976 begann der Lehrstuhl für Waldbau eine langfristige Untersuchung zur Verjüngung und Bewirtschaftung des Bergmischwaldes. Das übergreifende Ziel des Versuchs ist es, langfristige Steuerungsmöglichkeiten der Verjüngung im Ökosystem Bergmischwald durch waldbauliche Maßnahmen zu untersuchen und Verfahren zu entwickeln, um praktische Empfehlungen für die Erhaltung aber auch für eine nachhaltige Bewirtschaftung dieses Waldtyps zu erarbeiten. Im Einzelnen zielen die im Laufe des Beobachtungszeitraums

mehrfach wiederholten Aufnahmen darauf ab, folgende Fragen zu beantworten (Abbildung 2):

- Sind die Voraussetzungen für eine natürliche Verjüngung im Bergmischwald (regelmäßige Fruktifikation der Altbäume mit ausreichender Produktion von Samen und Früchten hoher Qualität, gutes Keimbett und hohe Samenkeimung) gegeben?
- Welche Hauptursache führt zur Entmischung des Bergwalds?
- Welche Auswirkungen haben die vorgenommenen waldbaulichen Eingriffe auf die Entwicklung der Altbestände, der Verjüngung und der Bodenvegetation im Bergmischwald?
- Wie sind die durchgeführten Maßnahmen zu bewerten und welche Empfehlungen können daraus abgeleitet werden?

#### Versuchsaufbau

In den montanen Lagen der ostbayerischen Kalkalpen wurden im Jahr 1976 insgesamt elf geschlossene Altbestände des Bergmischwalds, die aus Fichte, Tanne, Buche sowie Bergahorn und einigen anderen Nadel- und Laubhölzern bestehen, für die Untersuchungen ausgewählt. Sieben Versuchsbestände liegen im kalkalpinen Bereich des ehemaligen Forstamts Ruhpolding und vier im Flyschbereich des ehemaligen Forstamts Siegsdorf. Jeder Bestand stellt eine Versuchsfläche dar, die sich aus einer oder mehreren Versuchspartellen zusammensetzt. Insgesamt wurden 25 dauerhafte Versuchspartellen angelegt.

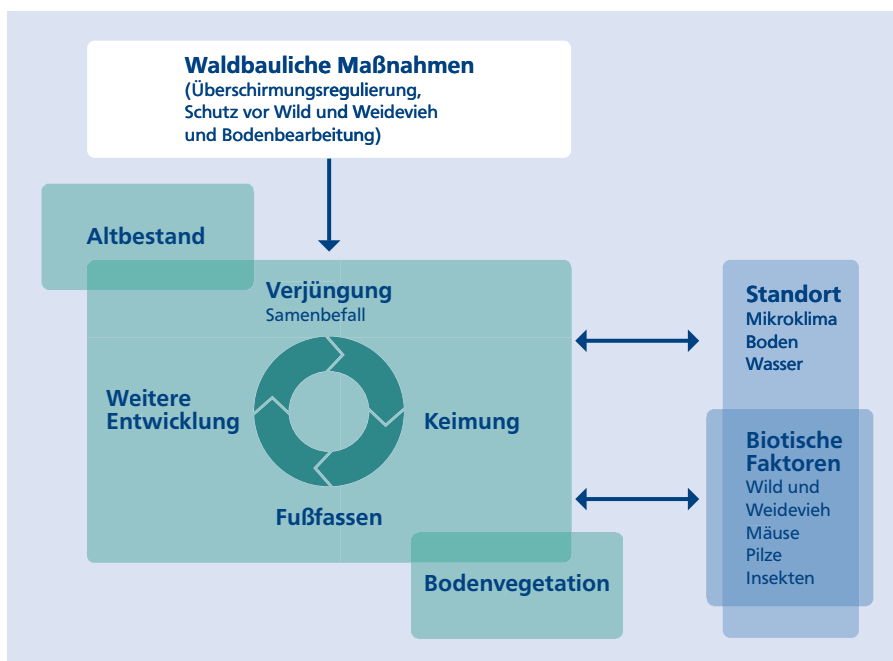


Abbildung 2: Die im Bergmischwaldversuch untersuchten Verjüngungsprozesse und die sie beeinflussenden Faktoren (El Kateb et al. 2006). Die Verjüngung im Bergmischwald ist ein Zusammenspiel von standörtlichen Bedingungen, Altbestandsüberschirmung, biotischen Faktoren und Konkurrenz durch Bodenvegetation. Durch waldbauliche Maßnahmen (Überschirmungsregelung, Schutz vor Verbiss und Bodenbearbeitung) lassen sich diese Prozesse gezielt beeinflussen.

Jede Parzelle unterlag bei Versuchsbeginn einem der folgenden fünf waldbaulichen Eingriffe im Altbestand:

- Kontrolle (kein Eingriff),
- schwacher Schirmhieb (Entnahme von 30% der Bestandsgrundfläche)
- starker Schirmhieb (Entnahme von 50% der Bestandsgrundfläche)
- Kahlhieb (vollständige Entnahme des Altbestands)
- Lochhieb (Aushieb eines Lochs von 30 m Durchmesser)

Die Maßnahmen wurden im Jahr 1976 durchgeführt. Nach 27 Jahren erfolgte ein erneuter Eingriff, um die bei Versuchsbeginn eingestellten Überschirmungsverhältnisse konstant zu halten.

Jede Parzelle ist 0,5 ha groß (71 m × 71 m) und besteht aus einer 0,1 ha (33 m × 33 m) großen Kernfläche und einem Umfassungstreifen von 19 m Breite. Der Altbestand wurde jeweils auf der Gesamtparzelle aufgenommen, während sich die Verjüngungs- und Bodenvegetationsaufnahmen auf die Kernfläche beschränkten. Auf jeder Kernfläche (Abbildung 3) wurden für die Untersuchung der Naturverjüngung und der Bodenvegetation 96 kreisrunde Aufnahmeeinheiten von je 1 m<sup>2</sup> Größe eingerichtet. Darüber hinaus wurden auf jeder Kernfläche 30 Samenfänge von je 0,25 m<sup>2</sup> Größe für die Untersuchungen des Streu- und Samenfalls installiert. Außerdem wurden auf einem Teilareal fünf verschiedene Baumarten gepflanzt und auf einem anderen Teilareal meteorologische Messgeräte für die bioklimatischen Untersuchungen platziert.

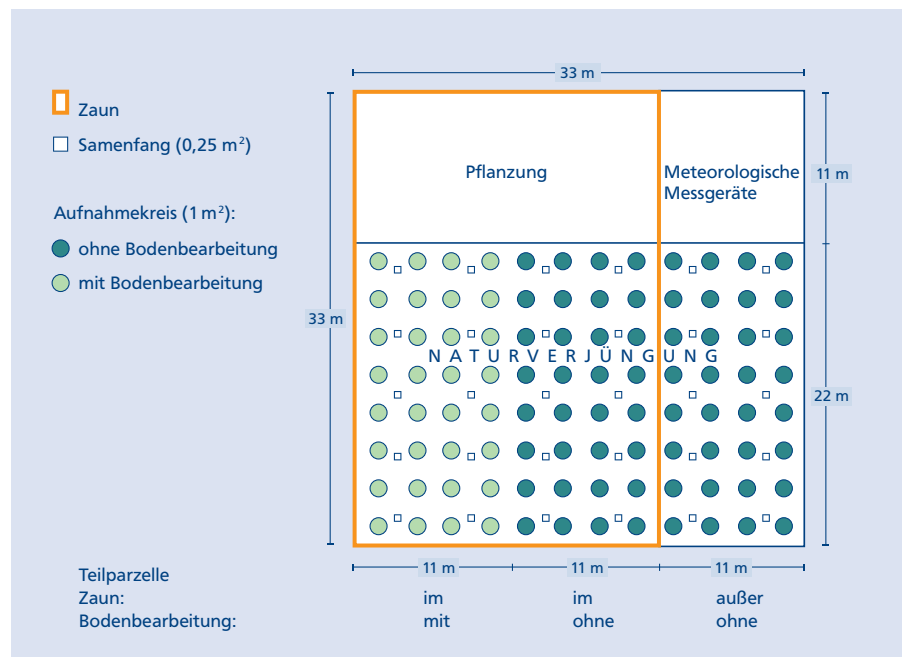
Zu Versuchsbeginn wurden zwei Drittel der Kernfläche eingezäunt und die Hälfte davon mit Hacken intensiv durchgearbeitet (mechanische Bodenbearbeitung), um eine Verbesserung des Keimbetts zu erzielen. Ein Drittel der Kernfläche blieb für Untersuchungen über den Einfluss des Wildes und Weideviehs ungezäunt. Nachdem sich die Zäunung als entscheidender Faktor für die Verjüngung des Bergmischwalds herausstellte, wurden zehn Jahre nach Versuchsbeginn weitere temporäre und permanente Versuchsfelder angelegt, die mit unterschiedlichen Zäunen umgeben waren und es zuließen, die Effekte von Wild und Weidevieh im Bergmischwald auf Verjüngung, Bodenvegetation und Boden getrennt zu untersuchen.

Während des gesamten Untersuchungszeitraums wurden auf allen Versuchsfeldern mehrfach umfassende Aufnahmen durchgeführt, wobei die Aufnahmen in den ersten Jahren nach Versuchsbeginn in der Regel häufiger erfolgten (anfangs teilweise im zweiwöchigen Turnus, später dann jährlich bis hin zu Aufnahmen in größeren Zeitintervallen von fünf bis sieben Jahren).

**Wichtigste Ergebnisse und Veröffentlichungen**

Auf den im Bergmischwald angelegten Versuchsfeldern wurden sehr viele neue Erkenntnisse gewonnen, die ihren Niederschlag in mehr als 70 Publikationen gefunden haben. Damit ist es nun möglich, einen umfassenden Überblick über die maßgeblichen Prozesse in der Initialphase der Verjüngung zu geben und praktische Empfehlungen für die Bewirtschaftung des Bergmischwalds auszusprechen.

Abbildung 3:  
Die Kernfläche einer Aufnahme-parzelle (El Kateb et al. 2006) ist 33 m × 33 m groß und gliedert sich in die Bereiche: Messgeräte, Pflanzung und natürliche Verjüngung (ohne und mit Bodenbearbeitung). 2/3 der Parzelle ist vor Verbiss durch einen Zaun geschützt. Ein Teil der natürlichen Verjüngung ohne Bodenbearbeitung blieb ungezäunt.



**Literatur**

El Kateb, H.; Felbermeier, B.; Schmerbeck, J.; Ammer, Ch.; Mosandl, R. (2006): Silviculture and Management of Mixed Mountain Forests in the Bavarian Alps. Silvicultural Experiments 3: 16 S.

El Kateb, H.; Schölch, M.; Mosandl, R. (2009): Waldbau-Verfahren für den Bergmischwald – Empfehlungen für die Praxis auf wissenschaftlicher Grundlage. LWF aktuell 71: S. 9–11

El Kateb, H.; Stolz, M.M.; Mosandl, R. (2009): Der Einfluss von Wild und Weidevieh auf die Verjüngung im Bergmischwald. LWF aktuell 71: S. 16–18

Mosandl, R. (1991): Die Steuerung von Waldökosystemen mit waldbaulichen Mitteln – dargestellt am Beispiel des Bergmischwaldes. Mitteil. a. d. Staatsforstverwaltung Bayerns, Heft 46. 246 S.

**Behandlung reiner Fichtenbestände in der Bergmischwaldzone**

*Zielsetzung*

Auf über 30.000 ha der montanen Zone in den Bayerischen Alpen befindet sich eine naturferne Waldbestockung. Wo von Natur aus Bergmischwälder aus Buche, Tanne, Fichte und Ahorn wachsen würden, finden sich nahezu reine Fichtenbestände. Diese naturferne Bestockung hat anthropogene Ursachen. Zu Zeiten der Salinenwirtschaft wurde die Fichte aktiv gefördert, da ihr Brennholz besser triftbar war als Buchenholz und das Feuer nicht zu heiß für die Sudpfannen wurde. Weiterhin führten großflächige Reparationshiebe nach den beiden Weltkriegen zu Kahlflecken, die mit der einfach zu handhabenden Fichte wieder aufgeforstet wurden.

Nicht zuletzt verursachten überhöhte Schalenwildbestände eine Benachteiligung der anderen Baumarten gegenüber der Fichte und damit eine Entmischung.

Die entstandenen reinen Fichtenbestände wuchsen in weiten Teilen ungepflegt auf, da Durchforstungen im Bergwald mit hohen Erntekosten verbunden sind und oft defizitär ausfallen. Daraus entwickelten sich einschichtige Bestände mit relativ hohen Schlankheitsgraden, kurzen Kronen und ohne Vorausverjüngung (Abbildung 4).

Diese Bestände werfen verschiedene Forschungsfragen auf:

- Kann man die Resistenz der Altbestände durch gezielte Durchforstungsmaßnahmen nennenswert erhöhen?
- Kann man die Resilienz/Elastizität der Bestände erhöhen, indem man mittels Verjüngungshieben für Vorausverjüngung sorgt?
- Welche finanziellen Folgen haben solche Durchforstungs- und Verjüngungsmaßnahmen? Sind diese nachteilig?
- Welche Auswirkungen haben solche Maßnahmen auf den Kohlenstoffhaushalt? Ist es hinsichtlich des Kohlenstoffhaushalts sinnvoller, die Bestände zu bewirtschaften oder sie stillzulegen?

*Versuchsaufbau*

Nachdem in solchen Beständen keine gezielt angelegten Versuchsflecken existierten, wurde eine retrospektive Untersuchung durchgeführt. In drei verschiedenen Entwicklungsstadien wurden jeweils vergleichbare



Abbildung 4: Künstlicher Fichtenwald in der Bergmischwaldzone – produktiv, aber risikofähig Foto: S. Höllerl

Bestände gesucht, die in einem Fall völlig unbehandelt erwachsen und im anderen Fall gezielt gepflegt worden waren. Die drei Entwicklungsstadien sind: Jugendstadium (hier 40–50 Jahre alt, Flächengröße 0,1 ha), Wachstumsstadium (hier 60–70 Jahre alt, Flächengröße 0,2 ha) und Reifestadium (hier 80–90 Jahre alt, Flächengröße 0,2 ha). Diese Flächenanordnung wurde in drei Regionen aufgenommen: Ruppolding, Oberammergau und Bad Tölz.

### *Wichtigste Ergebnisse und Veröffentlichungen*

Die Auswertung der Versuchsanlage erbrachte hinsichtlich der beschriebenen Forschungsfragen folgende Ergebnisse:

- Eine Erhöhung der Resistenz ist nur in beschränktem Umfang möglich und nur dann, wenn die Durchforstungsmaßnahmen frühzeitig einsetzen und regelmäßig durchgeführt werden (Höllerl 2009a; Höllerl und Mosandl 2009).
- Eine Erhöhung der Elastizität auf dem Wege der natürlichen Vorausverjüngung von Mischbaumarten ist erfolgversprechender. Angepasste Wildbestände vorausgesetzt, sorgen die vereinzelt Mischbaumarten in den Altbeständen für eine unerwartet gemischte Naturverjüngung (Höllerl 2009a; Höllerl und Mosandl 2009).
- Die vordergründig finanziell nachteilig erscheinenden Bewirtschaftungsmaßnahmen erweisen sich als vorteilhaft, wenn man die zugehörigen Kalkulationen umfassend durchführt und folgende Aspekte einbezieht (Höllerl 2009b; Höllerl et al. 2009): (a) Zinseffekte: Wenn es gelingt, im Rahmen von Durchforstungsmaßnahmen frühzeitig im Bestandsleben einen positiven Deckungsbeitrag zu erwirtschaften, so ist dieser frühe finanzielle Rückfluss bei Berücksichtigung von Zinsen mehr wert als spätere Einnahmen. (b) Risikominderung: Mehrere gestaffelte Holzentnahmen vermindern das Risiko eines schlechten Holzpreises bei einer einzelnen Holzernntemaßnahme. Weiterhin reduzieren diese verteilten Eingriffe das Risiko von großen Kalamitäten. Holz mengen, die bereits im Rahmen regulärer Erntemaßnahmen entnommen wurden, können nicht mehr einer Preis minderung infolge einer Kalamität unterliegen. (c) Kostenlose Naturverjüngung: Die Durchforstungs- und Verjüngungsmaßnahmen führen dazu, dass sich auf natürlichem Wege gemischte Vorausverjüngung einstellt. Unbehandelte Bestände sind dagegen so dicht, dass sich keine Verjüngung entwickelt. Im Falle einer Kalamität oder einer größeren Erntemaßnahme muss zum Teil unter erheblichem finanziellen Aufwand gepflanzt werden.

- Ein Vergleich bewirtschafteter und unbewirtschafteter Waldbestände hinsichtlich ihrer Auswirkung auf den Kohlenstoffhaushalt muss verschiedenste Prozesse berücksichtigen. Für beide Varianten gilt: Im Waldbestand wird durch Zuwachs Kohlenstoff festgelegt. Durch Absterbe- und Verrottungsprozesse wird Kohlenstoff freigesetzt. Bei der Bewirtschaftungsvariante treten aber weitere Effekte auf. Entnommenes Holz wird zu Produkten mit unterschiedlicher Lebensdauer verarbeitet. Hier bleibt der Kohlenstoff für die Dauer der Nutzung festgelegt. Weiterhin treten Substitutionseffekte auf. Von Energiesubstitution spricht man, wenn durch das Verbrennen von Holz fossile Brennstoffe substituiert werden, von Materialsubstitution, wenn Baustoffe aus Holz energieaufwendigere Baustoffe ersetzen (z. B. Dachbalken aus Holz anstelle von Stahlträgern). Unterstellt man für die reinen Fichtenbestände ein Nutzungs- und ein Stilllegungsszenario und berücksichtigt sämtliche genannten Effekte sowie Kalamitätsrisiken, dann schneidet das Nutzungsszenario besser ab als die Stilllegungsvariante (Höllerl und Bork 2013).

### Literatur

Höllerl, S. (2009a): Auswirkungen von waldbaulichen Maßnahmen auf die Stabilität (Resistenz und Elastizität) von Fichtenreinbeständen in der Bergmischwaldstufe der Bayerischen Alpen. Dissertation Technische Universität München. 361 S.

Höllerl, S. (2009b): Berücksichtigung finanzieller Aspekte bei waldbaulichen Entscheidungen – eine Fallstudie für reine Fichtenbestände in der Bergmischwaldzone. Forstarchiv 80(1), S. 4–14

Höllerl, S.; Mosandl, R. (2009): Stabilisierung montaner Fichtenbestände – Nur rechtzeitig zu durchforsten und verjüngen führt zum Erfolg. LWF aktuell 68, S. 11–13

Höllerl, S.; Hammerl R.; Knoke T.; Mosandl, R. (2009): Stabilisierende Eingriffe lohnen sich – Finanzielle Auswirkungen waldbaulicher Maßnahmen im Gebirge. LWF aktuell 71, S. 12–15

Höllerl, S.; Bork, J. (2013): Die Kohlenstoffspeicherung von bewirtschafteten und unbewirtschafteten Fichtenbeständen unter Berücksichtigung von Ausfallrisiken – Aussagen nicht nur über Bestände der montanen Zone. Forstarchiv 84(2), S. 52–64



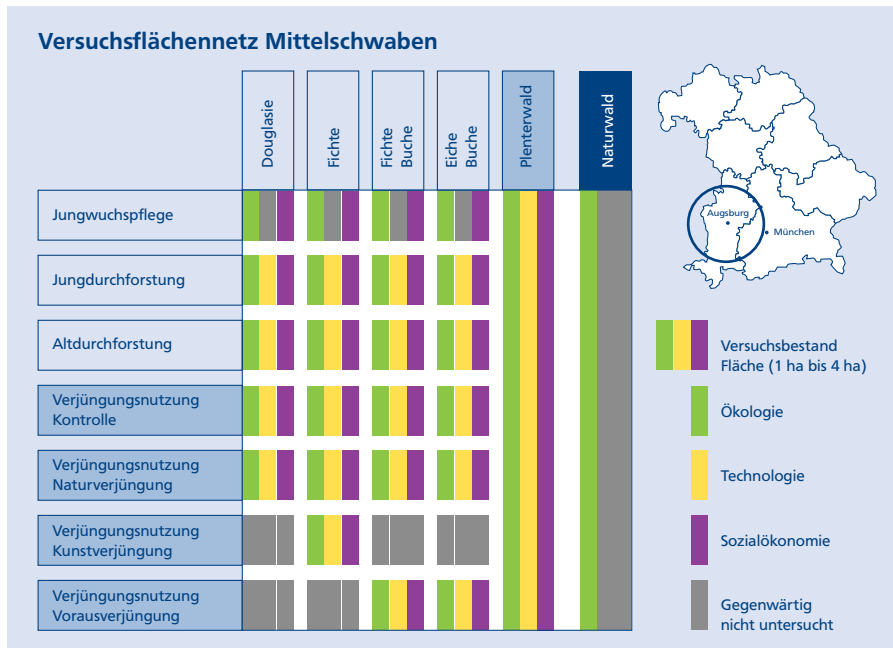


Abbildung 5: Aufbau des Versuchsflächennetzes Mittelschwaben. Das Versuchsflächennetz bildet eine Matrix von Beobachtungsflächen, welche sich aus den sechs Waldbewirtschaftungsoptionen und den Nutzungsarten Jungwuchspflege, Jungdurchforstung, Altdurchforstung und Verjüngungsnutzung zusammensetzt. Die schlagfreien Optionen werden durch eine Versuchsfläche repräsentiert.

### Tertiäres Hügelland

Das Tertiärhügelland gehört zu den produktivsten Waldregionen Bayerns und wird daher seit zwei Jahrzehnten als Modellregion für die Entwicklung einer zukunftsorientierten Forstwirtschaft genutzt. Das Gebiet ist von Natur aus mit Buchenwald bedeckt, wird jedoch traditionell überwiegend im schlagweisen Fichtenwald bewirtschaftet. Daher haben die Stabilisierung und der Umbau dieser insbesondere im Hinblick auf mögliche Klimaänderungen risikoreichen Waldbestände eine besondere Bedeutung.

#### Versuchsflächennetz Mittelschwaben

##### Zielsetzung

Nachhaltige Forstwirtschaft bedeutet, definierte Ziele unter Nutzung der ökologischen Bedingungen und technologischen Möglichkeiten sowie der Beachtung sozioökonomischer Rahmenbedingungen dauerhaft zu erreichen. Schwierigkeiten bereitet es hierbei oftmals, aus der Vielzahl denkbarer Waldentwicklungen das geeignete Maßnahmenbündel herauszugreifen, um Forstwirtschaft in einer Periode globaler Umwälzungen zukunftsorientiert auszurichten. Ursache ist hierbei oft ein Informationsdefizit über die Konsequenzen unterschiedlicher Waldbehandlungsoptionen. Das im Jahr 1999 angelegte Versuchsflächennetz Mittelschwaben soll wissenschaftliche Grundlagen für eine zukünftige nachhaltige Waldbewirtschaftung schaffen (Felbermeier und Mosandl 2004).

#### Aufbau

In Wuchsreihen werden hierzu die im Untersuchungsgebiet wichtigsten waldbaulichen Optionen der Waldbewirtschaftung auf Versuchsflächen abgebildet:

- Naturferne, schlagweise Forstwirtschaft mit Douglasie
- Naturferne, schlagweise Forstwirtschaft mit Fichte
- Naturnahe, schlagweise Forstwirtschaft mit Fichte-Buche
- Naturnahe, schlagweise Forstwirtschaft mit Eiche-Buche
- Naturnahe, schlagfreie Forstwirtschaft mit Fichte-Buche-Tanne
- Aufgabe der Forstwirtschaft (Naturwald)

Die waldbauliche Behandlung der Versuchsbestände wird unter Beibehaltung der vorgegebenen Option von den Waldbesitzern festgelegt, so dass auf den Versuchsflächen ein realitätsnahes Abbild der in Mittelschwaben praktizierten waldbaulichen Konzepte dargestellt werden kann. Die Auswirkungen der von den Forstbetrieben angewandten waldbaulichen Verfahren auf das Waldökosystem und seine Nutzung können so auf einer Fläche von insgesamt rund 30 ha wissenschaftlich beobachtet werden.

Das Versuchsflächennetz bildet eine Matrix von Beobachtungsflächen, welche sich aus den sechs Waldbewirtschaftungsoptionen und den Nutzungsarten Jungwuchspflege, Jungdurchforstung, Altdurchforstung und Verjüngungsnutzung zusammensetzt. Die schlagfreien Optionen werden durch eine Versuchsfläche repräsentiert (Abbildung 5). Die Versuchsbestände haben –

soweit vorhanden – eine Fläche von mindestens 1 ha und liegen zur Minimierung landwirtschaftlicher Einflüsse mindestens 50 m von Waldrändern entfernt. Alle Bestände stocken einheitlich auf frischem Feinlehm in ebener Lage, so dass die Vergleichbarkeit der Bestände gewährleistet ist. Die Aufnahmeparzellen haben eine Fläche von 0,1 ha (Jungwuchspflege), 0,25 ha (Jungdurchforstung), 0,5 ha (Altdurchforstung) und 1 ha (Verjüngungsnutzung bzw. schlagfreier Wald).

Die Verjüngungsnutzung über Naturverjüngung ist darauf ausgerichtet, den Bestandstyp in seiner Baumartenzusammensetzung zu erhalten. Ein zusätzlicher Umbauversuch, der den Wechsel von der Option Fichte zu den anderen Optionen experimentell abbildet, ergänzt das Versuchsflächennetz.

### *Wichtigste Ergebnisse und Veröffentlichungen*

Im Rahmen der langfristig angelegten Versuchsanlage werden nach einer ersten Anlaufphase laufend wissenschaftliche Ergebnisse gewonnen, die auf einem Vergleich der unterschiedlichen Waldbehandlungsoptionen basieren. Beispiele hierfür sind Einflüsse der Baumartenzusammensetzung und der Nutzungsart auf die Zusammensetzung von Kohlenstoffverbindungen im Waldboden (Spielvogel et al. 2010) oder das Vorkommen und die Existenzbedingungen von Insekten (Ziesche und Roth 2008). Das Versuchsflächennetz steht Forschergruppen aus unterschiedlichen Disziplinen für wissenschaftliche Untersuchungen zur Verfügung. Die wissenschaftliche Qualität der Versuchsflächenanlage und die bestehende Infrastruktur erlaubt es somit, interdisziplinäre Forschung im Ökosystem Wald effizient zu unterstützen.

### **Literatur**

Felbermeier, B.; Mosandl, R. (2004): Zukunftsorientierte Forstwirtschaft. *Ökosystem Management* 1, 122 S.

Felbermeier, B.; El Kateb, H.; Mosandl, R. (2008): Versuchsflächennetz Mittelschwaben. *Silvicultural Experiments* 2, 20 S.

Spielvogel, S.; Prietzel, J.; Kögel-Kabner, I. (2010): Lignin phenols and cutin- and suberin-derived aliphatic monomers as biomarkers for stand history, SOM source, and turnover. *Geochimica et Cosmochimica ACTA* 74 (12), A983

Ziesche, T.M.; Roth, R. (2008): Influence of environmental parameters on small-scale distribution of soil-dwelling spiders in forests: What makes the difference, tree species or microhabitat? *Forest Ecology and Management* 255, S. 738–752

### **Fichten-Durchforstungsversuch Freising**

#### *Zielsetzung*

Fichtenjungbestände besitzen häufig infolge überdichter Verjüngung und Pflegerückständen eine geringe Resistenz gegenüber Sturm und Schnee. Um hierfür geeignete waldbauliche Behandlungen zu erproben, wurde 1974 in einem aus Nachkriegsaufforstungen hervorgegangenen Fichtenbestand ein langfristiger Durchforstungsversuch mit folgender Zielsetzung angelegt:

- Erstbehandlung eines sehr baumzahlreichen Fichten-Jungbestands
- Langfristige Erprobung verschiedenartiger Durchforstungsverfahren unter Einbeziehung praxisorientierter Verfahren und Extremvarianten wie Hiebsruhe und sehr starke Freistellung
- Untersuchung der Wachstumsreaktionen sowie der Qualitäts- und Schadensentwicklung
- Ergänzende Untersuchung der Reaktion junger Buchen unter verschieden stark aufgelichteten Fichtenschirmen
- Möglichkeit der Überprüfung und Ergänzung eines gleichartigen Versuchs im herzoglich-württembergischen Forstamt Altshausen bei Sigmaringen

#### *Aufbau*

Nach dem Erstaufschluss des rund 7 ha großen Bestands mit 4 m breiten Rückegassen im 30-m-Abstand erfolgte die Anlage von 0,1 ha großen Versuchspartellen in den bestockten Streifen zwischen den Rückegassen. Die Anzahl der Partellen wurde so gewählt, dass jedes Durchforstungsverfahren zweifach wiederholt ausgeführt werden konnte. Vor Versuchsbeginn wurden alle Mischbaumarten chemisch bzw. durch Ringelung zur Vereinheitlichung der Ausgangslage abgetötet. Danach wurden die Partellen in den Jahren 1974, 1981, 1989, 1996 und 2007 durchforstet. Zur Anwendung kamen die Durchforstungsarten Niederdurchforstung, Auslesedurchforstung, Z-Baum-Durchforstung und schematische Durchforstung in unterschiedlichen Eingriffsstärken (Huss 2009).

#### *Wichtigste Ergebnisse und Veröffentlichungen*

Die Pflege von Fichtenjungbeständen hat einen erheblichen Einfluss auf die Stabilität und den zu erwartenden Ertrag. Am deutlichsten wird dies, wenn man die undurchforsteten Partellen mit solchen vergleicht, auf denen zu Versuchsbeginn zuerst 400 Z-Bäume und dann in den folgenden Jahren 200 Z-Bäume und schließlich 100 Z-Bäume pro Hektar völlig freigestellt wurden. Die Z-Bäume erhielten durch die Behandlung deutlich mehr Wuchsraum und konnten infolgedessen



Abbildung 6: Reichhaltiger Bestandsaufbau aus extrem freigestellten, hiebsreifen 65-jährigen Fichten mit Buchen-voranbau Foto: R. Mosandl

längere Kronen sowie größere Stammdurchmesser entwickeln. Im Vergleich zu den undurchforsteten Parzellen ist die Stückmasse daher fast viermal so hoch und die Einzelbaumstabilität sehr gut entwickelt (Abbildung 6). Eine flexible und holzmarktangepasste Nutzung wird damit über einen längeren Zeitraum möglich, während eine Nutzung der undurchforsteten Parzellen nur mehr in Form von Kahl- und Saumhieben in Betracht kommt. Die übrigen acht Durchforstungsvarianten liegen zwischen diesen beiden Extremvarianten (Hahn et al. 2009).

#### Literatur

Huss, J. (1990): Zur Durchforstung engbegründeter Fichtenjungbestände. Forstwissenschaftliches Centralblatt 109(1); S. 101–118

Huss, J. (2009): Fichten-Durchforstungsversuch Freising. Kurzbericht. 6 S.

Hahn, A.; Huss, J.; Knoke, T.; Mosandl, R. (2009): Der Fichten-durchforstungsversuch Freising. LWF aktuell 68, S. 18–20

#### Buchensaatversuch

##### Zielsetzung

Viele Waldbaukonzepte streben die künstliche Einbringung von Laubholz, vorwiegend Buche, in Nadelholzreinbestände an. Die Umwandlung größerer Waldflächen erfordert jedoch hohe finanzielle Aufwendungen. Als kostengünstige Alternative zum Buchen-Voranbau durch Pflanzung wird daher die Bucheckern-Voraus-saat gesehen. Diese ist jedoch nur dann eine echte waldbauliche Alternative, wenn neben einigen ökologischen Vorteilen die damit verbundenen Kosten geringer oder zumindest vergleichbar sind und eine ausreichende Sicherheit für den Erfolg der Maßnahme besteht (Leder et al. 2003).

Vor diesem Hintergrund wurde ein Versuch konzipiert, mit dem die waldbauliche Steuerung der Faktoren, welche für den Erfolg von Bucheckern-Voraus-saaten maßgeblich sind, untersucht werden kann. Ende der 1990er Jahre wurden von Mitgliedern der Sektion Waldbau des Deutschen Verbands Forstlicher Forschungsanstalten (DVFFA) Versuchsflächen nach einem einheitlichen Konzept in Nordrhein-Westfalen (1996), Bayern (1997), Sachsen (1998) und Rheinland-Pfalz (1998) angelegt (Leder et al. 2003). Ziel des Versuchs ist die Beantwortung folgender Fragen:

- Wie ist der Auflaufferfolg der ausgebrachten Bucheckern auf Saatplätzen?
- Wie wirkt sich die Grundflächenhaltung des Oberstands auf die Entwicklung der Pflanzenzahlen und das Längenwachstum der gekeimten Buchen aus?
- Wie wirkt sich eine gleichzeitig oder kurz vor der Saat erfolgte Kalkung auf den Auflaufferfolg und die weitere Entwicklung der Buchen hinsichtlich Zahl und Sprosslänge aus?
- Wie entwickelt sich die Buchensaat im Vergleich zu gepflanzten Buchen?

##### Aufbau

An zwei Versuchsstandorten in Bayern (Freising und Landshut) wurden je 36 jeweils 18 m × 18 m große Parzellen eingerichtet und in Form von 6 × 6 lateinischen Quadraten angeordnet. Auf diesen Parzellen wurden an jedem Standort entweder a) keine Maßnahmen durchgeführt, b) einjährige Buchen gepflanzt, die im Jahr zuvor aus dem im Versuch verwendeten Saatgut gezogen worden waren, c) zweijährige Buchen gepflanzt, die einem anderen Erntebestand entstammten oder auf drei Arten gesät: Die Saat umfasste d) eine Kontrollvariante (Saat von 15 g Bucheckern/Platz auf freigelegtem Mineralboden, anschließend leicht übererdet), e) eine Variante, in der bei sonst gleicher Behandlung mit der Saat 200 g feingemahlener Dolomit





Abbildung 7: Buchenpflanzen aus plätzweiser Saat unter Fichtenaltholz Foto: Lehrstuhl für Waldbau

pro Saatplatz ausgebracht wurde, und f) eine Variante, bei der die Bucheckern nicht nur leicht übererdet, sondern darüber hinaus mit je zehn Litern Buchenlaub pro Saatplatz abgedeckt wurden. Gesät wurde auf Plätzen von 0,5 m<sup>2</sup> Größe, deren Abstand 2 m × 1 m betrug (Abbildung 7). Gepflanzt wurde ebenfalls in einem Abstand von 2 m × 1 m (Ammer und El Kateb 2007).

#### *Wichtigste Ergebnisse und Veröffentlichungen*

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass gepflanzte und gesäte Buchen sich unter Fichtenschirm ähnlich verhalten. So wurde kein Unterschied im Sprossdurchmesser und der oberirdischen Biomasse gefunden. Für alle drei Behandlungsvarianten konnte nachgewiesen werden, dass das Verhältnis von Astbiomasse zu Sprossbiomasse mit dem Alter zunimmt, wobei aufgrund höherer intraspezifischer Konkurrenz bei gesäten Buchen die Zunahme dieses Verhältnisses am geringsten war. Auch wurden Unterschiede im Wachstumsverlauf zwischen den untersuchten Varianten gefunden, die jedoch keinen einheitlichen Trend aufweisen.

Insgesamt eignet sich damit sowohl die Pflanzung als auch die Saat für den Voranbau der Buche unter Fich-

tenaltholz. Eine gelungene Saat bietet dabei eine höhere Ausgangsdichte, und die gesäten Buchen stehen den gepflanzten in ihrem Wachstum nicht nach. Allerdings eignet sich die Saat nicht in allen Situationen und erfordert zudem eine professionelle Vorbereitung und Ausführung. Einen ausreichenden Saaterfolg vorausgesetzt, ist sie aufgrund der geringeren Begründungskosten wirtschaftlicher als eine Pflanzung und führt zu einer ungestörten Wurzelentwicklung (Ammer und El Kateb 2007).

#### **Literatur**

Leder, B.; Wagner, S.; Wollmerstädt, J.; Ammer, C. (2003): Bucheckern-Vorausfaat unter Fichtenschirm. Forstwissenschaftliches Centralblatt 122, S. 160–174

Ammer, C.; Mosandl, R. (2007): Which grow better under the canopy of Norway spruce – Planted or sown seedlings of European beech? Forestry 80(4), S. 385–395

Ammer, C.; El Kateb, H. (2007): Buchensaat oder -pflanzung: Vergleich zweier Optionen zum Umbau von Fichtenreinbeständen. LWF Wissen 58, S. 38–41

#### **Anbauversuch Paulownia**

##### *Zielsetzung*

Die raschwüchsigen Paulownien, Bäume aus der Gattung der Blauglockenbäume, sind wirtschaftlich überaus interessante Baumarten. Sie können sowohl zur Bereitstellung von Energieholz als auch zur Produktion von höherwertigen Holzwerkstoffen eingesetzt werden. Darüber hinaus verfügen sie über herausragende Holzeigenschaften, die sie für eine ganze Reihe von Verwendungen prädestinieren: Es ist vor allem das einzigartige Verhältnis von Gewicht zu Festigkeit des Paulownia-Holzes. Mit einer Rohdichte von circa 0,29 g/cm<sup>3</sup> ist das Holz deutlich leichter als Fichtenholz, besitzt aber dennoch eine sehr hohe Festigkeit, die einen Einsatz im Möbel-, Fahrzeug- und Schiffsbau ermöglicht.

In Deutschland finden flächige Versuchsanbauten mit Paulownien erst seit wenigen Jahren statt. Ziel unseres Anbauversuchs ist es zu untersuchen, ob Paulownia unter den derzeitigen klimatischen Verhältnissen in Bayern gedeiht, ob Holz mit den erwarteten günstigen Eigenschaften produziert werden kann und wie lange es dauert, bis wirtschaftlich verwertbare Dimensionen anfallen. Im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen Merkmale wie Etablierungserfolg, Überlebensprozent, Wachstum und Anfälligkeit gegenüber Krankheiten, Schädlingen und abiotischen Gefährdungen. Besonderes Augenmerk wird auf das zeitliche Einsetzen der Blühreife gelegt. Aufgrund ihrer





Abbildung 8: 2-jährige Paulownia Foto: B. Stimm

reichlichen und leichten Samen und ihrer Persistenz wird die Art in verschiedenen Ländern als invasiv betrachtet. Im Anschluss an die Etablierungsphase wird untersucht, ob die Palette waldbaulicher Pflegemaßnahmen erfolgreich zur Verbesserung des Einzelbaum- und Bestandswachstums sowie zur Verbesserung der Stammholzqualität eingesetzt werden kann. Holzqualitative Untersuchungen an periodischen Vornutzungen sollen das Programm ergänzen.

#### Aufbau

Insgesamt kamen sechs verschiedene Versuchsglieder zum Anbau, darunter drei Paulownia-Arten, *Paulownia catalpifolia*, *P. elongata* und *P. tomentosa* (Herkunft USA) sowie die Paulownia-Hybride »ShanTong« (*P. tomentosa* × *P. fortunei*). Der Bezug der Samen von *Paulownia catalpifolia*, *P. elongata*, *P. tomentosa* und des Paulownia-Hybrids »ShanTong« erfolgte aus den USA. Zusätzlich konnte Saatgut von zwei *P. tomentosa*-Herkünften aus China bezogen werden. Die Anzucht des Vermehrungsguts erfolgte im Forstlichen Versuchsgarten Grafrath der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.

Im Herbst 2011 wurden die Sämlinge an drei verschiedenen Orten Bayerns entlang eines Klimagradients ausgebracht. Die Anbauorte decken das in Bayern vorhandene Temperaturgefälle von warm-temperiert bis kühl-temperiert ab: Markt Großostheim, Unterlippach bei Landshut und Beuerberg.

#### Wichtigste Ergebnisse und Veröffentlichungen

Die Paulownia-Arten unseres Versuchs unterscheiden sich sowohl im Gewicht der Samen als auch in der Biomasse ihrer Keimlinge. Die höchsten Keimprozent wiesen die Samen von *P. tomentosa* auf, gefolgt von denen der Hybride, während sich die Samen von *P. elongata* und *P. catalpifolia* als sehr wenig keimfähig erwiesen. Im Jahr 2011 wurden Wuchsleistung und Verzweigungsform zweijähriger Paulownien untersucht (Abbildung 8). Paulownia verzweigt überwiegend sympodial. Da die Endknospen während der Vegetationsruhe absterben, wird die Entwicklung der Hauptachse unterbrochen und die Seitenachsen übernehmen in der nächsten Vegetationszeit das Hauptwachstum. Die natürliche Ausbildung eines Paulownia-Stammes kann daher zu sehr unterschiedlichen und im Hinblick auf die Holzverwendung unerwünschten Formen führen. Von den angezogenen Arten scheint *P. tomentosa* aufgrund des besseren Höhenwachstums und der häufigen Ausbildung eines Verzweigungsmusters, das zu einem geraden Stamm führt, am besten für einen Anbau geeignet zu sein. Die Paulownia könnte aufgrund ihres schnellen Wachstums, ihrer überragenden Holzeigenschaften und ihrer möglichen Anpassbarkeit an Klimabedingungen, wie wir sie in Zukunft in Bayern erwarten, zu einer Bereicherung für die bayerische Forstwirtschaft werden. Allerdings sollten vor einem Anbau von Paulownia in der Praxis auf alle Fälle noch die Ergebnisse von Versuchsanbauten abgewartet werden. Selbst wenn diese positiv ausfallen und sich auch die Gefahr einer Invasivität als gering herausstellen sollte, sollte man diese nichtheimische Baumart nicht im großen Stil anbauen, um keine unvorhersehbaren Risiken einzugehen.

#### Literatur

Stimm, B.; Stiegler, J.; Genser, C.; Wittkopf, S.; Mosandl, R. (2013): Paulownia – Hoffnungsträger aus Fernost? Eine schnellwachsende Baumart aus China in Bayern auf dem Prüfstand. LWF aktuell 96, S. 18–21

## Baumartenentwicklung und Verjüngung im Donau-Auwald

### Zielsetzung

Im Jahresverlauf prägt der Wechsel von Hoch- und Niedrigwasser die natürliche Auwaldentwicklung. Gleichmäßig hohe Wasserstände in der Aue sind hingegen das Ergebnis wasserbaulicher Maßnahmen. Seit dem Bau der Donaustufen Ende der 1960er Jahre gibt es die großen Grundwasserschwankungen im Donau-Auwald nicht mehr. Durch regelmäßige ökologische Flutungen soll nun der Auwald zwischen Neuburg und Ingolstadt wieder dynamisiert werden. Damit kommt es auf kleiner Fläche wieder häufiger zu Überflutungen. Die Auswirkungen dieser wasserbaulichen Maßnahme auf den Auwald werden wissenschaftlich begleitet: Ziel ist zum einen festzustellen, ob in den zurückliegenden Jahrzehnten die Vitalität älterer Bäume (>40 Jahre) durch den Staufenbau beeinflusst wurde und wie sie auf die in Zukunft stattfindenden regelmäßigen Überflutungen reagieren werden, zum anderen die Vitalitätsentwicklung der jüngeren Bäume (<40 Jahre) zu beobachten. Zu den untersuchten Baumarten gehören Bergahorn, Esche und Stieleiche. Durch die Aufnahme der Verjüngung sollen Aussagen zur Verjüngungsdynamik im Auwald gewonnen werden.



Abbildung 9: Donauauwald Foto: F. Binder

### Versuchsflächenaufbau

Die Reaktion von Bergahorn und Esche auf die ökologischen Flutungen wird mit Hilfe von Dauerbeobachtungsflächen untersucht, welche von der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft im Jahr 2009 eingerichtet wurden und gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Waldbau betreut werden. Die Vorauswahl der Flächen erfolgte durch die Simulation angenommener Wasserspiegellagen im Laufe von Hochwasserereignissen und ökologischen Flutungen, um möglichst zu gewährleisten, dass sich die Beobachtungsflächen hinsichtlich ihrer Grundwasserdynamik unterscheiden. Auf den drei typischen Auwaldstandorten a) Mulden – »feucht« –, b) Landwald tief – »selten Überflutungen, etwa alle 10 Jahre« – und c) Landwald hoch – »keine Überflutungen« – wurde je eine Beobachtungsfläche mit sechs Wiederholungen angelegt. Die Flächen sind mit Eschen-/Ahornbeständen bestockt. Innerhalb der Flächen wurden 16 Probe- kreise à 1m<sup>2</sup> eingelegt, um die Verjüngung zu beobachten. Auf den gleichen Standorten wird zusätzlich der Einfluss des Staufenbaus auf Alteichen anhand von Jahrringbohrkernen untersucht. Der Istzustand der Bestände wurde unmittelbar nach Anlage der Flächen erhoben. Die erste Wiederholungsaufnahme fand im Herbst 2013 statt. Derzeit werden die Daten ausgewertet.

### Ergebnisse

Erste Ergebnisse liegen bisher nur für Alteichen vor. Demnach führte die Veränderung der Standortbedingungen durch den Staufenbau zu einem Rückgang des Durchmesserwachstums der Stieleichen (*Quercus robur*). Dieser bewegt sich in den ersten zehn Jahren nach Staufenbau in einer Größenordnung von rund 30% auf gut nährstoffversorgten Standorten (Weißbrod et al. 2013). Zu den weiteren Auswirkungen der ökologischen Flutungen auf die Waldbäume liegen derzeit noch keine Erkenntnisse vor.

### Literatur

Weißbrod, M.; Binder, F.; Mosandl, R. (2012): Dendrochronologische Untersuchungen an Alteichen im Donauauwald. Tagungsband inkl. Vortragsfolien zur 12. Forstwissenschaftlichen Tagung an der Technischen Universität München vom 19. bis 22. September 2012. S. 123

Weißbrod, M.; Binder, F.; Mosandl, R. (2013): Auswirkung des Staufenbaus auf das Durchmesserwachstum von Eichen (*Quercus robur*) im Auwald zwischen Neuburg an der Donau und Ingolstadt. In Druck.

## Bayerischer Wald

Der Bayerische Wald bildet als Teil des Böhmerwalds eines der größten Waldgebiete Europas. Ursprünglich von Bergmischwald aus Fichte, Tanne und Buche geprägt, besteht er heute vorwiegend aus natürlich erscheinenden Fichtenwäldern. In den Hochlagen des Bayerischen Waldes wurde 1970 der erste Nationalpark Deutschlands eingerichtet und die Entwicklung des Waldes der Natur überlassen. Nach Orkanschäden Mitte der 1980er Jahre entwickelte sich im Nationalpark ein flächiger Borkenkäferbefall, welcher schließlich den Zusammenbruch der Fichtenwälder im Nationalpark bewirkte.

### Walddynamik nach Borkenkäferbefall im Nationalpark Bayerischer Wald

#### Zielsetzung

Die Sorge um ein Verschwinden des Waldkleids im Nationalpark und den damit verbundenen Auswirkungen warf die Frage nach der Notwendigkeit von Pflanztätigkeiten unter den ganz oder teilweise abgestorbenen Beständen auf. Die entscheidende Frage in dieser Situation war, ob es nach dem verheerenden Borkenkäferbefall und dem Absterben der Bestände genügend Verjüngungspflanzen gäbe, die eine Wiederbewaldung sicherstellen. Daher wurden im Nationalpark Versuchsflächen angelegt (Abbildung 10), die folgende Fragestellungen verfolgen:

- Wie stellt sich die Verjüngungs- und Konkurrenzsituation langfristig dar?
- Welches Potenzial an Keimlingen ist vorhanden und unter welchen Umweltbedingungen vermögen sich die Keimlinge anzusiedeln?
- Welchen Einfluss hat die vorhandene und durch Freistellung ihrerseits geförderte Bodenvegetation auf die Etablierung der Gehölzverjüngung?
- Verlaufen die Verjüngungsprozesse im Nationalpark und im Erweiterungsgebiet unterschiedlich?
- Verlaufen die Verjüngungsprozesse in stark vom Borkenkäfer befallenen Altbeständen ähnlich wie in bereits abgestorbenen Altbeständen?
- Gibt es standörtlich bedingte Unterschiede der Verjüngungsentwicklung in Hang- und Plateaulagen?
- Lässt die derzeitige Situation der Gehölzverjüngung und der Bodenvegetation einen neuen Baumbestand erwarten?



Abbildung 10: Aufnahme der Naturverjüngung und Bodenvegetation nach Borkenkäferbefall des Altbestands im Nationalpark Bayerischer Wald Foto: R. Mosandl

#### Aufbau

Insgesamt wurden in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet Geobotanik der Technischen Universität München 24 Dauerbeobachtungsflächen (40 m × 40 m) eingerichtet. 16 Flächen befinden sich in den Hochlagen des Nationalpark-Altgebiets (»Rachel-Lusen-Gebiet«) und acht im Erweiterungsgebiet (»Falkenstein-Rachel-Gebiet«). Die Flächen wurden in den jeweiligen Gebieten so angeordnet, dass sie auf die Faktoren Lage (Hang versus Plateau) und Altbestandszustand (abgestorben versus befallen) gleichmäßig verteilt sind.

#### Wichtigste Ergebnisse und Veröffentlichungen

In den Hochlagen des Bayerischen Waldes wächst nach dem Zusammenbruch der Altbestände eine neue Baumschicht heran, die sich vorwiegend aus den Samen der Altbestände entwickelt und von Fichte mit Vogelbeere dominiert wird. In vielen Bereichen der Hochlagen ist die Dichte der Verjüngung ausreichend. Die Verjüngungspflanzen überleben dabei vorwiegend auf grasfreien Flächen, Nadelkissen, Totholz und in Stockachseln, so dass die neue Waldgeneration eine große räumliche Heterogenität aufweisen wird.

#### Literatur

Bauer, M.L. (2003): Walddynamik nach Borkenkäferbefall in den Hochlagen des Bayerischen Waldes. Dissertation Technische Universität München. 167 S.

Bauer, M.L.; Fischer, A.; El Kateb, H.; Mosandl, R. (2008): Verjüngungsdynamik nach großflächigem Borkenkäferbefall in den Fichtenwäldern der Hochlagen des Bayerischen Waldes. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 179, S. 43–51



## Oberpfälzer Wald und Hügelland

In vielen Regionen Nordostbayerns wurden die Wälder durch frühe industrielle Nutzungen degradiert. In der Folge entstanden großflächig Kiefernwälder, welche aufgrund devastierter Waldböden über Jahrzehnte eine geringe Wuchsleistung aufwiesen. Beispielhaft hierfür sind die Kiefernwälder in der Oberpfalz. Diese gerade im Hinblick auf Klimaänderungen interessanten Wälder weisen heute wieder ein beachtliches Wachstum auf, das durch gezielte waldbauliche Eingriffe sinnvoll gesteuert werden kann.

### Kiefern-Durchforstungsversuch

#### Zielsetzung

Die Kiefer hat als lichtbedürftige Baumart ein rasches Jugendwachstum. Wüchsige Kieferbestände kulminieren so bereits im Alter von 10 bis 20 Jahren. Kiefernbestände müssen daher gestaffelt durchforstet werden, d. h. starke Eingriffstärken im Jugendstadium und weitgehende Hiebsruhe im Alter. Frühe und starke Eingriffe in Kiefernbestände stoßen jedoch auf Bedenken im Hinblick auf mögliche Zuwachsverluste, auf Qualitätsminderungen und auf erhöhte Gefährdungen, vor allem durch Schnee. Ziel des Versuchs ist es daher, die folgenden drei Aspekte zu prüfen (Huss 1983):

- Wie ist das Zuwachsverhalten junger Kiefernbestände nach Durchforstungen?
- Wie ist die Qualitätsentwicklung in Abhängigkeit von Durchforstungen?
- Welche Risiken sind mit den Durchforstungen verbunden?

#### Aufbau

Jeweils ein Flächenset wurde an den Standorten Weiden und Burglengenfeld angelegt. Zu Versuchsbeginn wurden die bis dahin undurchforsteten Bestände durch 4 m breite Rückegassen im 30-m-Abstand erschlossen. In die dann verbleibenden Bestandsstreifen wurden rund 0,1 ha große Parzellen gelegt und in diesen eine Reihe verschiedener Durchforstungsverfahren wie Protzenentnahme, Auslesedurchforstung und verschiedene Z-Baumvarianten mit und ohne Astungen erprobt. Alle Varianten wurden zwei- bzw. dreimal wiederholt (Huss 1983).

#### Wichtigste Ergebnisse und Veröffentlichungen

Die Kiefernwirtschaft hat aufgrund verbesserter Wachstumsverhältnisse an forstwirtschaftlichem Interesse gewonnen. Durch waldbauliche und technische Maßnahmen lässt sich bei den meisten Beständen wertvolles Starkholz produzieren (Abbildung 11). Dies ist

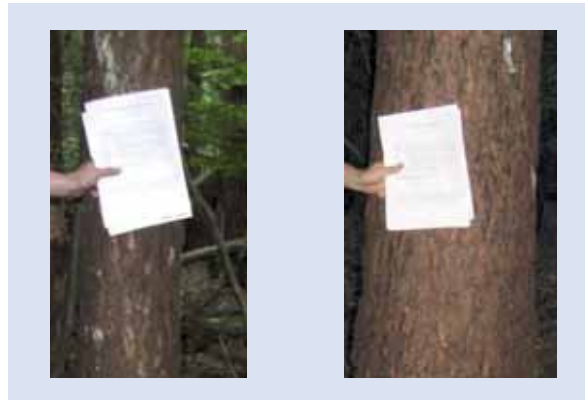


Abbildung 11: Herrschende, 60-jährige Kiefer: links ohne Durchforstung, rechts fast hiebsreif nach langjähriger Freistellung Foto: R. Mosandl

vor allem mit Hilfe von Astungen sowie rechtzeitigen und intensiveren Durchforstungen möglich, die den Zuwachs beizeiten auf die qualitativ brauchbaren Vorwüchse konzentrieren. Das besondere Wuchsverhalten der Kiefer verlangt, dass diese Freistellungen und Astungen früher und stärker erfolgen, als das gemeinhin angenommen wird, in höherem Bestandsalter aber schwächer geführt werden müssen als üblich. Auch bei sehr starken Durchforstungen in Jungbeständen brauchen Volumenzuwachsverluste offenbar nicht befürchtet zu werden, vielmehr kann mit erheblichen Durchmesserzuzwächsen gerechnet werden. Nach Modellkalkulationen wirkt sich eine Qualitätsminderung des Mittelstammstücks als Folge verlangsamter Astreinigung auf den Holzwert nicht nachteilig aus. Vielmehr wird der durchschnittliche Festmeterpreis durch die erhebliche Wertsteigerung, welche das Erdstammstück aufgrund des verstärkten Durchmesserzuzwachs erfährt, angehoben. Schäden durch Schnee traten in den Versuchen zwar auf, betrafen durchweg jedoch nur unter- und zwischenständige Bäume. Wegen der starken Wuchsdynamik der Kiefern in früher Jugend sollte das Durchforstungsintervall unter zehn Jahren liegen, insbesondere wenn nachgeholt Pflegemaßnahmen nötig sind (Huss 1983).

#### Literatur

Huss, J. (1983): Durchforstungen in Kiefernjungbeständen. Forstwissenschaftliches Centralblatt 102, S. 1–17

### Praxisversuch Kiefern-Durchforstung

#### Zielsetzung

Ergänzt wird der Kiefern-Durchforstungsversuch durch einen Praxisversuch, der durch unorthodoxes waldbauliches Vorgehen 1977 in Kiefernbeständen des ehemaligen Forstamts Tirschenreuth entstanden ist. Dieser Versuch wird seit 1987 zur Beantwortung folgender Fragestellungen wissenschaftlich begleitet:

- Wie entwickelt sich ein überdicht entstandener Kiefernbestand nach sehr starker Auslesedurchforstung?
- Wie ist die technische Qualität der ausgeführten Astung und wie läuft der Überwallungsprozess ab?
- Welche allgemeingültigen Schlüsse können aus den erarbeiteten Befunden für die Auswahl von Astungsbäumen gezogen werden?

#### Aufbau

Ausgangspunkt war ein aus Naturverjüngung hervorgegangener dichter Kiefernbestand. Im Alter von 35 Jahren ließ das Forstamt Tirschenreuth in einem Bestandsteil 425 Kiefern pro Hektar asten und durch starke Auslesedurchforstung freistellen. Dabei wurde die Hälfte des Vorrats entnommen. Der andere Teil des Bestands blieb unbehandelt. In den Folgejahren wurde die Freistellung der geasteten Bäume fortgesetzt: Im Jahr 1992 wurden dabei 20% und im Jahr 2003 40% der Grundfläche entnommen.

#### Wichtigste Ergebnisse und Veröffentlichungen

Der Versuch führte bisher zu folgenden Ergebnissen (Burschel et al. 1989; Burschel et al. 1994):

- Die Durchmesserentwicklung und Qualität der Kiefer kann durch starke Baumzahlreduktion und Astung einer begrenzten Zahl von potenziellen Erntebäumen (nicht mehr als 200 Z-Bäume pro Hektar) in möglichst frühen Entwicklungsphasen gefördert werden.
- Die Astung ist nur bei Starkholzproduktion und nur für gute Ertragsklassen sinnvoll.
- Starke Durchforstungseingriffe verbessern die Widerstandsfähigkeit der Kiefer gegenüber abiotischen Risiken und erhöhen die Resilienz der Bestände durch das Entstehen einer zweiten Bestandsschicht. Die Einzelbaumstabilität ermöglicht lange Endnutzungszeiträume, so dass bei Entnahme des letzten Baums im Oberstand die Verjüngungsschicht bereits die Dickungs- und Starkholzphase erreicht hat. Eine Abkehr von der traditionell im Kahlschlag geführten Kiefernbestandswirtschaft ist damit möglich.



Abbildung 12: Gestufter Bestandsaufbau bestehend aus stark freigestellter, hiebsreifer 70-jähriger Kiefer und natürlich entstandenem Fichten-Nebenbestand

Foto: R. Mosandl

#### Literatur

Burschel, P.; Klumpers, J.; Binder, F. (1989): Durchforstung und Astung in einem Kiefernbestand. AFZ 44, S. 415–418

Burschel, P.; Boedicker, C.; Ammer, C. (1994): Kiefernbewirtschaftung. Moderne Kiefernwirtschaft, dargestellt am Beispiel eines Bestandes in der Bayerischen Oberpfalz. Teil I: Methodik, Standort und waldbauliche-ertragskundliche Ergebnisse. Der Wald, 44 (3), S. 82–85

Burschel, P.; Boedicker, C.; Ammer, C. (1994): Kiefernbewirtschaftung. Moderne Kiefernwirtschaft, dargestellt am Beispiel eines Bestandes in der Bayerischen Oberpfalz. Teil II: Betriebswirtschaftliche Betrachtungen und Diskussion. Der Wald, 44 (4), S. 116–119



## Fichtelgebirge

Der Nordosten Bayerns war im 20. Jahrhundert durch starke Schwefeldioxid-Einträge belastet. Die fast reinen Fichtenwälder im ursprünglich von Mischwäldern bedeckten Fichtelgebirge wurden dadurch erheblich geschädigt. Von forstwirtschaftlicher Seite sollte mit Hilfe eines Sanierungs- und Verjüngungsprogramms einem drohenden Zerfall der Wälder im Fichtelgebirge begegnet werden.

### Aufforstung in Waldschadensgebieten

#### Zielsetzung

Im Rahmen eines von den Alpen bis in den Frankенwald reichenden Versuchs wurden waldbauliche Maßnahmen geprüft, die zu einer Stabilisierung des Waldes beitragen könnten. Von den Beobachtungsflächen wurde die 1985 angelegte Versuchsanlage im Fichtelgebirge bis jetzt fortgeführt. Die Untersuchung verfolgt dabei folgende Ziele:

- Welche Baumarten sind für die Wiederbestockung von Schadflächen geeignet?
- Haben Pflanzung oder Saat unter dem Schirm einer vorhandenen, vermutlich meist aber nicht mehr lang zu haltenden Restbestockung Vorteile gegenüber der Aufforstung auf Freiflächen?
- Können Vitalität und Wachstum der Verjüngung durch Düngung und/oder Regelung der interspezifischen Konkurrenz gefördert werden?

#### Aufbau

Der Versuch besteht aus je zwei Blöcken mit je drei Versuchspartzen im überschilderten Bereich und auf der Freifläche. Von den drei Versuchspartzen wurden je zwei mit 40 dt/ha kohlenurem Magnesiakalk gedüngt. Ergänzend wurde der komplette überschilderte Bereich im Zuge einer großräumigen Düngungsaktion der Bayerischen Staatsforstverwaltung 1989 zusätzlich mit 30 dt/ha Magnesiakalk gedüngt. Jede Versuchspartze wurde mit den Baumarten Weißtanne, Fichte, Lärche, Rotbuche, Bergahorn und Eberesche in Kleinflächen bepflanzt und jeweils zur Hälfte die Bodenvegetation mechanisch bekämpft. Auf jeder Versuchspartze wurde in einem Kontrollstreifen die aufkommende Naturverjüngung untersucht.

#### Wichtigste Ergebnisse und Veröffentlichungen

Aus den Versuchsergebnissen zu Beginn der 1990er Jahre konnten folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Kalkungen können die Folgen der Schadstoffeinträge nicht kompensieren.
- Die Buche sollte als natürlich vorkommende Baumart am Bestandsaufbau beteiligt werden. Die damals üblichen, naturfernen Bestockungsziele mit fast reiner Fichte sollten in Zukunft nicht mehr verfolgt werden.
- Eine Beseitigung der Bodenvegetation ist nicht notwendig, wenn gutes Pflanzmaterial verwendet wird.
- Der Verbiss ist zu reduzieren.

Nach 25-jähriger Beobachtungszeit erbrachte der Anbau der verschiedenen Baumarten folgende Ergebnisse:

- Die Lärche ist auf der Freifläche die wüchsigste Baumart, auf den flachgründigen Böden jedoch durch Windwurf gefährdet.
- Die Tanne ist auf der Versuchsfläche eine wuchstarke, der Fichte nahezu gleichwertige Baumart, die gegenüber der Fichte weniger Wipfelbrüche aufweist.
- Die Fichte hat ein hohes Wachstumspotenzial und Überlebensprozent, ist aber schadanfällig insbesondere im Hinblick auf zu erwartende Klimaänderungen.
- Die Buche ist vital und zeigt ein hohes Überlebensprozent auch unter dem erhalten gebliebenen Schirm.
- Der Bergahorn wächst auf den Schirmflächen besser als auf der Freifläche und zeigt sich im Höhenwachstum der Buche unter Schirm überlegen. Er fällt zum Teil jedoch flächig aus.
- Die Eberesche hat mit fast 40% die höchste Überlebensrate. Sie zeigt unabhängig von der Überschilderung vergleichbare Wachstumsraten.

#### Literatur

Binder, F. (1992): Aufforstung in Waldschadensgebieten – Untersuchungen zur künstlichen Verjüngung von Beständen im Frankенwald, Fichtelgebirge und in den Bayerischen Kalkalpen. Forstliche Forschungsberichte München 119, 224 S.

Hübner, C. (2010): Entwicklung künstlicher Verjüngung auf ehemaligen Waldschadensflächen im Fichtelgebirge. Diplomarbeit, Technische Universität München, 75 S.

## Fränkische Platte und Spessart

Für die Landeskultur Unterfrankens kennzeichnend sind artenreiche, in unterschiedlichen waldbaulichen Betriebsarten bewirtschaftete Eichenwälder. Die historisch weit verbreitete Mittelwaldwirtschaft gewinnt heute wieder an Bedeutung und bedarf einer genaueren waldbauwissenschaftlichen Grundlage. Die traditionelle Erzeugung von Qualitätsholz im Hochwald ist heute nicht mehr konkurrenzfähig und benötigt neue Pflegekonzepte. Umfangreiche waldbauliche Versuche in Mainfranken sollen hierzu empirisch basierte Erkenntnisse liefern.

### Eichenpflegeversuch

#### Zielsetzung

Oberste Zielsetzung in der forstlichen Bewirtschaftung von Eichenforsten ist die Wertholzproduktion. Die Art und Weise, wie dieses Ziel erreicht werden soll und kann, ist hingegen umstritten. Zwar gibt es verschiedene Untersuchungen zur Wuchsreaktion der Eiche auf unterschiedliche Durchforstungsstärken, doch sind diese Untersuchungen meist in älteren Beständen (>100 Jahre Bestandsalter) angesiedelt. Das einzige bislang wirklich belegte durchgehende Eichenproduktionsprogramm in Deutschland ist die negative Auslese, wie sie in den unterfränkischen Eichennachzuchtgebieten seit Jahrhunderten durchgeführt wird. Dieses Pflegekonzept ist bewährt, doch erfordert es sehr lange Umtriebszeiten, die über 300 Jahre betragen können. Mit solch langen Kapitalbindungszeiträumen können nur schwerlich positive Erträge erwirtschaftet werden. Darum wurde 1984 der Traubeneichen-Pflegeversuch angelegt, um zu erforschen, inwieweit das Durchmesserwachstum der Eiche durch waldbauliche Eingriffe gefördert und der Produktionszeitraum abgekürzt werden kann und wie die Qualität der Traubeneiche sich dabei entwickelt.

#### Aufbau

Der Versuch beinhaltet drei Faktoren: Der erste ist der Standort, der auf zwei Stufen getestet wurde, zum einen auf Buntsandstein bei Rohrbrunn im Spessart und zum anderen auf Muschelkalk bei Kist auf der Fränkischen Platte. Der zweite Faktor ist die waldbauliche Wuchsklasse der Bestände, die mit drei Stufen vertreten ist: Dickung, Stangenh Holz und geringes Baumholz. Auf Muschelkalk wurde 1984, als der Versuch angelegt wurde, kein geringes Baumholz gefunden, so dass dieser Teil des Experiments nur auf Buntsandstein existiert. Für die Auswahl der Bestände war maßgeblich, dass sie bis zum Beginn des Experiments noch nicht



Abbildung 13: Eichenpflege: Z-Baum (weiße Markierung) mit zu entnehmendem Bedränger (rote Markierung) Foto: A. Abt

gepflegt worden waren – also seit ihrer Saat keinen Eingriffen unterzogen wurden. Der dritte Faktor des Versuchs ist die waldbauliche Behandlung, von der es vier Ausprägungen gibt: In Kontrollflächen finden keine Eingriffe statt, hier wird die natürliche Entwicklung analysiert. In der Negativauslese werden nach traditioneller Art und Weise nur ungewünschte Schaftformen in den Durchforstungen entnommen. In den beiden anderen Varianten wurden Ausleseebäume identifiziert und diese positiv gefördert. Die beiden positiven Förderungsvarianten unterscheiden sich nach der Stärke der Entnahme in eine mit einer mäßigen und in eine mit einer starken Förderung der Eichen-Zukunftsbäume. Den Eichen ist in allen Beständen Buche zur Schaftpflege beigemischt. Der Versuch besteht aus insgesamt 40 Probeflächen: 5 Bestände (2 Dickungen, 2 Stangenhölzer, 1 geringes Baumholz) × 4 Behandlungsvarianten × 2 Standorte.

#### Wichtigste Ergebnisse und Veröffentlichungen

Das Experiment belegt die ungeheure Dynamik in Eichenbeständen, wonach sich die durch die Saat bedingten hohen Baumzahlen sehr schnell reduzieren. Es konnte gezeigt werden, dass die positive Förderung das

Durchmesserwachstum der Ausleseebäume erhöht (Abbildung 13), diese Wirkung mit zunehmendem Alter der Bestände jedoch schwächer ausfällt. Demnach sind substanzielle Zuwachsgewinne nur dort zu erwarten, wo sehr frühzeitig mit der Pflege begonnen wird. Der erhöhte Durchmesserzuwachs ist mit keiner Qualitätsverschlechterung verbunden, wie die 2012 an Ausleseebäumen vorgenommenen Aufnahmen zeigen. In jeder Pflegevariante auf jedem Standort konnten überdurchschnittlich gute Ausleseebäume gefunden werden, mit denen das Produktionsziel Furnierholz möglich erscheint. Lediglich in den Kontrollflächen auf Muschelkalk fällt die Eiche durch den Konkurrenzdruck der beigemischten Buche immer mehr aus, so dass hier mittelfristig mit einem Totalverlust der Eiche gerechnet werden muss.

### Literatur

Abt, A.; Höllerl, S.; Mosandl, R. (2012): Bestandeseentwicklung und Qualität von Z-Bäumen in Traubeneichenbeständen unterschiedlicher waldbaulicher Behandlung. Forstarchiv – Kurzbeiträge 83(5), S. 185

Ecker, J. (1992): Wirkungen unterschiedlicher Pflegemaßnahmen auf die Qualitätsentwicklung junger Eichensaatbestände. Diplomarbeit LMU München

El Kateb, H.; Felbermeier, B.; Höllerl, S.; Mosandl, R. (2006): Growth and quality of young sessile oak stands under different tending concepts. *Silvicultural Experiments* 1, 8 S.

Küster, B. (2000): Die Auswirkung unterschiedlicher waldbaulicher Behandlungen auf das Wachstum und die Qualitätsentwicklung junger Traubeneichen (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). *Forstliche Forschungsberichte München* 179, 223 S.

van Laar, A.; Mosandl, R. (1989): Durchmesserverteilungen in Eichenjungbeständen. *Allg. Forst- u. J.Ztg.* 160, S. 189–194

Mosandl, R.; Burschel, P.; Sliwa, J. (1988): Die Qualität von Ausleseebäumen in Eichenjungbeständen. *Forst und Holz* 43(2), S. 37–41

Mosandl, R.; El Kateb, H.; Ecker, J. (1991): Untersuchungen zur Behandlung junger Eichenbestände. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 110, S. 358–370

Mosandl, R.; Paulus, F. (2002): Rationelle Pflege junger Eichenbestände. *AFZ-DerWald* 11, S. 581–584

Schmidt, M. (2003): Eine betriebswirtschaftliche Analyse verschiedener waldbaulicher Behandlungskonzepte für die Baumart Eiche. Diplomarbeit TU München

Sliwa, J. (1986): Die Qualität der Ausleseebäume in Eichenjungbeständen. Diplomarbeit LMU München

### Mittelwaldversuch

#### Zielsetzung

Mittelwälder sind heute weitgehend aus unserer Landschaft verschwunden. Im Mittelalter dominierten sie auf großer Fläche, wurden jedoch aufgrund unbefriedigender Wert- und (Bauholz-)Massenleistung später in Hochwald umgewandelt. In Unter- und Mittelfranken haben sich aber einige Mittelwälder erhalten, die mit Rechten belastet waren und dadurch nicht umgewandelt werden durften. In den letzten Jahren ist das Interesse am Mittelwald aus forstlicher und naturschutzfachlicher Sicht wieder gestiegen. Einerseits kann im Mittelwald viel Brennholz produziert werden – in Zeiten von Energieknappheit ein wichtiges forstliches Produkt – andererseits stellt der Mittelwald vielen bedrohten Arten Refugien zur Verfügung, die sich in Hochwäldern nicht finden.

Das waldbauliche Wissen über Mittelwälder ist sehr beschränkt und stützt sich größtenteils auf qualitative Aussagen des 19. Jahrhunderts. Zur Untermauerung dieses empirischen Wissens mit quantitativen Daten wurden im Jahr 2007 dauerhafte Versuchsflächen eingerichtet (Abbildung 14). Darüber hinaus wurden junge Eichen, so genannte Lassreitell, in einigen Parzellen des Versuchs geastet, um zu erkunden, ob sich dadurch die Wertleistung im Mittelwald erhöhen lässt.

#### Aufbau

Der Versuch wurde auf zwei Standorten angelegt: bei Iphofen in Hanglage und bei Weigenheim in der Ebene. Auf jedem Standort wurden drei Behandlungsvarianten mit jeweils einer Wiederholung realisiert: In Variante 1 erfolgen keine Unterholztriebe mehr und die passive Überführung in Hochwald wird beobachtet. In Variante 2 wurden ortstypische Hiebe durch die ortsansässigen Rechtlergemeinschaften durchgeführt, um zu eruieren, wie das tradierte Handeln Mittelwaldstrukturen beeinflusst. In Variante 3 wurde ein Mittelwaldhieb in Anlehnung an Vorgaben des 19. Jahrhunderts durchgeführt und alle Eichenlassreitell geastet. Der Versuch besteht aus zwölf Parzellen (2 Standorte × 3 Behandlungsvarianten × 2 Wiederholungen). Jede Versuchsparzelle ist 0,25 ha groß.

#### Wichtigste Ergebnisse und Veröffentlichungen

Es zeigte sich, dass die lokal üblichen Mittelwaldhiebe in Franken differenziert ausfallen, was in sehr unterschiedlichen Struktur- und Vorratswerten der Bestände mündete. Einige Bestände sind so vorratsreich, dass sie eher Hochwäldern ähneln als Mittelwäldern. Die Verjüngungsfreudigkeit der Bestände überraschte, da fünf Jahre nach dem Stockhieb teilweise über 220.000





Abbildung 14:  
Junger Mittelwald mit  
Lassreiteln (links) und  
Kernwüchsen (rechts)

Foto: A. Abt

Jungpflanzen pro Hektar festgestellt wurden, der allergrößte Teil davon war generativer Natur. Im Untersuchungsgebiet konnte nachgewiesen werden, dass mit steigendem Eichenstockdurchmesser die Anzahl von Stockausschlägen zunahm und dass in vorratsreichen Beständen die Verjüngung niedriger war als in vorratsarmen Beständen. Die Astung der Eichenlassreiteln auf 6m Stammhöhe erbrachte keinen Erfolg, denn alle Eichen bildeten Wasserreiser, und die astfreie Schaftlänge fiel teilweise auf unter 2m. Die Lassreiteln wurden 2013 erneut geastet, um die Reaktion der Bäume auf eine wiederholte Astung untersuchen zu können.

#### Literatur

Bewer, A. (2013): Wachstum, Qualitätsentwicklung und Verjüngung von Mittelwäldern in Franken. Masterarbeit, Technische Universität München

Mosandl, R.; Summa, J.; Stimm, B. (2010): Coppice-With-Standards: Management options for an ancient forest system. *Forestry Ideas* 39 (16/1), S.65–74

Summa, J. (2007): Waldbauliche Versuche in Mittelwäldern Frankens. Diplomarbeit, Technische Universität München

Summa, J.; Mosandl, R. (2009): Waldbauliche Untersuchungen zur Qualität von Mittelwald-Lassreiteln. *AFZ-DerWald* 6, S. 296–299

**Keywords:** Silviculture, trial, forest tending, thinning, forest regeneration

---

**Summary:** Silviculture experiments are effective instruments to gain scientific knowledge about the complex mechanism of forest ecosystems in order to develop reliable and valid silvicultural techniques for forest management. Based on management objectives, research questions, and public demands, scientists at the Institute of Silviculture, Technische Universität München have been studying the response of forest ecosystems to the silvicultural treatments for many decades. Knowledge obtained from scientifically based research is used to derive silvicultural guidelines. The described experiments cover all commercial trees species within their main distribution in Bavaria.

---

---

# »Woher wissen Sie das?« – Versuchsflächen an der Fakultät Wald und Forstwirtschaft der HSWT

Manfred Schölch und Bernhard Thalhammer

**Schlüsselwörter:** akademische Lehre, anwendungsbezogene Lehre, Ausbildung, authentisches Lernen, Versuchsflächen, Waldbau, Waldwachstumslehre, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf

---

**Zusammenfassung:** Die anwendungsbezogene Lehre auf wissenschaftlicher Grundlage an der Fakultät Wald und Forstwirtschaft der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT) baut auf dem als gesichert geltenden Wissen aus zahlreichen Quellen auf. Erkenntnisse aus Versuchsflächen wissenschaftlicher Forschungseinrichtungen (Versuchsanstalten, Universitäten) bilden zentrale Grundlagen. Eigene Versuchs- bzw. Demonstrationsflächen im Bereich Waldwachstumskunde und Waldbau mit rund 40 Hektar Flächenumfang ermöglichen es, gezielt Fragestellungen zu untersuchen, die der Praxisbezug mit sich bringt. Die gute Zusammenarbeit mit der forstlichen Praxis, Forschungseinrichtungen und weiteren Partnern stellt die anwendungsbezogene Lehre auf eine solide Basis. Durch gesellschaftliche Veränderungen auftretende neue Fragestellungen erfordern ein fortwährendes Engagement in Grundlagenforschung und Anwendung. Versuchsflächen erlauben es, hochwertigste Daten zu gewinnen.

---

»Die Fachhochschulen vermitteln durch anwendungsbezogene Lehre eine Bildung, die zur selbstständigen Anwendung wissenschaftlicher Methoden und künstlerischer Tätigkeiten in der Berufspraxis befähigt«. So gibt es das Bayerische Hochschulgesetz von 2006 vor. Versuchs- bzw. Demonstrationsflächen bilden daher eine wichtige Säule in der akademischen Lehre: An authentischen Objekten können sich Studierende selbst einen Eindruck davon erarbeiten, wie sich bestimmte Verfahrenstechniken in der Natur darstellen. Traditionell konzentrieren sich Versuchsflächen auf waldwachstumskundliche und waldbauliche Fragestellungen.

Wälder entwickeln sich langsam: In einem ausgereiften Eichenbestand etwa wird das Auge des Betrachters in einer Zeitspanne von zehn Jahren keine Veränderung bemerken. Erst periodisch aufgenommene Daten über einen längeren Zeitraum dokumentieren die stetige

Entwicklung des Waldes. Rasch hingegen können sich vielfältige Meinungen über die »besten« Wälder entwickeln. Der Waldbau als einschlägige Disziplin der Forstwirtschaft soll »optimal« agieren, um diese Ziele zu erreichen. Wenn wir Waldbau in diesem Zusammenhang eng als Verfahrenstechnik definieren, fällt es leicht zu verstehen, wie notwendig es ist, auf solider Grundlage zu operieren. Dass die Forstgeschichte mit typischen Beispielen aufwarten kann, wie bei Nichtbeachtung dieser Forderung Fehlschläge um sich greifen können, sei hier nur am Rande erwähnt.

Waldbestände als wissenschaftliche Versuchsflächen stellen die wertvollsten Objekte in Waldbau, Waldwachstumslehre und anderen Disziplinen dar. Ihre Anlage muss wohl durchdacht, ihre Errichtung idealerweise mit mehrfachen Wiederholungen gekoppelt und die Datengewinnung intensiv betreut werden. Genaueste Dokumentationen und der Schutz vor Störungen erfordern hohes personelles Engagement in Wissenschaft und Praxis. Über längere Zeiträume hinweg können diese Objekte dann exakte, in ihrer Qualität nicht zu überbietende Datengrundlagen liefern. So entstehen die Bausteine des gesicherten Wissens. Demonstrationsflächen hingegen genügen geringeren Anforderungen an Flächenumfang, Wiederholungen und so weiter. Die anwendungsbezogene Lehre nutzt Publikationen aus wissenschaftlichen Versuchsflächen, wie sie regelmäßig an forstlichen Versuchsanstalten und Universitäten geschaffen werden. Die Fakultät Wald und Forstwirtschaft der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf unterhält eigene Versuchs- beziehungsweise Demonstrationsflächen mit dem Ziel, die Lehre durch anwendungsbezogene Forschung zu fundieren. Vor allem aus der Praxis erwachsene Fragestellungen suchen Antworten. Beispielsweise verlangt der vielfach geforderte und allenthalben begonnene Waldumbau von baumarten- und strukturreichen Altersklassenwäldern in baumarten- und strukturreiche Dauerwälder flankierende Informationen. Verbunden mit Ad-hoc-Aufnahmen in typischen Beständen andernorts können praktikable Verfahren auf tragfähiger Grundlage skizziert werden.



An der Fakultät wird der Bezug zur Praxis unterschiedlich hergestellt. Abbildung 1 skizziert die Stellung unserer Versuchs- beziehungsweise Demonstrationsflächen in diesem Zusammenhang.

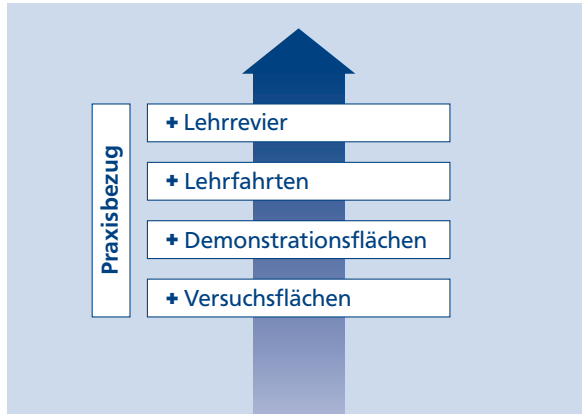


Abbildung 1: Praxisbezug und Versuchsflächen in der Ausbildung

### Versuchs- bzw. Demonstrationsflächen

Derzeit unterhält die Fakultät Wald und Forstwirtschaft rund 40 Hektar Versuchs- beziehungsweise Demonstrationsflächen. Sie dienen vorrangig der Waldwachstumskunde und dem Waldbau. Waldbauliche Schwerpunkte werden in unterschiedlichen Umfängen berücksichtigt (Abbildung 2). Flächen zur Durchforstung nehmen mit rund 44% den größten Umfang ein, wengleich auch hier Weichen für den Waldumbau gestellt werden. Bei der Durchforstung verfolgen wir speziell mit der Gruppenpflege eine interessante Spur in ertragskundlicher und waldbaulicher Hinsicht, die unseres Wissens in Deutschland einzigartig ist. Die

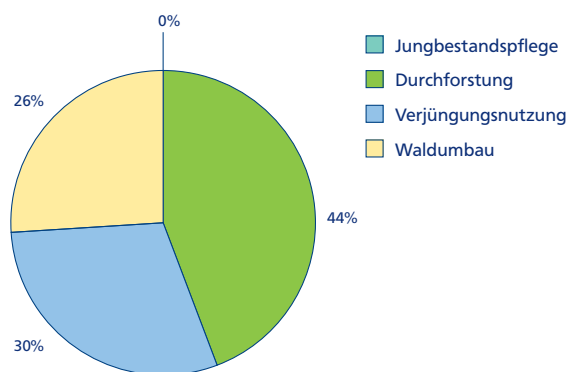


Abbildung 2: Anteile waldwachstumskundlich-waldbaulicher Versuchs- und Demonstrationsflächen

einst an der Fakultät wirkenden Professoren Dr. Fredo Rittershofer und Dr. Erwin Klein haben sich mit der Gruppenpflege auseinandergesetzt und Versuchsflächen begründet. Ergebnisse seiner Arbeit stellt Klein vor (Klein 2010, 2014). Die Versuchs- und Demonstrationsflächen insgesamt betrachtet decken wichtige Grundlagen ab, reichen jedoch bei Weitem nicht aus, die vielfältigen waldbaulich-waldwachstumskundlichen Fragen zu beantworten. So bleiben stets Lücken zwischen Fragen und fundierten Antworten offen.

### Woher stammen Daten?

Die zerstörungsfreien periodischen Messungen von Durchmesser (Brusthöhdurchmesser, BHD) und Höhen am lebenden Baum stellen die häufigsten Daten bereit. Insbesondere der BHD reagiert ausgesprochen sensitiv auf waldbauliche Maßnahmen, weshalb sich an diesem Merkmal frühzeitig die Entwicklung von Einzelbäumen und Baumkollektiven abzeichnet. Für das praktische Auszeichnen stellt die Vitalität eines Baums ein wichtiges Merkmal dar. In gleichaltrigen Beständen (Altersklassenwald) beispielsweise ist es sinnvoll, vorrangig auf die Vitalen zu setzen, denn sie bestimmen über längere Zeit hinweg die Zuwachsleistung eines Bestands. So illustriert Abbildung 3, wie sich Einzelbäume ohne jegliche Bestandspflege auf einer sogenannten »Nullfläche«, die regelmäßig zum Versuchsdesign gehört, entwickelt haben. Der Durchmesserzuwachs in der Zeit von 1984 (Erstaufnahme) bis zur letzten Aufnahme (2012) zeigt, dass die seinerzeit Vitalen bis heute den höchsten Zuwachs geleistet haben.

Grundfläche, Vorratshöhe und -struktur sind weitere Merkmale für die Bestandspflege. Insbesondere beim Waldumbau in Dauerwald spielen sie eine große Rolle.

Eine weitere Methode, Daten über die Baumentwicklung zu erhalten, stellt die Stammanalyse dar: In definierten Abständen werden Stammscheiben geschnitten, wodurch die gefällten Bäume zerteilt werden. Aktuelle wie auch zurückliegende Wachstumsvorgänge lassen sich auf diese Weise detailliert erkunden. Bohrkern stellen eine weitere, wengleich nicht ebenso hochwertige Alternative dar. Detaillierte Auswertungen können im Jahrringlabor der Fakultät erfolgen.

## Versuchsflächen sind aufwendig

Die Fakultät kann Versuchsflächen nur in begrenztem Umfang unterhalten, da personelle und finanzielle Bedingungen einen engen Rahmen setzen. Ein Mitarbeiter betreut neben anderen Dienstaufgaben anteilig die Flächen. Standardmäßige Messungen können größtenteils durch studentische Hilfskräfte geleistet werden. Jene erlangen dabei ganz nebenbei Erfahrungen in der ertragskundlichen Grundlagenarbeit. Datenauswertungen sind Gegenstand von Studien- oder Abschlussarbeiten oder erfolgen für spezielle (Lehr-)Zwecke.

Über die Jahre hinweg hat sich herausgestellt, dass die Dokumentation der Versuchsflächen im Gelände unverzichtbar ist. Karten und Kenntnisse der Revierleiter(-innen) genügen bisweilen nicht mehr. Aufgrund der personellen Situation in vielen Betrieben ist es notwendig, die Versuchsflächen mit einem farblich markierten, gut zu erkennenden Umfassungstreifen zu versehen, damit unbeabsichtigte Eingriffe unterbleiben. Der nennenswerte Aufwand für die Fakultät und die notwendige Rücksichtnahme durch die Forstbetriebe hat dazu geführt, 15 kleinere Versuchs- bzw. Demonstrationsflächen aufzugeben.

Vorbildliche Waldbewirtschaftung und anwendungsbezogene Lehre inniger zu verbinden, ist Kern einer Vereinbarung zwischen der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf und den Bayerischen Staatsforsten (BaySF). Die BaySF stellen im Forstbetrieb Freising hierfür ein

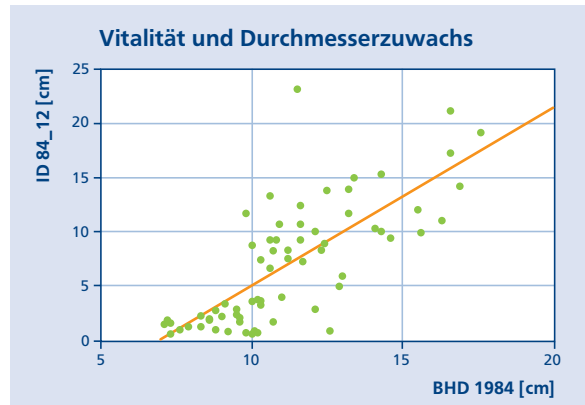


Abbildung 3: Durchmesserzuwachs unterschiedlich vitaler Rotbuchen (54-jähriger Bestand, Freising, 2012)

Forstrevier unter ihrer Leitung zur Verfügung. Neben angewandter Forschung, z. B. im Bereich Vegetationskunde oder Tierökologie, gewähren intensive Übungen und Praktika in Zusammenarbeit mit dem Betrieb Studierenden und Lehrpersonen Einblicke in die aktuelle Waldbewirtschaftung. Übliche Versuchsflächen mit in der Regel spezifischer Fragestellung können diesen Erkenntnisgewinn bei uns nicht hinreichend leisten.

Fundiert auszubilden stellt einen hohen und fortwährend zu erfüllenden Anspruch dar. Erkenntnisse aus der wissenschaftlichen Grundlagenforschung zu vermitteln und mit praktischen Belangen zu verbinden, hat sich über Jahrzehnte hinweg als erfolgreich erwiesen. Versuchs- und Demonstrationsflächen leisten hierfür einen notwendigen, elementaren Beitrag.



Abbildung 4: Versuchsfläche zur Bestandspflege Foto: M. Schölch

Diesen zu gewährleisten erfordert dauerhafte Anstrengungen in personeller und finanzieller Hinsicht. Am forstlichen Horizont erkennbar zeichnen sich verändernde gesellschaftliche Erwartungen ab, die beispielsweise spezielle Fragestellungen nach naturnäheren Praktiken im Wald aufwerfen. Lehr- und Forschungsschwerpunkte müssen sich diesen Fragestellungen zuwenden, wenn die forstliche Ausbildung weiterhin als gut fundiert gelten soll. Versuchsflächen in diesem Sinne zu erweitern, ist ausgesprochen spannend. Dank der vielfach erfahrenen Unterstützung durch Kollegen der Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft sowie der Studienfakultät Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement der Technischen Universität München am Zentrum Wald-Forst-Holz Weihenstephan und zahlreiche Forstbetriebe blicken wir interessiert und zuversichtlich auf den weiteren Weg der nachhaltigen Forstwirtschaft.

## Literatur

Klein, E. (2010): Vom Fichtenforst zum Dauerwald: Die Gruppenpflege bei der Baumart Fichte. Shaker, 118 S.

Klein, E. (2014): Wege zum Laubholz-Dauerwald. Die Gruppenpflege im Laubholz. Aachen. Shaker, 144 S.

**Keywords:** Academic teaching, applied teaching, education, authentically learning, experimental plots, silviculture, growth and yield, University of Applied Sciences Weihenstephan-Triesdorf

---

**Summary:** Scientifically applied teaching at the Faculty of Forestry of the University of Applied Sciences Weihenstephan (HSWT) count on reliable knowledge of different sources. Findings generated from experimental plots of scientific institutions (research stations, universities) form central fundamentals. Own experimental and demonstration plots in the fields of growth, yield and silviculture with approximately 40 hectares in size enable to investigate specific questions combined with relations to forest practice. Good cooperation with practical forestry, research institutions and further partners put applied teaching on a solid base. Due to social changes questions are arising which call for a constant involvement in basic research and application as well. Experimental plots enable to gain data of the highest quality which is possible.

---

---

# Bayerische Waldklimastationen: Umweltbedingte Veränderungen im Wald erkennen und bewerten

Hans-Peter Dietrich, Stephan Raspe, Lothar Zimmermann, Ernst Bickel, Uwe Blum, Anna Kanold, Alfred Schubert, Alexandra Wauer und Christian Kölling

**Schlüsselwörter:** Bayerische Waldklimastationen, Level II, Forstliches Umweltmonitoring

**Zusammenfassung:** Standort- und Umweltfaktoren entscheiden über Wachstum, Vitalität und Baumartenkonkurrenz in Wäldern. In Zeiten rascher Umweltveränderungen ist es eine wichtige Aufgabe für eine Ressortforschungseinrichtung wie die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, die Entwicklungen und Folgen für die nachhaltige Waldbewirtschaftung zu kennen und zu verstehen. Sichere Planungen benötigen Referenzen, an denen sich tatsächliche Veränderungen und ihre Tendenz unter den jeweils herrschenden Umweltbedingungen messen und bestätigen lassen. Zu Beginn der 1990er Jahre wurden, angeregt von den Erkenntnissen der Waldschadensforschung, sogenannte Intensiv-Monitoringflächen gezielt in bayerischen Waldregionen eingerichtet. Seither ergänzen diese Bayerischen Waldklimastationen (WKS) die bereits 1983 eingeführte landesweite, jährliche Waldschadenserhebung. Sie liefern aktuell, kontinuierlich und langfristig wichtige zusätzliche Informationen zu Umwelteinflüssen und deren Auswirkungen auf den Wald.

Die Waldklimastationen wurden in Bayern auf der Grundlage eines Landtagsauftrags eingerichtet (Preuhsler und Gietl 1994). Messprogramm und -design waren national wie international richtungweisend und das Konzept vorausschauend, zumal die Gewissheit des bereits eingetretenen Klimawandels damals noch fehlte. Gestützt auf internationale Abkommen zur Luftreinhaltung (Genfer Luftreinhaltkonvention, UN/ECE-ICP Forests) und verbindliche Regelungen der Europäischen Union zum Schutz der Wälder gegen Luftverschmutzung bis 2006 (BMEL 1995; Splett und Intemann 1994) wurde europaweit ein Netz von Dauerbeobachtungsflächen in Waldökosystemen (Level-II-Messflächen) aufgebaut. Es reicht vom Nordkap bis zu den Kanarischen Inseln und gründet sich auf vergleichbare und harmonisierte Standards (Fischer et al. 2010; Dietrich et al. 2006). Das internationale Forstliche Umweltmonitoring, an dem sich aktuell 41 Staaten beteiligen, ist als Lieferant vergleichbarer Informationen über Landesgrenzen hinweg einzigartig. Nach

Jahren ohne rechtsverbindliche nationale Grundlage trat im Januar 2014 erstmals eine deutsche Verordnung über Erhebungen zum forstlichen Umweltmonitoring in Kraft (ForUmV, BGBl. I S. 4384), die das forstliche Monitoring als gemeinsame Aufgabe von Bund und Ländern regelt (BMEL 2013). Die mehr als zwanzigjährige kontinuierliche forstliche Umweltvorsorge soll künftig stärker auf die Fragen des Klimawandels fokussiert und langfristig fortgeführt werden.

Produktionsfaktoren wie Standort und Umwelt lassen sich im Wald nur schwer beeinflussen. Deshalb ist es umso wichtiger, die Wirkung einer zunehmenden Klimaerwärmung oder andauernder Immissionsbelastung auf vermeintlich »eiserne« Regeln und Gesetzmäßigkeiten der Waldwirtschaft zeitnah zu analysieren und aufzuklären. Es gilt, die Folgen für eine nachhaltige Entwicklung rechtzeitig und sicher abzuschätzen.

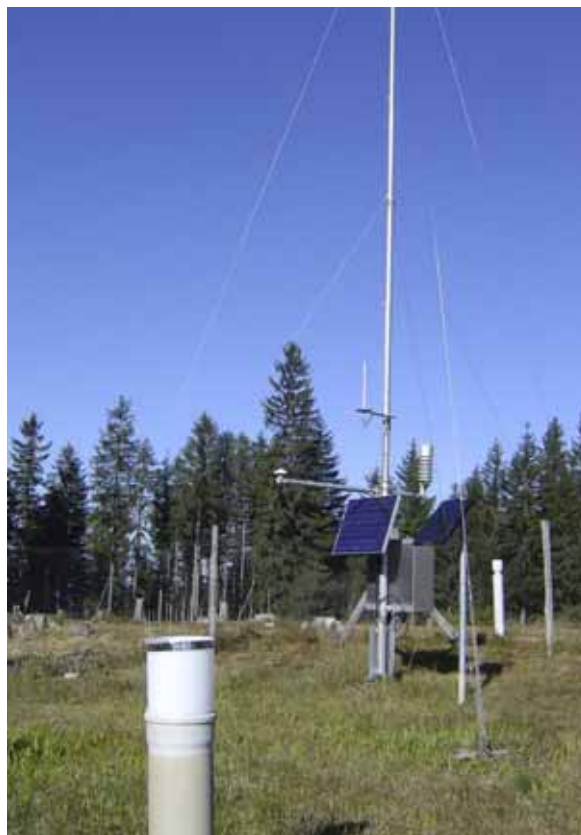
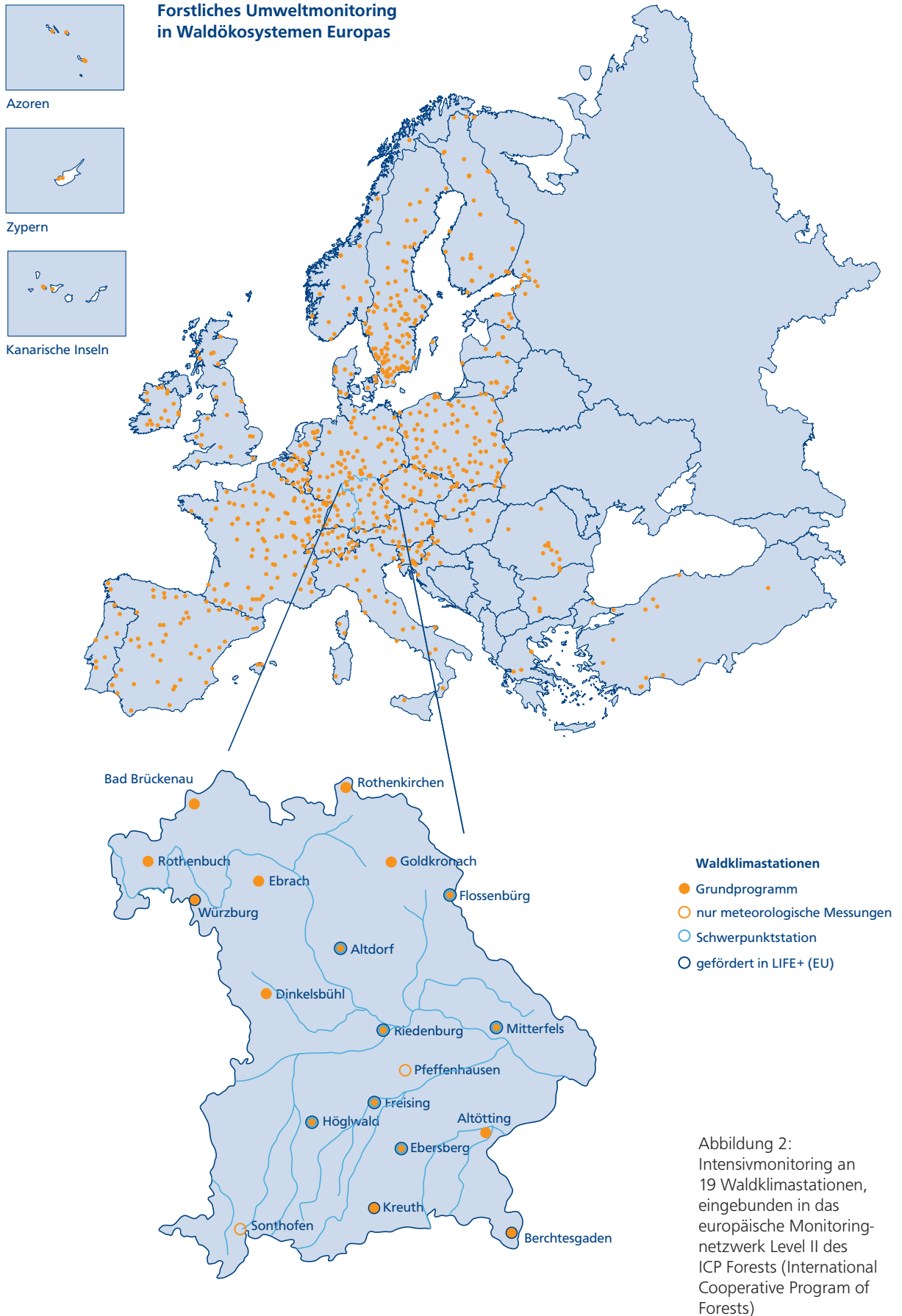


Abbildung 1: Waldklimastation Kreuth (Freiflächenmessstelle), ca. 1 km nördlich des Kogelkopfs bei Bad Wiessee. Foto: LWF





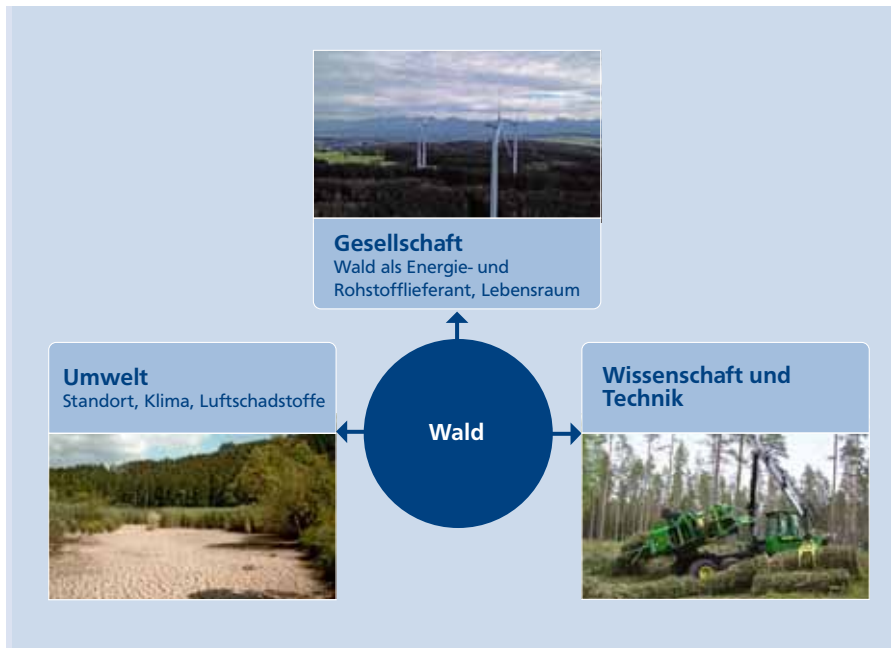


Abbildung 3:  
Umweltfaktoren stellen neben wandelbaren gesellschaftlichen Anforderungen und stets fortschreitenden Instrumenten der Wissenschaft und Technik eine wesentliche »Koordinate« der Rahmenbedingungen für das Waldökosystem dar. Sie beeinflussen zahlreiche Regelmechanismen. Die Veränderung der »Umwelt-Koordinate« und ihre Konsequenzen für den Wald sind Gegenstand des intensiven forstlichen Umweltmonitoring an Waldklimastationen. Fotos (v.l.n.r.): N. Luksch, Gemeinde Wildpoldsried, A. Eberhardinger

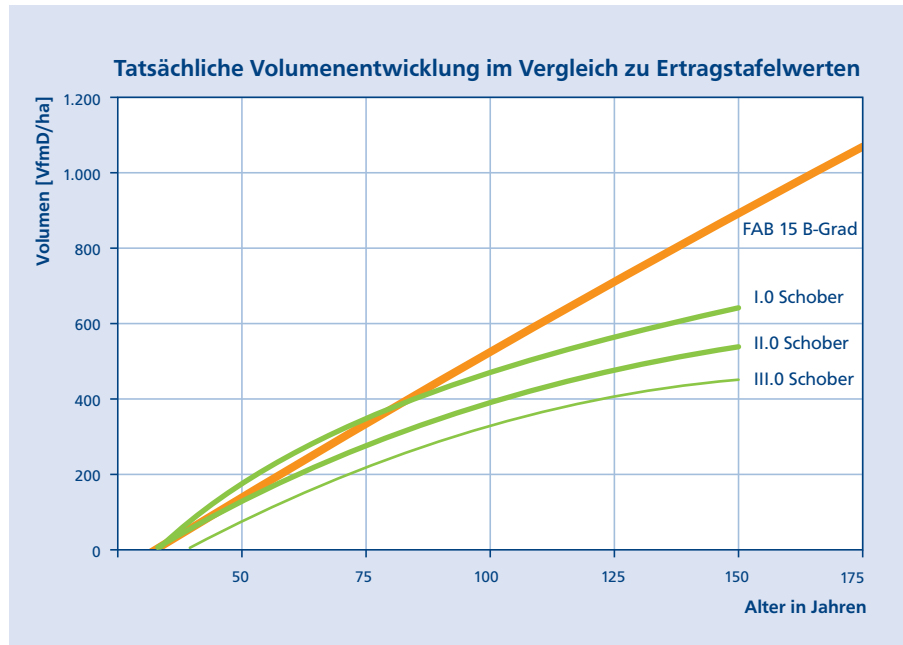
### Klimawandel und Schadbelastung beeinflussen bekannte Wirkungsgefüge im Wald, damit verlieren forstliche Planungsgrundlagen teilweise ihre Gültigkeit

Die Erfahrungen des Waldsterbens und die zunehmende Gewissheit schwer kalkulier- oder begrenzbarer Auswirkungen menschlichen Handelns auf die Umwelt ließ die Erkenntnis wachsen, die aus forstlicher Forschung und Praxis abgeleiteten Regeln und Gesetzmäßigkeiten stärker in den Kontext ihrer Randbedingungen zu stellen. Man begann zu verstehen, dass Umweltveränderungen die Standortbedingungen für die Waldentwicklung in deutlich kürzeren Zeiträumen als jemals erwartet nachhaltig beeinflussen können und sich damit die »Koordinaten« für die künftige Waldentwicklung (Abbildung 3) wesentlich verschieben würden. Eine Konsequenz dieser wachsenden Erkenntnis war die Geburtsstunde des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings zum Ende der achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts. Konzepte wurden entwickelt, um gezielt die Wechselwirkung von Umwelteinflüssen auf Wälder in unterschiedlichen Waldregionen langfristig und kontinuierlich zu messen und zu registrieren (Preuhsler et al. 1992, 1994; StMELF 1992). Die mögliche Koordinatenverschiebung aufgrund sich rasch ändernder Umweltbedingungen und ihr Einfluss auf forstwirtschaftlich bedeutsame Kenngrößen wie Produktionskraft der Böden, Wuchsleistung und Vitalität der Waldbäume oder Artenvielfalt sollten kontinuierlich und über größere Zeiträume hinweg verfolgt

werden. Damals standen Luftschadstoffeinträge und noch nicht der Klimawandel im Fokus. Bis heute ist es in der Forschung noch immer nicht Standard, die maßgeblichen Umweltbedingungen an den jeweiligen Studienobjekten zu kennen oder deren Veränderung zu beachten. Besonders in kurzfristigen Forschungsprojekten und gleichermaßen in der Freiland- und Laborforschung fehlt häufig das Wissen um die Vorgeschichte oder den »dynamischen« Aspekt in der Bewertung. Die Grenzen auf diese Weise gewonnener Erkenntnisse und Erfahrungen oder abgeleiteter Gesetzmäßigkeiten sind folglich schnell erreicht. Rasche und grundlegende Umweltveränderungen unserer Tage lassen es hingegen ratsam erscheinen, die Prozesse und Wechselwirkungen besser zu verstehen, zunächst die Verschiebung der Koordinate zu beachten und dann die Grenzen der Gültigkeit abgeleiteter Gesetzmäßigkeiten zu bestimmen. Gute Prognosen künftiger Entwicklungen setzen solches Prozessverständnis zwingend voraus. Auf unserem Weg vom Gestern zum Morgen sind die Konturen zwischen altbewährtem Erfahrungswissen und neuester Forschungserkenntnis fließend.

Ein prominentes Beispiel für die limitierte Gültigkeit von Regeln bei sich ändernden Umweltbedingungen stellen die forstlichen Ertragstafeln dar. Die mit großem personellem und finanziellem Erhebungsaufwand bis in die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts erstellten Kalkulationstafeln für das Wachstum von Bäumen bei unterschiedlicher Leistungskraft (StMELF 1990) stellten über Generationen hinweg quasi »eherne« Regeln für

Abbildung 4:  
Tatsächliche Volumenentwicklung eines Buchenbestands (Durchforstungsversuch Fabriktschleischach 15 der TUM) im Vergleich zu Erwartungswerten laut der Ertragstafel nach Schober (nach Pretzsch 2004, vgl. auch Pretzsch in diesem Heft)



Ertragsersparung und Wirtschaftsplanung in der Forstwirtschaft dar. Heute wissen wir dank des Ertragskundlichen Versuchswesens (siehe Artikel Pretzsch et al., S. 7 ff. in diesem Heft) und periodischer Inventuren, dass Bäume und Bestände stärker als noch vor Jahrzehnten wachsen (Abbildung 4) und auf Standorten mittlerer oder schwächerer Qualität bereits in jüngeren Lebensjahren den Gipfel ihres Zuwachses erreichen (Pretzsch 2004). Die bisherigen Kalkulations- und Planungsgrundlagen haben ihre Gültigkeit verloren. Auf die Ursache dieser Veränderungen, die unterschiedlichen Umweltbedingungen (Klimaänderung, Stickstoffeinträge und erhöhtes CO<sub>2</sub>-Angebot der Atmosphäre), können wir nur rückschließen. Begleitende Referenzmessungen am Ort der Wirkungen gibt es dazu vor 1980 nur vereinzelt.

In allen Bereichen der Umweltforschung haben sich mittlerweile langfristige Beobachtungs- und Forschungsstrategien unter Beachtung der veränderlichen Umweltfaktoren und ihrer ökosystemischen Wirkungen etabliert (Dietrich und Raspe 2011). Universitäre Forschungsinstitute können solche Ansätze jedoch nur schwer langfristig und kontinuierlich verfolgen. Angesiedelt ist diese Aufgabe deshalb bei Ressortforschungseinrichtungen der Länder, Forschungsverbänden oder Forschungsgesellschaften (z. B. Terrestrische Umweltobservatorien »Tereno« der Helmholtz-Gemeinschaft; Bogena et al. 2006). Die Waldklimastationen mit ihren bereits zwanzigjährigen Datenmessreihen werden zwischenzeitlich intensiv als Referenzflächen für

die Entwicklung und Überprüfung von Zukunftsmodellen genutzt. Sie sind in vielfältiger Weise Kristallisationspunkte fachwissenschaftlicher Forschungen und Projektaktivitäten. Ihre immer wertvolleren Datenbestände wurden von Forstpraktikern und Forschern aus dem In- und Ausland allein im Jahr 2013 über fünfzigmal an der LWF angefragt. Dabei wurden mehr als 1,8 Mio. Datensätze abgegeben und für Beratungs- und Forschungszwecke genutzt. Hinzu kommen die Anfragen über Datenbanken des Bundes, der EU oder des ICP-Forests, für die jährlich die aktuellen Messergebnisse der Bayerischen Waldklimastationen zur Verfügung gestellt werden.

### Messungen an Waldklimastationen bestätigen die Veränderung der Standortfaktoren

Aus den Fachveröffentlichungen der Wetterdienste ist die Tendenz einer für Klimadimensionen raschen Erwärmung in den letzten Jahrzehnten bekannt. Die Messungen an den Waldklimastationen bestätigen diesen Trend, der nach 1990 verstärkt auch in den Wäldern einsetzte.

An der Waldklimastation Riedenburg, nordwestlich von Kelheim zwischen Altmühl und Donau gelegen, zeigt sich z. B. ein Anstieg der Temperaturen des Sommerhalbjahrs (Mai–Oktober) von über 1,1° im Verlauf der vergangenen 130 Jahre (Abbildung 5). Mit der

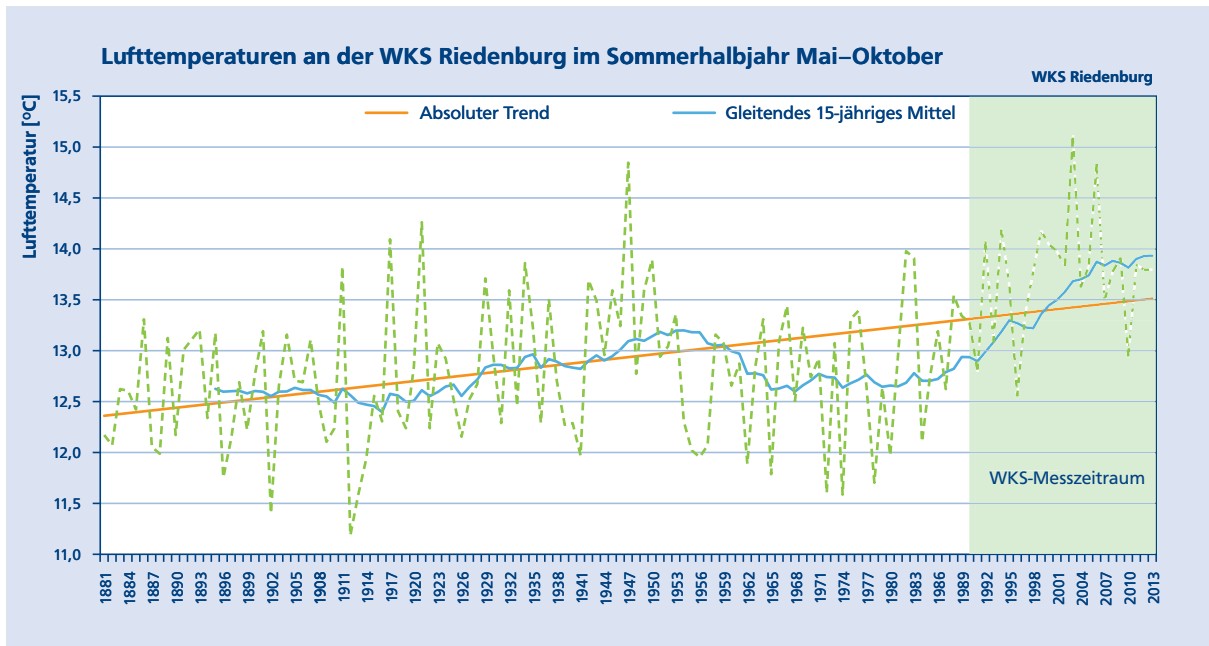


Abbildung 5: An der WKS Riedenburg nehmen seit Jahrzehnten in den Sommerhalbjahren die Lufttemperaturen zu. Besonders seit 1990 häufen sich die Jahre mit höheren Sommertemperaturen (standortspezifische Messwerte vor Inbetriebnahme der WKS aus regionalisierten DWD-Monatswerten abgeleitet).

Erwärmung einher gehen Extreme der Witterung, wie beispielsweise im Jahrhundertssommer 2003, damals verbunden mit starker Austrocknung der Waldböden und Wassermangel in Bayerns Wäldern (Zimmermann und Raspe 2011a). In diesen Extremjahren wurden gegenüber dem Vorjahr Zuwachseinbußen von bis zu 80 Prozent an allen Fichtenbeständen der Waldklimastationen festgestellt und landesweit deutliche Kronenverlichtungen der Fichten beobachtet (StMELF 2008). Phänologisch lassen sich zwischenzeitlich Verlängerungen der Vegetationszeit und verfrühte Blattaustriebe an den WKS-Standorten erkennen, was grundsätzlich günstigere Wuchsbedingungen signalisiert, gleichzeitig aber auch mit höherer Spätfrostgefährdung, wie z.B. im Jahr 2011 (Zimmermann und Raspe 2011b), einhergehen kann. Forstwirtschaft und Forschung fokussieren zunehmend auf die Frage nach der Fähigkeit der Waldbäume und einzelner Baumarten, derartige extreme und wiederkehrende Witterungsereignisse zu ertragen und sich von Trockenstress und Wassermangel zu erholen. Die Zuwachs- und Vitalitätsentwicklung vor und nach Extremjahren ist aktuell Gegenstand vergleichender Analysen in der Forstwissenschaft (siehe Artikel Uhl et al., S. 72 ff. in diesem Heft). Die Waldklimastationen mit ihren langjährigen Messreihen liefern dazu eine immer wertvoller werdende umfassende Informationsgrundlage.

Konnte die LWF bereits in den vergangenen zwei Jahrzehnten über die Erfolge der Luftreinhaltung bei der Verringerung der sauren Schwefeleinträge berichten (LWF 2001; StMELF 2008), so fallen die aktuellen Messdaten über Stickstoffeinträge aus Verbrennungsanlagen und landwirtschaftlichen Quellen (Abbildung 6) weitaus ernüchternder aus. Die Stickstoffeinträge an den Waldmessstellen bleiben seit Jahren weitgehend konstant überhöht (Raspe et al. 2012). Seit Mitte der 1970er Jahre wissen wir, dass die Stickstoffeinträge aus der Luft das Baumwachstum fördern und zu einer Verbesserung der Standortbedingungen in den von Natur stickstofflimitierten Wäldern führen. Ungeachtet inter-

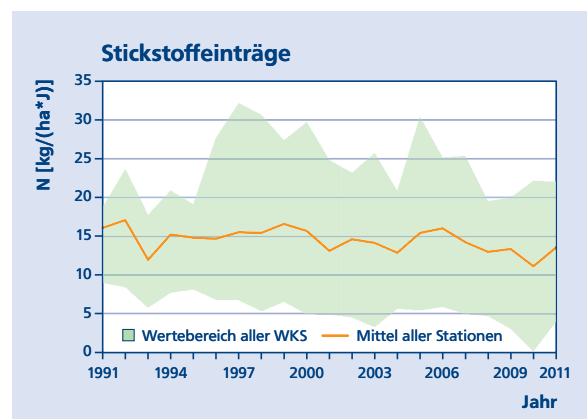


Abbildung 6: Mittlerer Verlauf der Stickstoffeinträge an allen Waldklimastationen von 1991 bis 2011



**Erforderliche Stickstoff-Reduktion in Prozent**

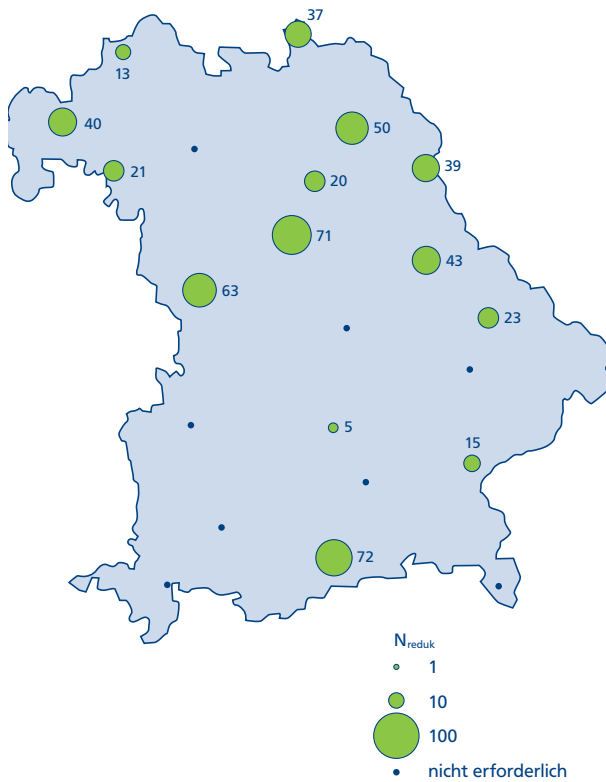


Abbildung 7: Erforderliche Reduktion der Stickstoffeinträge an den Bayerischen Waldklimastationen im Messjahr 2008, um langfristig nachteilige Veränderungen der Waldökosysteme zu vermeiden

nationaler und nationaler Emissionsminderungsziele dauert diese Entwicklung aber unvermindert an, vielerorts sind die Waldökosysteme bereits mit Stickstoff überdüngt. An zwei von drei Waldklimastationen werden aktuell Stickstoffeinträge gemessen, die kritische Belastungsgrenzen dieser Wälder (Abbildung 7) langfristig überschreiten (Raspe et al. 2011). Erfreulicherweise werden die Waldbäume zwar rascher dick, doch »dick« bedeutet nicht gleich »gesund«. Stickstoffsättigung durch Überdüngung führt auf ärmeren Standorten langfristig zu Nährstoffstörungen und -verlusten, mit negativen Folgen für die Stabilität und Biodiversität, einer Zunahme von Gesundheitsrisiken und einer Nitratbelastung des Sickerwassers aus dem Wald. Wälder in Mittel- und Osteuropa sind von dem zwischenzeitlich standortprägenden Effekt der Stickstoffbelastungen besonders betroffen (Abbildung 8). Die Ergebnisse unserer landesweiten Inventur der Waldböden in den Jahren 2006 bis 2008 lieferten die Gewissheit: Zwischenzeitlich müssen mehr als die Hälfte der Wälder als stickstoffgesättigt angesehen werden (Falk und Stetter 2010). Sie können den zusätzlichen Stickstoff nicht mehr verwerten, die Filterfunktion des Waldes ist erschöpft und Nitrat wird mit dem Sickerwasser aus dem Wurzelraum ausgewaschen.

**Stickstoffeinträge in Europa in Kilogramm je Hektar und Jahr**

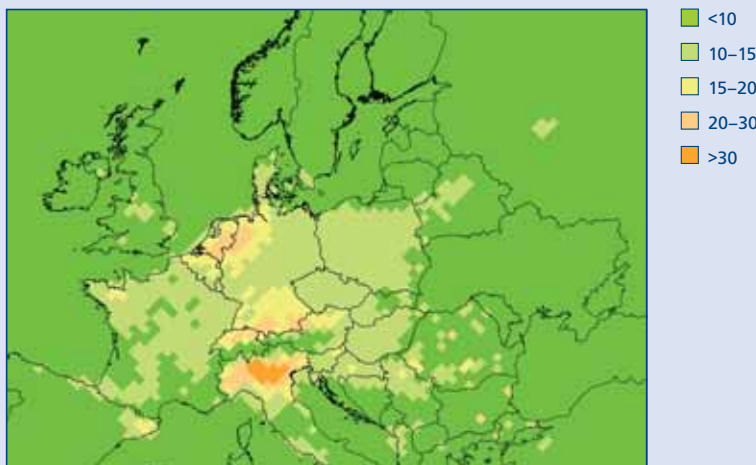


Abbildung 8: Räumliche Verteilung der Stickstoffeinträge in Europa im Jahr 2010 auf der Grundlage von Modellabschätzungen  
Datenquelle: Builtjes et al. (2011)

## **Aufbau und Messkonzept einer Waldklimastation orientieren sich an der Frage nach Ursache und Wirkung**

Derzeit betreibt die LWF Waldklimastationen in unterschiedlichen Waldregionen Bayerns. Die Standorte reichen vom hochmontanen Lärchen-Zirbenwald am Nordhang des Watzmanns im Berchtesgadener Land über die warm-trockenen Laubwaldstandorte an der Altmühl oder der Fränkischen Platte bis zum Fichtenbestand im nördlichen Frankenwald (Abbildung 2). Sie erfassen Bestände mit den vier wichtigsten Hauptbaumarten Bayerns.

An allen Waldklimastationen werden meteorologische Größen im Sekundentakt nach dem Standard der Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes auf einer Freifläche oder Waldlichtung automatisch gemessen. Die Freiflächen liegen jeweils in unmittelbarer Nachbarschaft zu einem Forschungsbestand einer Waldklimastation. Auf den Freiflächen werden zusätzlich die wichtigsten Stoffeinträge mit dem Freilandniederschlag erfasst (unter anderem die versauernd wirkenden Luftschadstoffe Sulfat, Ammonium und Nitrat), wochenweise gesammelt und im Labor der LWF analysiert.

Die eigentliche Waldmessstation in einem nahegelegenen mindestens vier Hektar großen Forschungsbestand bildet das Herzstück jeder Waldklimastation. Dort werden auf einer 0,25 ha großen Kernmessfläche die wichtigsten Einflussgrößen auf die Waldgesundheit bestimmt sowie ihre Wirkung auf Bäume, Bodenvegetation und Boden möglichst genau gemessen und beobachtet (Abbildung 9). In einem Messfeld, bestückt mit Sammlern, Sensoren und moderner Datenerfassungstechnik eines »Freilandlabors«, werden Kennwerte des Wasser- und Nährstoffkreislaufs der Waldbestände und der Waldböden an unterschiedlichen Stellen gemessen und ermittelt. Regelmäßig werden Wasserproben für die chemische Analyse aus Auffangbehältern gewonnen, die unter der Baumkrone, an Stämmen glattrindiger Buchen, unter dem Auflagehumus und in verschiedenen Bodentiefen installiert sind. Periodische Bodenerhebungen im Rahmen der gesetzlich verankerten Bodendauerbeobachtung (BDF, Schubert und Butz-Braun 1995) erlauben eine physikalisch-chemische Charakterisierung der Waldböden an den Waldklimastationen. Besonderes Augenmerk gilt der Erfassung von Wirkungen der Umwelteinflüsse auf Waldbäume und Bodenvegetation. Dazu wird einmal jährlich der Dickenzuwachs in Brusthöhe jedes Baumes auf der Kernmessfläche ermittelt und der Kro-

nenzustand eingewertet. An ausgewählten Bäumen werden jährlich bzw. in zweijährigen Abständen ernährungskundliche Untersuchungen vorgenommen. Wöchentlich werden phänologische Veränderungen, wie zum Beispiel Blattaustrieb oder Blattverfärbung, beobachtet und registriert. Die abfallende Biomasse, der Blatt- oder Nadelstreu, wird vierwöchentlich gesammelt, getrennt, gewogen und analysiert. In fünfjährigen Abständen wird auf einer Probestfläche die Veränderung der Bodenvegetation erfasst. Sechs der Waldklimastationen sind zusätzlich mit TDR (Time-Domain Reflectometry)-Bodenfeuchtesensoren und Niederschlagsrinnen mit Kippwaagen ausgestattet, um den Bestandsniederschlag genau zu registrieren. Detailgetreuere Informationen für ereignisbezogene Auswertungen rechtfertigen den instrumentellen Mehraufwand. Gleichzeitig ist an diesen Stationen ein phänologischer Garten nach dem Muster der internationalen phänologischen Gärten (Chmielewski 1996) angegliedert. Eine detaillierte Zusammenstellung der Messinformationen einer Waldklimastation findet sich z. B. in Preuhler et al. (1992) oder auf der Homepage der LWF (<http://www.lwf.bayern.de/boden-klima/umwelt-monitoring/index.php>). Die verwendeten Messmethoden entsprechen den internationalen Standards des ICP-Forests (Fischer et al. 2010).

Die LWF koordiniert und betreibt die Waldklimastationen. Dazu zählen fachwissenschaftliche Betreuung, technischer Service, Laboranalytik und Datenmanagement. Den laufenden Betrieb stellen die örtlich zuständigen Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten sicher. Sie betreuen die Waldklimastationen vor Ort und beschäftigen Probenehmer für die regelmäßige wöchentliche Probenahme bei allen Wetterbedingungen. Den Transport der Wasserproben an die LWF übernimmt eine Kühlspedition. Zahlreiche Messdaten werden automatisch mittels Datenlogger erfasst und per Mobilfunk an die LWF übertragen. Hier werden die Messdaten (über 800.000 Datensätze pro Jahr) zusammengeführt und von den Fachwissenschaftlern ausgewertet. Weitere wichtige Partner im Programm sind die örtlichen Forstbetriebe der Bayerischen Staatsforsten. Sie stellen die Forschungsbestände zur Verfügung und nehmen bei der regulären Bewirtschaftung der Waldbestände auf die Belange der Forschung Rücksicht.

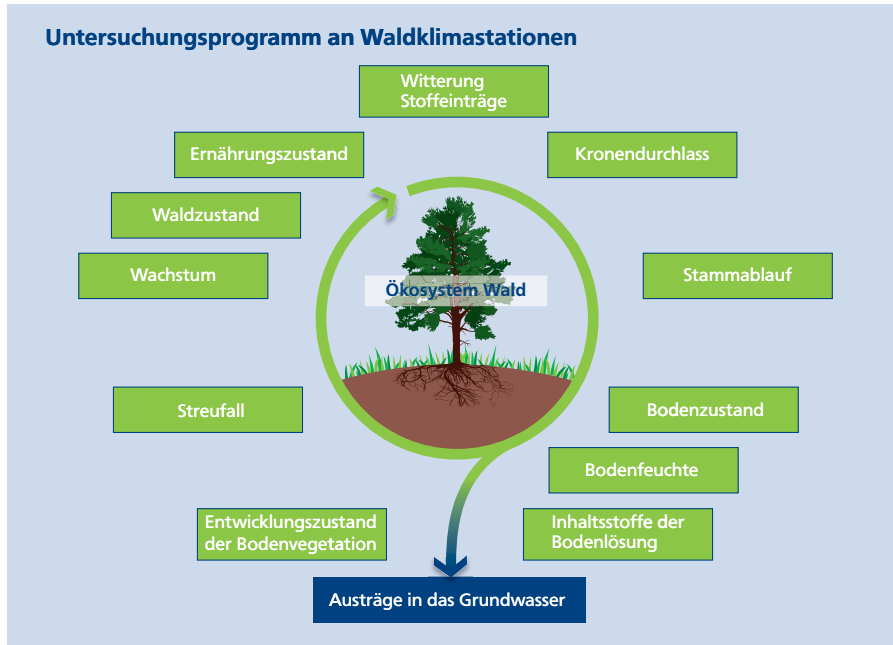


Abbildung 9:  
Messprogramm an  
Bayerischen Waldklima-  
stationen

## Ausblick

Witterung und Klima zählen ebenso wie Stoffeinträge zu den wichtigsten Standortfaktoren eines Waldes. Im Zusammenspiel mit dem Boden steuern und regeln sie die Lebensprozesse im Waldökosystem. Das Lebensgefüge des Ökosystems selbst hängt entscheidend von Vitalität und Konkurrenzkraft der dominierenden Baumschicht ab, welche dem Wald seinen unverkennbaren Charakter verleiht. Mit der Nutzung von Holz als Rohstoff und Energieträger und der Pflege des Waldes als naturnahem Schutz- und Erholungsraum bietet sich der nachhaltigen Forstwirtschaft wie kaum einem anderen Wirtschaftszweig die besondere Chance, die enormen Potenziale der Natur ökonomisch wie ökologisch gewinnbringend zu nutzen. Es ist eine wichtige Aufgabe in Zeiten dynamischer Umweltveränderungen, die Entwicklung der Standortfaktoren und ihre Wirkungen auf die Wälder genau im Auge zu behalten, um Ressourcen und Leistungen der Waldökosysteme für Natur und Gesellschaft langfristig zu sichern. Das Intensivmonitoring an Waldklimastationen leistet dazu seinen Beitrag.

## Danksagung

Unser Dank gilt den Partnern vor Ort, den Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und den Forstbetrieben der Bayerischen Staatsforsten, den Probennehmern und Betreuungsbeamten sowie den Mitarbeitern der LWF im technischen Service und der Probenaufbereitung und -analyse im Labor. Die Bayerische Forstverwaltung finanziert das Forstliche Umweltmonitoring in Bayern, die Europäischen Union förderte die Programme über viele Jahre, zuletzt im Rahmen der LIFE+-Verordnung (Projekt »FutMon« 2009–2011).

## Literatur

Bogena, H.; Schulz, K.; Vereecken, H. (2006): Towards a network of observatories in terrestrial environmental research. *Advances in Geosciences*, 9, S. 1–6; <http://teodoor.icg.kfa-juelich.de>

BMEL – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1995): Dauerbeobachtungsflächen zur Umweltkontrolle im Wald. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.); Bonn, 25 S.

BMEL – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (2013): Entwurf einer Verordnung über Erhebungen zum forstlichen Umweltmonitoring (ForUmV); <http://www.bmelv.de/SharedDocs/Rechtsgrundlagen/Entwuerfe/Forstliches-Umweltmonitorng.html>

Builtjes et al. (2011): vgl. Abbildung 8

- Chmielewski, F.-M. (1996): The International Phenological Gardens across Europe. Present state and perspectives. *Phenology and Seasonality* 1 (1), S. 19–23
- Dietrich, H.-P.; Raspe, S.; Schulz, C. (2006): Waldklimastationen – eine Säule forstlicher Umweltbeobachtung. *AFZ-Der Wald* 18; S. 972–974
- Dietrich, H.-P.; Raspe, S. (2011): Waldmonitoring: Harte Daten für die Politik. *LWF aktuell* 82, S. 4–8
- Falk, W.; Stetter, U. (2010): Stickstoff – vom Mangel in den Überfluss. *LWF aktuell* 78, S. 18–20
- Fischer, R.; Lorenz, M.; Strich, S. (2010): Der Waldzustand in Europa, 25 Jahre Waldzustandsmonitoring des ICP Forests. vTI – Institut für Weltforstwirtschaft Hamburg (Hrsg.)
- Fischer, R. et al. (2010): Methoden ICP Forests
- Gietl, G. (1989): Waldklimastationen in Bayern: Aufbau eines forst klimatologischen und -hydrologischen Meßnetzes. *AFZ* 40/41, S. 1075–1079
- Kölling, C.; Zimmermann, L. (2011): Klimawandel gestern und morgen. *LWF aktuell* 99, S. 16–20
- Pretzsch, H. (2004): Der Zeitfaktor in der Waldwachstumsforschung. *LWF Wissen* 47, S. 11–30
- Pretzsch, H. (2014): *LWF Wissen* 76, S. 72 ff.
- Preuhsler, T.; Gietl, G.; Grimmeisen, W.; Kennel M.; Lechler, H.H. (1992): Forschungsprojekt Waldklimastationen in Bayern. *AFZ* 10, S. 529–533
- Preuhsler, T.; Gietl, G. (1994): Langfristige Forschungsschwerpunkte im Waldökosystem-Monitoring an der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. *Forst und Holz*, 49. Jg., S. 83–86
- Raspe, S.; Schulz, C.; Dietrich, H.-P.; Foullouis, N. (2011): Luftschadstoffbelastungen der Wälder rückläufig. *LWF aktuell* 82, S. 15–18
- Raspe, S.; Dietrich, H.-P.; Zimmermann, L. (2013): Stoffeinträge sind ein Standortfaktor. *LWF aktuell* 94, S. 18–22
- Schubert, A. und Butz-Braun, R. (1995): Waldboden-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern; Berichte aus der bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hrsg.); Berichte aus der LWF, Nummer 4, 80 S.
- StMELF – Bayer. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1990): Hilfstafeln für die Forsteinrichtung. Bayer. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.); München
- StMELF – Bayer. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1992): Waldklimastationen in Bayern – Ein forstlicher Beitrag zur Umweltvorsorge. Bayer. Staatsministerium für Ernährung Landwirtschaft und Forschung (Hrsg.) München, 19 S.
- StMELF – Bayer. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (2008): Waldbericht 2008. Bayer. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.); München
- Splett, P.; Intemann, H. (1994): Intensive Waldzustandsüberwachung auf Dauerbeobachtungsflächen in Deutschland. *AFZ* 22, S. 1237–1246
- Uhl, E.; Kölling, C.; Pretzsch, H. (2014): Überlegungen zur Weiterentwicklung des Ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern. *LWF Wissen* 76, S. 88 ff.
- Zimmermann, L.; Raspe, S. (2011a): Witterungsextreme – heute und morgen. *LWF aktuell* 82, S. 19–22
- Zimmermann, L.; Raspe, S. (2011b): Endlich wieder Regen. *LWF aktuell* 84, S. 33–35

**Keywords:** Bayerische Waldklimastationen, Bavarian Intensive Forest Monitoring, Level II, detection of environmental changes

**Summary:** Forest growth, tree vitality and species competition are mainly influenced by environment and site conditions. It is a growing challenge, even for Forest Research Institutes like the Bavarian State Institute of Forestry, to realize and understand the consequences of dynamical environmental changes like global warming to sustainable forestry and forest management. Valid plannings need references, able to detect true changes and trends caused by a shifting environment. Encouraged by the knowledge of Forest Decline Research, so called Intensive Forest Monitoring research plots are established in typical bavarian forest regions starting in the early nineties. From that time on, measurements at the “Bayerische Waldklimastationen (WKS)” supplements the annual and representative Forest Condition Inventories already operating since 1983. The 18 Forest Intensive Monitoring plots (level II) nowadays are a well established data source for consultancy and in demand for additional information about environmental influences and their consequences to forests in Bavaria.



# Versuchsflächen am Bayerischen Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP)

Monika Konnert, Gerhard Huber und Randolph Schirmer

**Schlüsselwörter:** Versuchsflächen ASP, Herkunftsversuche, Nachkommenschaftsprüfungen, Sortenprüfung, Pappel

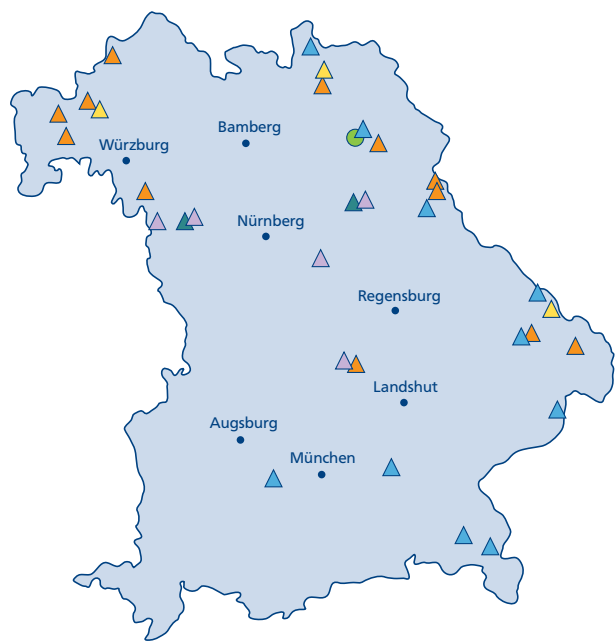
**Zusammenfassung:** Zu den Aufgaben des ASP gehört die Forschung und Entwicklung zu Fragen der forstlichen Herkunft und die Qualitätssicherung bei forstlichem Vermehrungsgut. Zur Erfüllung dieser Aufgaben betreut das ASP ein umfangreiches Versuchsnetz von Herkunftsversuchen, Nachkommenschaftsprüfungen und Sortenprüffeldern. Hintergründe zu Flächenanlage, der derzeitige Stand der Versuchsflächen und die zukünftige Ausrichtung werden für die drei Bereiche dargestellt.

## Herkunftsversuche

Herkunftsversuche werden angelegt, um die Anbaueignung von Herkünften aus dem Verbreitungsgebiet einer Baumart auf unterschiedlichen Standorten zu prüfen. Die Ergebnisse solcher Versuche sind Grundlage für Empfehlungen zum Anbau von Herkünften (Herkunftsempfehlungen) je nach Wuchsgebiet. Das ASP betreut aktuell Herkunftsversuche für Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*), Weißtanne (*Abies alba*), Küstentanne (*Abies grandis*), Buche (*Fagus sylvatica*) und Schwarzkiefer (*Pinus nigra*). Ein neuer Versuch für Waldkiefer (*Pinus sylvestris*) wurde im Herbst 2013 angelegt. Die Lage der Versuchsflächen ist in Abbildung 1 dargestellt.

Versuche mit Douglasie und Küstentanne wurden zwischen 1973 und 1990 in mehreren Etappen angelegt (Konnert 2013). Bis auf wenige Ausnahmen umfasst jeder Versuchsstandort drei Wiederholungen je Prüfglied (Herkunft) mit jeweils 25 Pflanzen im Pflanzverband 2 m × 2 m. Die Versuchsschwerpunkte liegen bei Douglasie im Spessart, in der Rhön und in den nordostbayerischen Mittelgebirgen, bei der Küstentanne im Raum Selb, Kronach und Zwiesel. Ein Teil der Versuche musste inzwischen aufgelassen werden, da die kleinen Versuchsflächen altersbedingt eine statistisch zielführende Auswertung nicht mehr zulassen. In Einzelfällen waren jedoch auch starke Schälsschäden und Schneebruch der Grund für die Auflassung. Bei Dou-

## Herkunftsflächen des ASP



### Baumarten

- Buche (*Fagus sylvatica*)
- ▲ Weißtanne (*Abies alba*)
- ▲ Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*)
- ▲ Küstentanne (*Abies grandis*)
- ▲ Waldkiefer (*Pinus sylvestris*)
- ▲ Schwarzkiefer (*Pinus nigra*)

Abbildung 1: Lage der vom ASP betreuten Herkunftsversuche

glasie beträgt die Gesamtfläche der zwölf weiterhin zu betreuenden Versuche circa 13 ha, bei Küstentanne circa 2 ha. Die Flächen der Küstentanne sind Teil einer IUFRO-Versuchsreihe, wobei die Fläche Zwiesel mit 800 m ü. NN die höchstgelegene Fläche des Gesamtversuchs ist. Die Wuchsleistung ist auf dieser Fläche sehr gut, am Standort Selb aber nur unterdurchschnittlich (Wolf und Ruetz 1988; Rau et al. 2008).

Bei Weißtanne wurden die Versuche zwischen 1987 und 1989 als Teil eines süddeutschen Herkunftsversuchs (Bayern und Baden-Württemberg) und eines IUFRO-Provenienzversuchs (europaweit) angelegt. Die Gesamtfläche der weiterhin regulär zu betreuenden Versuchsstandorte beträgt 13,4 ha (zehn Flächen). Derzeit wird an einer länderübergreifenden Auswertung beider Versuchsserien gearbeitet, auch unter dem

Aspekt des Klimawandels. In Abhängigkeit von verschiedenen Klimaparametern sollen Responsefunktionen für verschiedene Herkünfte oder Herkunftsregionen der Weißtanne erarbeitet werden (Rehfeldt et al. 2002; Wang et al. 2006; Schüler et al. 2012). Bei Douglasie, Küstentanne und Weißtanne konnten die Ergebnisse in den Herkunftsempfehlungen für Bayern berücksichtigt werden. Damit wurde ein wichtiges Versuchsziel in die Praxis umgesetzt.

Bei Rotbuche verfügt das ASP nur über eine Versuchsfläche in Nordbayern (Hahnengrün), die Teil eines 1998 angelegten umfangreichen IUFRO-Versuchs ist (26 Flächen europaweit, durchschnittlich 29 Herkünfte je Fläche). Auf der bayerischen Fläche (2,4 ha) stehen 30 Buchenherkünfte. Hier werden in regelmäßigen Abständen der Ausfall erhoben, verschiedene Wuchsgrößen gemessen sowie das Austriebs- und Blattfallverhalten aufgenommen.

Für die Schwarzkiefer wurde 2009/2010 ein Herkunftsversuch mit 35 Prüfgliedern aus dem gesamten Verbreitungsgebiet der Art angelegt. Die Flächen liegen in Bayern auf der Fränkischen Platte, im nördlichen Tertiärhügelland und im Weidener Becken. Parallelfelder wurden in Baden-Württemberg, Hessen, Brandenburg, Österreich und Kroatien begründet. Das gewählte Versuchsdesign entspricht einem Blockmodell mit dreifacher Wiederholung. Je Parzelle sind 50 Pflanzen (5 Reihen zu je 10 Pflanzen) einer Herkunft ausgebracht. Der Pflanzverband beträgt 2 m × 1 m. Der Abstand zwischen den Parzellen ist 3 m. Je nach Versuchsflächenlage wurde zu den benachbarten Beständen ein Abstand von 10 bis 20 m eingehalten (Huber 2011).

2013 wurden zwei Versuchsflächen mit Waldkiefernherkünften aus dem europäischen Ausland bei Bad Windsheim (Mittelfranken) und Vilseck (Oberpfalz) begründet. Sie beinhalten vor allem Provenienzen aus Südeuropa (z. B. Spanien, Frankreich, Bulgarien).

## Nachkommenschaftsprüfungen

Nachkommenschaftsprüfungen verfolgen das Ziel, die genetisch bedingte Konstitution und Reaktionsnorm von nach dem Erscheinungsbild ausgewählten Individuen zu prüfen und zu sehen, ob zwischen verschiedenen Nachkommenschaften in bestimmten Werteigenschaften genetisch bedingte Unterschiede bestehen. Vereinfacht gesagt sind Nachkommenschaftsprüfungen (NKP) Feldversuche, in denen der Anbauwert des Vermehrungsguts, das von einem bestimmten Ausgangsmaterial stammt, geprüft wird. Bei Erntebeständen und Samenplantagen ist das zu prüfende Ausgangsmaterial die Zulassungseinheit, bei Einzelklonen ist es der Klon. Die Prüfung erfolgt unter Miteinbeziehen von definierten Standards. Sind die Nachkommen einer Zulassungseinheit in den Versuchen anderen Versuchsgliedern in ihren Wuchseigenschaften (Massenleistung, Qualität, Vitalität) überlegen, kann die Zulassung der Ernteeinheit in der Kategorie »geprüft« erfolgen. Dazu bedarf es der Zustimmung des Sachverständigenbeirats für geprüftes Vermehrungsgut. Bei der Durchführung von Nachkommenschaftsprüfungen zur Zulassung unter der Kategorie »geprüft« müssen die Vorgaben der Forstvermehrungsgut-Zulassungsverordnung (FoVZV) berücksichtigt werden.

Derzeit sind im Erntezulassungsregister 17 Bestände mit einer reduzierten Baumartenfläche von ca. 210 ha in der Kategorie »geprüft« aufgeführt. Schwerpunkt sind Traubeneichenbestände im Spessart sowie Fichtenbestände im Fichtelgebirge. Die Prüfungen wurden bereits vor Jahrzehnten abgeschlossen, die Prüfflächen wurden größtenteils bereits vor Jahren aufgegeben bzw. liegen als Teil von bundesweit durchgeführten Prüfserien in anderen Bundesländern. Von den bayerischen Samenplantagen sind sechs in der Kategorie »geprüft« zugelassen. Von den abgeschlossenen Prüfungen sind die in Tabelle 1 enthaltenen Prüfflächen noch vorhanden, werden aber für NKP nicht mehr benötigt. Die mit B gekennzeichneten Flächen werden mittelfristig zu einem Saatguterntebestand fortentwickelt, sofern die Zulassungsvoraussetzungen (Alter, Fläche, Anzahl der Nachkommenschaften) nach dem Forstvermehrungsgutgesetz gegeben sind. Andere Flächen werden als Demonstrationsobjekte erhalten (z. B. Vergleich Lärchenarten) (C) oder aufgegeben (D). Weitere zwei Plantagen finden sich zur Prüfung auf den in Tabelle 2 angeführten Versuchsflächen.

Man geht davon aus, dass durch die Verwendung von »geprüftem Vermehrungsgut« eine Ertragssteigerung

von 5–15% möglich ist. Daher wird das Programm zu Nachkommenschaftsprüfungen an Bedeutung gewinnen – mit Schwerpunkt bei den Samenplantagen. Die Prüfung von zugelassenen Erntebeständen ist wegen der nicht nachvollziehbaren Bestäubungsverhältnisse und der nur schwer vorhersehbaren Bewirtschaftungseinflüsse wirtschaftlich weniger sinnvoll als die Pflanzenprüfung.

Als Sonderform der Nachkommenschaftsprüfung wird künftig die Prüfung von ausgewählten Plusbäumen durchgeführt. Derzeit läuft die Auswahl von überdurchschnittlichen Roteichenbäumen.

## Sortenprüfung Energiewald

Forschung im Bereich »Schnellwachsende Baumarten« hat von allen Behörden der Forstverwaltung am ASP die längste Tradition. Seit den 1960er Jahren wurden Anbauversuche mit Aspen, Balsam- und Schwarzpappelhybriden sowie Baumweiden angelegt. Das damalige Ziel der Entwicklung von Sortenempfehlungen für Hochwaldanbauten hat sich in den letzten beiden Jahrzehnten zunehmend in Richtung der Bereitstellung von Sorten für Energiewald verschoben. Eine Zusammenfassung der aktuell durch das ASP betreuten Pappel-Versuchsanbauten ist in Tabelle 3 enthalten.

Baumart	Samenplantage	Register-Nr.	Versuchsfläche (Waldort / Region / Anlagejahr)	Maßnahmen
Kiefer	Laufen/Lebenau	091 851 23 005 4	Justizgelände / Nürnberg / 1979	D
			Lindenhardt / Lohbruck, Nordhalben / 1979	D
	Ebrach/Schafknock	091 851 12 010 4	Häuselloh / Selb / 1983	D
			Kaiserhammer / Selb / 1982	D
Roterle	Freilassing	091 802 07 034 4	Lange Böden / Raisting-Landsberg / 1974 (Parallelflächen in Hessen, BW, NDS)	B
	Laufen/Lebenau	091 802 08 013 4	Sailach / Füssen / 1979	B
			Kellerbrunnen / Füssen / 1979	B
Winterlinde	Laufen/Lebenau I	091 823 08 002 4	Zerzabelshof / Nürnberg / 1981	B
			Mitterholz 14a / Griesbach / 1981	B
			Regensburg / 1981	B
Hybridlärche	Mistelgau-Lindig/Pegnitz (früher Schnappenhammer) 2 Klon-SP		Sonneneck / Buchschorn-Peißenberg / 1986	C
			Hopfenlacke / Painten-Kehlheim / 1987	C
			Hoher Berg / Egloffstein-Pegnitz / 1987	D
			Eichig / Jungholz-Pegnitz / 1987	C (D)
			Riedenberg / Geroda-Brückenau / 1987	C
			Schnepfenberg / Schwärzelbach-Hammelburg / 1987	D

Tabelle 1: Versuchsflächen, deren zugehörige Samenplantagen in der Kategorie »geprüft« zugelassen sind  
B = Fortentwicklung zum Saatguterntebestand / C = Demonstrationsobjekt / D = aufgegeben

Baumart	Zu prüfende Samenplantage	Register-Nr.	Versuchsfläche (Waldort / Region / Anlagejahr)
Winterlinde	Lehmbach	091 823 07 129 3	Altdrosselfeld / Bayreuth / 2010
	Laufen/Lebenau II	091 823 07 119 3	Ringheim / Grobostheim / 2010
			Warzlbergerbuckel / Landshut / 2010
Fichte	Landshut	091 840 21 011 3	Linau / Oberried-Bodenmais / 1983
			Hochsteinet, II5b2 / Grafenau / 1983

Tabelle 2: Versuchsflächenübersicht laufender Nachkommenschaftsprüfungen

Die Gesamtfläche der zu betreuenden Versuchsstandorte beträgt ca. 20 ha, davon 7 ha Hochwaldversuche und 13 ha KUP-Sortenprüffelder (vergleiche Tabelle 3). Für Klone, die auf mehreren Flächen gute Wuchsleistungen zeigen, werden Zulassungsanträge erarbeitet und dem Gutachterausschuss für geprüftes Vermehrungsgut zur Prüfung und Zulassung vorgelegt. Die Sortenempfehlungen sind auf der Homepage des ASP eingestellt und werden in den letzten Jahren im Rahmen der deutlich zugenommenen Beratungstätigkeit des ASP stark nachgefragt. Die Ergebnisse der Hochwaldversuche sind Teil der Herkunftsempfehlungen für forstliches Vermehrungsgut. Der Großteil der alten

Hochwaldversuche wurde aufgelassen. Die in Tabelle 3 aufgeführten Flächen werden weiterhin gehalten und nach waldbaulichen Grundsätzen gepflegt. Bei Bedarf werden Daten aufgenommen bzw. ausgewertet.

Kategorie	Projekt/ Baumart	Ort/Waldort (Abteilung)	Forstbetrieb	Parzellen- fläche (ha)	Anlage (Jahr)	Sorten (Anzahl)
KUP-Sorten- prüfungen	FastWOOD	Neumarkt/Lehmbach	Wasserburg	1,9	2010/ 2011	241
	P30	Laufen/Straß	PW	0,78	2009/ 2010	58
		Kaufering/Epfenhausen	KW	1,80	2009	64
		Großostheim/Wenigumstadt	KW	1,30	2007	25
		Ebrach/Eberauwiese	JVA Laufen	1,13	2007	25
		Trostberg/Gainharting	PW	0,19	2007	13
		St. Georgen/Zeltsberg	PW	1,62	2007	30
		Knetzgau/Hainert	KW	0,50	2007	6
		Teisendorf/Ufering	KW	0,70	1998	9
		St. Wolfgang/Pumpernudel	PW	0,70	1998	7
		Wildpoltsried/Hofgut	Ottobeuren	0,35	1996	24
		Uffenheim/Reusch	PW	0,76	1996	14
		Chieming/Hart	PW	1,10	1994	5
Hochwald- versuche	Balsampappel- hybride	Freilassing/Salzburghofer Au	Berchtesgaden	1,30	1980/ 1987	
		Galleneck/Gallenecker Seige	Uni Landshut	0,20	1987	
		Grafenrheinfeld/Kapitelwald	KW	2,20	1984	
		Starkheim/Starkheimer Au	WWA	2,0	1980	
		Grabenstätt/Winkler Moos	Ruhpolding	1,14	1976	
Sorten- sammlungen	Mutter- quartiere	Laufen/Lebenau	Berchtesgaden	0,9	2002/ 2012	346
	Hybrid/SPa	Laufen/Amselgraben	Berchtesgaden	0,2	2011	
	Baumweide	Bergen/Brettlinger Moos	Ruhpolding	0,22	2002	
	Populetum	Freising/Kranzberger Forst	Freising	0,70	1997	
	Aspe	Eggelsberg/Margarethenried	Freising	1,50	1988	

Tabelle 3: Pappel-Versuchsstandorte des ASP



## Literatur

Huber, G. (2011): Neue Tests für Schwarzkiefern-Herkünfte in Bayern im Hinblick auf den Klimawandel. Forstarchiv 82, S. 134–141

Konnert, M. (2013): Die Herkunft im Blick. LWF aktuell 96, S. 12–14

Rau, H. M.; König, A.; Ruetz, W.; Rumpf, H., Schönfelder, E. (2008): Ergebnisse des westdeutschen IUFRO-Küstentannen-Provenienzversuches im Alter 27. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 4, Universitätsverlag Göttingen, 62 S.

Rehfeldt, G.E.; Wykoff, William R.; Cheng, C.Y. (2001): Physiologic plasticity, evolution, and impacts of a changing climate on *Pinus Contorta*. Climatic Change 50, S.355–76

Schüler, S.; Kapeller, S.; Huber, G.; Bozic, G. (2012): Optimierte Nutzung der genetischen Variation als Anpassungsmaßnahme für die Forstwirtschaft. BFW Praxis Information Nr. 30

Wang, T.; Hamann, A.; Yanchuk, A.; O'Neill, G.A., Aitken, S.N. (2006): Use of response functions in selecting lodgepole pine populations for future climates. Global Change Biology, 12(12), S. 2404–2416

Wolf, H.; Ruetz, W.F. (1988): Ergebnisse älterer und jüngerer *Abies grandis* Versuchsanbauten in Bayern. AFZ 25, S. 707–710

**Keywords:** field trials, ASP, provenance tests, progeny tests, poplar clone test fields

---

**Summary:** Among the tasks of the ASP are research and development regarding forest provenances and quality control of forest reproductive material. In order to meet these goals the ASP maintains an extensive network of provenance trials, progeny trials and poplar clone test fields. Background information for site establishment, current conditions of the trials and future direction will be presented for the three areas.

---

---

# Veränderte Dynamik von süddeutschen Waldbeständen seit 1870

Hans Pretzsch, Peter Biber, Gerhard Schütze, Enno Uhl und Thomas Rötzer

**Schlüsselwörter:** Wachstumstrends, langfristige Versuchsflächen, Klimaänderung, Anthropozän

**Zusammenfassung:** Wir leben im Anthropozän, einer Epoche, in welcher die Beeinflussung der Erde und ihrer Ökosysteme durch den Menschen eskaliert. Waldökosysteme – in Europa bedecken sie mehr als 30% der Landfläche – sind seit mehr als einem Jahrhundert zunehmend von Klimaänderungen betroffen. Während vor knapp zwei Jahrzehnten noch das »Waldsterben« das großflächige Überleben von Waldökosystemen in Frage zu stellen schien, weisen gegenwärtig terrestrische, phänologische Untersuchungen, satellitengestützte Erfassungen der fotosynthetischen Aktivität und Waldinventuren eher auf ein beschleunigtes Wachstum als auf einen Kollaps der Wälder hin. Ob, wie und warum Waldbestände innerhalb des letzten Jahrhunderts ihr Wachstum veränderten, wird nach wie vor kontrovers diskutiert. Der vorliegende Aufsatz basiert auf einer Publikation, die im international renommierten, wissenschaftlichen Journal *Nature Communications* veröffentlicht wurde. Wir zeigen, dass gegenwärtig der Größenzuwachs von Bäumen, der Zuwachs des Bestandsvolumens und die Vorratsakkumulierung der Hauptbaumarten in Mitteleuropa um etwa 50–100% größer ist als noch vor 50 Jahren. Weil Bäume und Waldbestände sich schneller entwickeln, ist ihre Baumzahl, Bestandsdichte und Baummortalität etwa 25% geringer als in gleichaltrigen Beständen in der Vergangenheit. Nach wie vor folgen Waldbestände ähnlichen Regeln der Baum- und Bestandsallometrie. So verändert sich z. B. bei gegebener Bestandshöhe das erreichte Volumen nicht, gegebene Baum- und Bestandsgrößen werden aber schlichtweg schneller erreicht. Um die veränderte Bestandsdynamik zu verstehen, tragen wir das vorhandene Wissen über Klimaveränderungen zusammen und machen es für Szenarioanalysen mit modernen Modellen nutzbar. Nach unseren Ergebnissen können der Anstieg der Jahrestemperatur, die Zunahme des Niederschlags und die Verlängerung der Vegetationsperiode die beschleunigte Dynamik nicht ausreichend erklären. Erst wenn der Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration und N-Deposition mit in die Szenarioanalysen einbezogen werden, können Modelle die Beobachtungen begrifflich machen. Vorliegende Untersuchung basiert auf Daten aus den langfristigen ertragskundlichen Versuchsflächen in Bayern, die seit

1870 kontinuierlich unter Beobachtung stehen und damit zu den ältesten Anlagen ihrer Art weltweit zählen. 300 Jahre nachdem Hans Carl von Carlowitz mit seiner *Sylvicultura Oeconomica* den Begriff »Nachhaltigkeit« prägte und er und weitere Gründerväter der Forstwissenschaft die Anlage langfristiger Versuchsflächen für die Untermauerung nachhaltigen Wirtschaftens initiierten, liefern diese Flächen heute unverzichtbare Fakten für ein besseres Verstehen, Modellieren und Bewahren der Wälder im Anthropozän.

---

## Versuchsflächen dokumentieren globale Trends

Wissen über die Bestandsdynamik ist essenziell für die nachhaltige Waldbewirtschaftung auf Betriebsebene (Pretzsch 2009), für die multikriterielle Planung auf Landschaftsebene (Pretzsch 2009) und für das Verstehen und die Vervollständigung der Kohlenstoffbilanz auf globaler Ebene (Magnani et al. 2007; Kauppi 1992). Aufgrund der langen Lebensspanne von Bäumen ist das Wissen über die Dynamik von Beständen und ihre langfristige Reaktion auf Umweltbedingungen nach wie vor sehr unvollständig. Retrospektive Jahrringanalysen an Bäumen können diese Wissenslücke kaum schließen, denn sie bieten nur Einblicke in das Wachstum von Bäumen, nicht aber in die zurückliegende Dynamik ganzer Bestände. Forstinventuren decken überwiegend bewirtschaftete Wälder ab und ermöglichen deshalb kaum eine Trennung zwischen Klima- und Behandlungseffekten auf das Waldwachstum. Wuchsmodelle eignen sich nur bedingt als Ausweg (Pretzsch et al. 2008), denn sie können kaum besser sein als die ihnen zugrunde liegende Datenbasis. Das volle Informationspotenzial von Wuchsmodellen lässt sich nur durch eine kombinierte Anwendung empirischer Analysen und Modelle ausschöpfen. Eine einmalige empirische Grundlage bieten die langfristigen Versuchsflächen, welche seit 1870 in Süddeutschland und anderen Regionen Europas nach Gründung der International Union of Forest Research Organisations (IUFRO) (Pretzsch 2009) angelegt und systematisch ausgebaut wurden. Die frühesten Flächen

– sie sind bis heute zehn- bis 20mal durchgängig aufgenommen worden – liefern die weltweit längsten Zeitperioden über die Entwicklung von Waldbeständen. Zwar wurden sie bisher intensiv für die Herleitung von Grundprinzipien des Waldwachstums ausgeschöpft, nicht aber für die Analyse langfristiger Wachstumstrends. Ein besonders günstiger Umstand besteht darin, dass für die Regionen, in denen diese langfristigen Versuchsflächen angesiedelt sind, die Aufzeichnungen von Niederschlägen und Temperaturen bis in das Jahr 1781 zurückreichen. Dadurch können sie, wie im Folgenden dargestellt, für die Quantifizierung und Erklärung globaler Wachstumstrends eingesetzt werden. So tragen Versuchsflächen, die eigentlich für die quantitative Untermauerung nachhaltiger Forstwirtschaft auf lokaler und regionaler Ebene angelegt wurden (Pretzsch 2009), auf andere Weise und auf anderer Skala zum nachhaltigen Wirtschaften bei.

Mit der vorliegenden Studie möchten wir anhand langfristig beobachteter Versuchsflächen für Fichte und Buche den statistischen Nachweis von Wachstumstrends führen und auch deren Größenordnung klären. Wir beschränken uns nicht auf eine rein beschreibende Darstellung, sondern knüpfen darüber hinaus die gefundenen Trends an grundlegende Gesetzmäßigkeiten der Bestandsallometrie und identifizieren mittels einer Modellstudie Indizien für die Ursachen des veränderten Wachstums.

### Versuchsflächen in dieser Studie

Für die Analyse wählen wir Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.) und Buche (*Fagus sylvatica* L.). Diese Baumarten dominieren in Mitteleuropa mit einem Anteil von 30% an der Waldfläche, was einer Gesamtfläche von etwa 14 Mio. ha entspricht. Wir greifen auf 37 langfristig beobachtete Versuchsflächen in Deutschland zurück, von denen 24 in Fichtenbeständen und 13 in Buchenbeständen liegen. Von jeder Versuchsfläche verwenden wir jeweils die unbehandelte Parzelle (A-Grad), um den Einfluss von Durchforstungseingriffen auszuschalten. Die Flächen decken eine Reichweite von 47,78° bis 51,63° nördlicher Breite und 7,92° bis 13,31° östlicher Länge ab. Sie repräsentieren ein breites Spektrum an Standorten, Baum- und Bestandsdimensionen und spannen insgesamt einen Beobachtungszeitraum von 1870 bis 2012 auf (Tabellen 1, 2, 3). Der Erstautor des Artikels und seine Arbeitsgruppe sind für die wissenschaftliche Konzeption und den Unterhalt dieser Versuchsflächen verantwortlich.

	Fichte		Buche	
	min	max	min	max
Anzahl Parzellen	24		13	
Östliche Länge [°]	10,40	13,31	7,92	13,31
Nördliche Breite [°]	47,78	49,68	48,04	51,63
Höhe über N. N. [m]	510	844	330	760
Jahresmitteltemperatur [°C]	6,0	7,6	6,0	8,5
Jahresniederschlag [mm]	800	1255	670	1.200

Tabelle 1: Anzahl der verwendeten Versuchsparzellen und Spanne (Minimum – Maximum) der geografischen Position, Meereshöhe, Jahresmitteltemperatur und Jahresniederschlag.

	Fichte		Buche	
	min	max	min	max
Anzahl Parzellen	24		13	
Erste Aufnahme [Jahr]	1882	1993	1870	1991
Letzte Aufnahme [Jahr]	1963	2012	1936	2010
Anzahl Aufnahmen [n]	3	18	4	18
Alter bei der letzten Aufnahme [Jahre]	28	143	65	188
Oberhöhe (ho) [m] letzte Aufnahme	15,0	44,4	28,7	38,6
N [ha <sup>-1</sup> ] letzte Aufnahme	210	2.333	170	924
Bonität [m] letzte Aufn.	28,7	42,8	23,5	37,6
dq [cm] letzte Aufnahme	12,6	50,7	21,6	45,8
V (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) letzte Aufn.	135	1.637	366	1.119
PAI (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> J <sup>-1</sup> ) l. Aufn.	10,1	39,8	7,9	21,2
YT (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) letzte Aufn.	160	2.433	531	1.460

Tabelle 2: Zusammenfassung wichtiger Bestandscharakteristika der verwendeten Versuchsparzellen. ho: Oberhöhe, N: Baumzahl/ha, Bonität: Oberhöhe im Alter 100 nach den Ertragstabellen von Assmann und Franz (1963) bzw. Schober (1970), dq: Durchmesser des Grundflächenmittelstamms, V: aufstockendes Holzvolumen, PAI: periodischer jährlicher Zuwachs, YT: Gesamtwuchsleistung.

Diese Studie orientiert sich eng an den von der IUFRO definierten Standardvariablen (Pretzsch 2009) wie das oberirdische Volumen des Mittelstamms und der Bestandsvorrat. Biomassegrößen werden nicht verwendet. Hierdurch vermeiden wir zusätzliche Annahmen, wie sie für die Skalierung von Volumen zu Masse notwendig wären. Die Verwendung forstlicher Standardgrößen erfordert für fachfremde Leser folgende Definition: Der mittlere Baumdurchmesser  $d_q$  (cm) bezieht sich auf den Durchmesser in Brusthöhe (1,30m), der die durchschnittliche Kreisfläche aller Bäume pro Fläche repräsentiert. Die Oberhöhe  $h_o$  (m) bezeichnet die mittlere Höhe der 100 stärksten Bäume pro Hektar. Das mittlere Baumvolumen  $\bar{v}$  ( $m^3$ ) be-

zeichnet das durchschnittliche Stammvolumen eines Baumes im Bestand. Der jährliche Zuwachs des Mittelstamms  $i\bar{v}$  ( $m^3 J^{-1}$ ) wird analog zum mittleren Volumen  $\bar{v}$  als der durchschnittliche Volumenzuwachs eines Baums im Bestand berechnet. Der periodische jährliche Volumenzuwachs PAI ( $m^3 ha^{-1} J^{-1}$ ) und der stehende Bestandsvorrat  $V$  ( $m^3 J^{-1}$ ) betreffen den mittleren jährlichen Volumenzuwachs des Gesamtbestands im Intervall zwischen zwei Beobachtungen bzw. das akkumulierte Bestandsvolumen pro Hektar Bestandsfläche. Die Anzahlen der Bäume des verbleibenden Bestands ( $N ha^{-1}$ ) und der abgestorbenen Bäume ermöglichen die Kalkulation der jährlichen Mortalitätsrate auf Bestandesebene MORT ( $\% J^{-1}$ ).

Versuch/Parzellennummer	Bestandsalter bei letzter Aufnahme [J]	Geografische Lage		Höhe ü. N. N. [m]	Jahresmitteltemperatur [°C]	Jahresniederschlag [mm]	Bodenart Bodenfeuchte
		Östliche Länge	Nördliche Breite				
<b>Fichte</b>							
Sachsenried 2/1	122	10,75	47,85	820	6,2	1.255	Mäßig frischer, tiefgründiger Schluff
Sachsenried 3/1	116	10,76	47,85	830	6,2	1.204	Mäßig frischer, tiefgründiger Schluff
Denklingen 5/1	143	10,84	47,87	782	6,8	1.114	Mäßig frischer, tiefgründiger Schluff
Ottobeuren 8/1	113	10,40	47,88	660	7,0	1.100	Mäßig frischer, tiefgründiger Schluff
Sachsenried 67/1	131	10,75	47,83	843	6,2	1.204	Mäßig frischer, tiefgründiger Schluff
Sachsenried 68/1	130	10,75	47,83	844	6,2	1.204	Frischer, tiefgründiger Schluff
Eglharting 72/1	120	11,85	48,12	533	7,6	1.009	Mäßig frischer, sandiger Schluff
Eglharting 73/1	119	11,85	48,11	541	7,6	1.009	Mäßig frischer, sandiger Schluff
Sachsenried 602/1	46	10,76	47,85	820	6,2	1.200	Frischer, schluffiger Ton
Zusmarshausen 603/1,2,3	47	10,48	48,40	510	7,5	800	Mäßig frischer, sandiger Schluff
Eurach 605/7,8	55	11,34	47,78	600	7,2	1.173	Frischer Schluff
Denklingen 606/3,4	55	10,83	47,87	750	6,8	1.115	Frischer, Tiefgründiger Schluff
Sachsenried 607/10	53	10,82	47,87	775	6,8	1.115	Mäßig frischer, schluffiger Ton
Fürstfeldbruck 612/7,19	43	11,08	48,24	542	7,5	825	Mäßig frischer Schluff
Weißenburg 613/2,4,7	93	11,04	49,00	560	7,0	800	Frischer Schluff
Traunstein 639/1	41	12,67	47,94	590	7,3	1.200	Mäßig frischer, sandiger Schluff
<b>Buche</b>							
Kirchheimbolanden 11/1	114	7,92	49,62	640	8,0	690	Trockener, schluffiger Sand
Waldbrunn 14/1	145	11,19	49,71	360	8,5	700	Mäßig frischer Schluff
Fabriktschleichach 15/1	188	10,57	49,92	460	7,5	820	Frischer Sand
Elmstein 20/1	145	7,92	49,39	500	8,0	850	Trockener, schluffiger Sand
Lohr 24/1	162	9,51	49,99	500	7,0	1.000	Frischer Sand
Mittelsinn 25/1	170	9,52	50,20	510	7,0	1.020	Frischer Sand
Rothenbuch 26/1	144	9,43	49,97	450	7,0	1.050	Mäßig frischer Sand
Hain 27/1	172	9,33	49,99	400	7,0	1.080	Mäßig frischer Sand
Starnberg 91/2	78	11,38	48,04	620	7,5	1.041	Mäßig trockener, sandiger Schluff
Zwiesel 111/2,4	126	13,31	49,07	760	6,0	1.200	Mäßig trockener, sandiger-steiniger Schluff
Wieda 600/2	121	10,58	51,63	360	7,0	1.100	Frischer Schluff
Arnstein 638/1	65	9,98	49,90	330	8,0	670	Frischer, schluffiger Ton

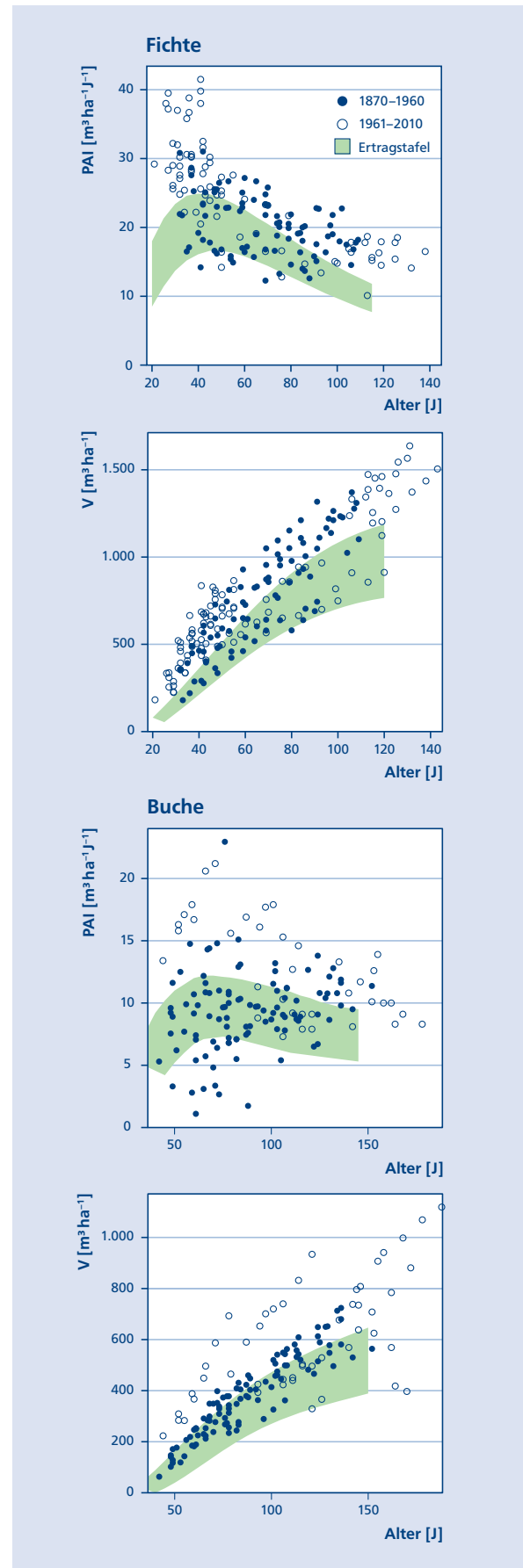
Tabelle 3: Standörtliche Charakteristika der verwendeten Versuchspartellen



## Wachstumstrends im Ertragstafelvergleich

Ertragstafeln, gängige Hilfsmittel der Forstwirtschaft, tabellieren mittlere Waldentwicklungen über das Alter und stammen überwiegend aus den Jahren 1795 bis 1965. Sie basieren in der Regel auf Daten langfristiger Versuchsflächen und repräsentieren deshalb Wuchsbedingungen und Bestandsdynamik in der Vergangenheit. Der Vergleich zwischen den auf unseren Flächen beobachteten Werten und den Ertragstafeln (Abbildung 1) zeigt insbesondere für die Wachstumsraten und den stehenden Vorrat nach 1960 (leere Symbole in Abbildung 1) Überschreitungen der Ertragstafelwerte um 50% bis 100%. Solche Abweichungen von Modellvorstellungen zeigen grundlegende Veränderungen der Wuchsbedingungen an und stellen die Gültigkeit der Ertragstafeln in Frage.

Abbildung 1: Beobachtete und erwartete Bestandsentwicklung von Fichte und Buche seit 1870. Gemessener periodischer Volumenzuwachs (PAI [ $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{J}^{-1}$ ]) und stehender Vorrat an Bestandsvolumen ( $V$  [ $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ]) bis 1960 (ausgefüllte Symbole) und nach 1960 (leere Symbole) verglichen mit gebräuchlichen Ertragstafeln (grün dargestellte Bereiche) für die Fichte (Oberhöhenbonitäten 32–40 nach Assmann und Franz [1963]) und für Buche (Ertragsklassen I–IV nach Schober [1970]).



**Umweltvariablen –  
Triebkräfte des Waldwachstums**

Für die Zeitperiode, die von unseren langfristigen Versuchsfächen abgedeckt wird, stellen wir Umweltvariablen zusammen, welche das Wachstum determinieren (Abbildung 2). Es wird deutlich, dass sich die Umwelt- und Wuchsbedingungen für Wälder seit Anlage der ersten Versuchsfächen im Jahre 1870 signifikant verändert haben. In dieser Periode ist die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration von 295 ppm im Jahre 1901 auf 390 ppm im Jahre 2010 angestiegen (Churkina et al. 2010; IPCC 2007).

Die mittlere Stickstoffdeposition hat sich von 2,5 kg ha<sup>-1</sup> J<sup>-1</sup> auf mehr als 9 kg ha<sup>-1</sup> J<sup>-1</sup> im ersten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts erhöht (Churkina et al. 2010). Die mittlere Lufttemperatur und der mittlere jährliche Niederschlag stiegen im 20. Jahrhundert um 1,0 °C

bzw. 9% an. Dabei verliefen der Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration, der N-Deposition und der Lufttemperatur in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts zwei bis dreimal schneller als in der ersten Hälfte (Abbildung 2, oben). Aus Temperaturzeitreihen und phänologischen Beobachtungen kann abgeleitet werden, dass sich die Vegetationszeit in den letzten 40 Jahren um 0,8 Tage pro Jahr verlängert hat (Abbildung 2, unten).

**Statistischer Nachweis der Wachstumstrends**

Der bemerkenswerte Anstieg der Bestandszuwächse seit 100 Jahren (Abbildung 1) und die gleichzeitige Zunahme der Ressourcenversorgung (Kohlendioxid und Stickstoff) in Kombination mit einer Verlängerung der Vegetationszeit und Veränderung der Klimavariablen

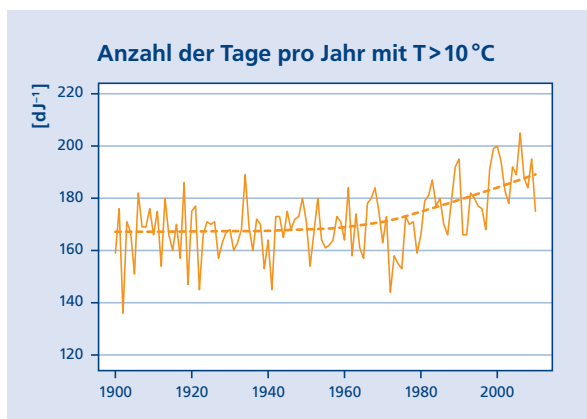
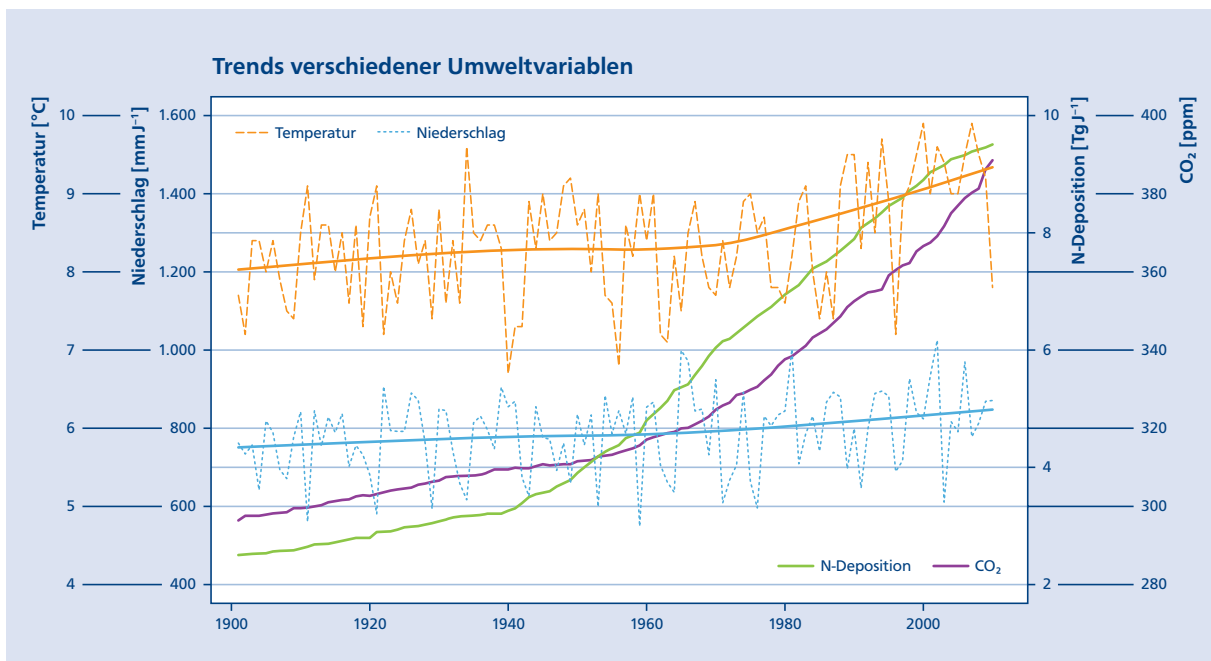


Abbildung 2: Veränderung der Wachstumsbedingungen in Mitteleuropa seit 1900;

oben: Trend der mittleren Jahrestemperatur und des Jahresniederschlags. Atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration und N-Deposition;

unten: Verlängerung der jährlichen Vegetationszeit, charakterisiert durch die Anzahl der Tage im Jahr mit Mitteltemperaturen > 10 °C.

Datenquellen: Churkina et al. (2010), Schönwiese et al. (2005).

(Abbildung 2) rechtfertigen eine statistische Analyse der beobachteten Wachstumstrends.

Zunächst prüfen wir, ob die Entwicklung der Bestandscharakteristika sich allein in Abhängigkeit vom Bestandsalter veränderte oder ob auch Zusammenhänge mit dem Kalenderjahr, das als Proxy-Variable den Zeittrend der veränderten Wuchsbedingungen repräsentiert, nachgewiesen werden können. Als Basismethode verwenden wir gemischte lineare Regressionsmodelle (Zuur et al. 2009; Pinheiro und Bates 2000) mit den situationsbedingt untransformierten oder logarithmierten Bestandscharakteristika als Responsevariablen und dem untransformierten oder logarithmierten Alter und dem Kalenderjahr als Prädiktorvariablen. Da viele der Messungen Wiederholungsaufnahmen auf ein und demselben Plot repräsentieren, wurden Zufallseffekte auf Ebene der Parzelle und der Versuchsfläche in das Modell aufgenommen, um Verfälschungen der Ergebnisse durch eventuell vorhandene Autokorrelationen auszuschließen.

Aufgrund der Geschichte des Forstlichen Versuchswesens sind die verschiedenen Kombinationen zwischen Bestandsalter und Kalenderjahr im Datenmaterial nicht in gleicher Weise repräsentiert. Vielmehr umfasst der Datenbestand für die jüngere Zeit viele Altbestände, während in den 1870er bis 1950er Jahren zumeist junge oder mittelalte Waldbestände unter Beobachtung standen. Insbesondere fehlen in der Gründerzeit des Versuchswesens Fichtenbestände im Alter über 60 Jahre und Buchenbestände über 130 Jahre, während sie in der Gegenwart das Flächennetz dominieren. Um Verzerrungen zu vermeiden, wurden die Regressionsmodelle deshalb bei der Fichte nur mit Daten bis zum Alter 60 und bei der Buche mit Beständen bis zum Alter 130 angepasst. Bei einer solchen Vorgehensweise sind historische wie gegenwärtige Wuchsbedingungen mit gleichem Gewicht durch junge und alte Bestände vertreten.

Die Analyse zeigt, dass der mittlere Baumdurchmesser  $dq$  und das Bestandsvolumen  $V$ , der mittlere Baumdurchmesser  $dq$ , die Oberhöhe  $ho$  (Mittlere Höhe der 100 höchsten Bäume pro ha) und das mittlere Baumvolumen gegenwärtig signifikant schneller wachsen als in der Vergangenheit (Abbildung 3). So wird unter den Wuchsbedingungen des Jahres 2010 ein gegebener Mitteldurchmesser um etwa ein bis zwei Jahrzehnte früher erreicht als noch 1960 (Abbildungen 3 und 4). Die Zunahme des mittleren periodischen Volumenzuwachses von 1960 bis 2010 beläuft sich auf 14% bei der

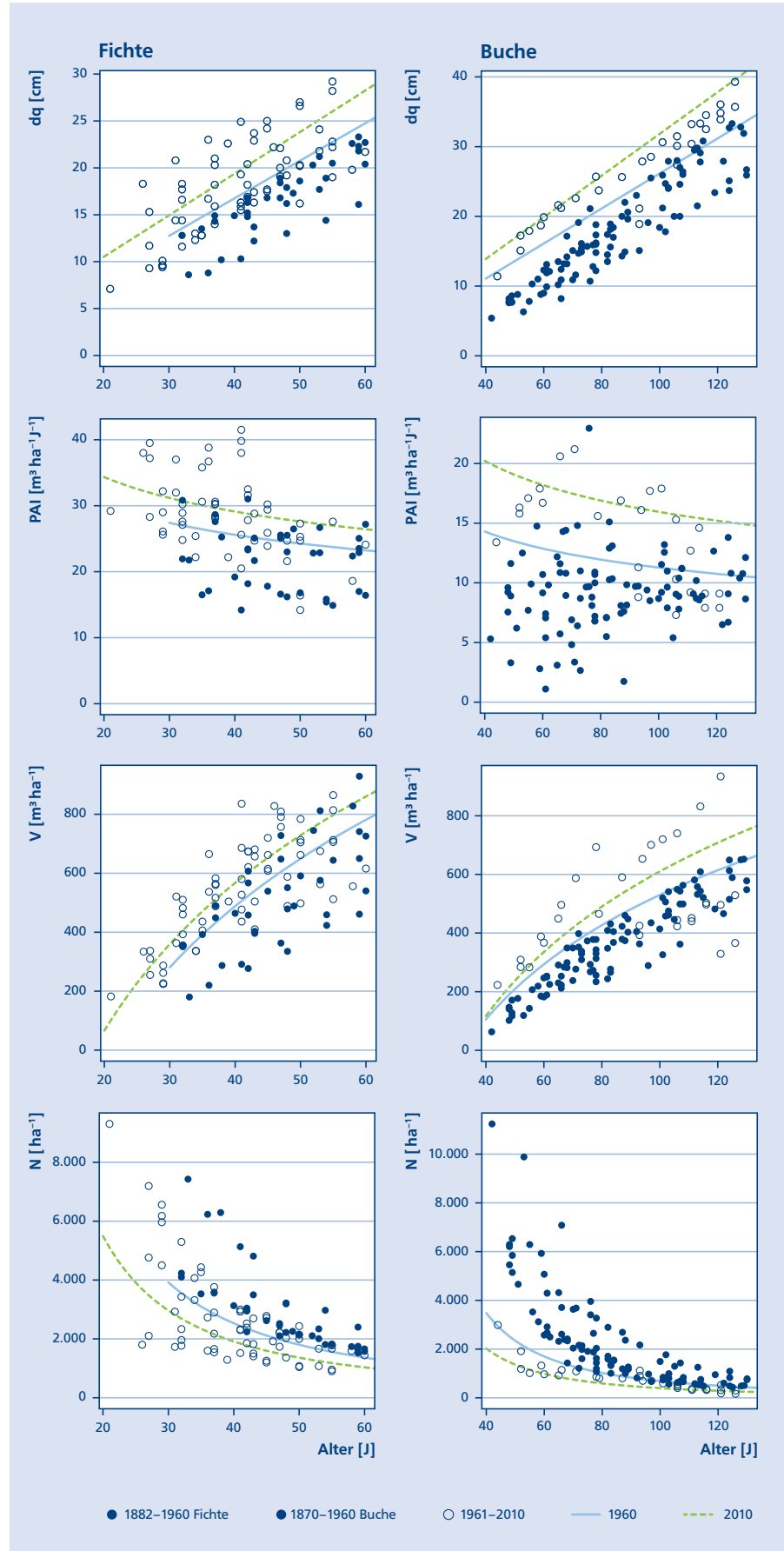
Fichte und 41% bei der Buche (Abbildung 3, Tabelle 4). Aus den Abbildungen 1 und 3 geht hervor, dass selbst die Altbestände gegenwärtig noch immer Volumen akkumulieren und noch nicht das Plateau eines konstanten Endvolumens erreicht haben. Während 1960 maximale Bestandsvolumina im Alter 60 bei der Fichte mit  $780\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$  und bei der Buche mit  $650\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$  erreicht waren, belaufen sich die gegenwärtig stehenden Volumina im gleichen Alter auf  $860\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$  bei der Fichte und  $750\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$  bei der Buche (Abbildung 3). Eine Konsequenz dieser Wuchsbeschleunigung ist eine schnellere Reduktion der Baumzahl pro Hektar (Abbildung 3) und eine Veränderung der Baum mortalität (Abbildung 4). Ein Vergleich zwischen 1960 und 2010 zeigt eine unveränderte Mortalitätsrate der Fichte, während sich die Mortalitätsrate der Buche um 21% reduziert (Tabelle 4). Während sich der Effekt des Kalenderjahrs auf die Entwicklung der mittleren Baumgröße, des Bestandszuwachses und der Volumenakkumulation durchwegs signifikant positiv auswirkte, war der Effekt auf die Baumzahl immer signifikant negativ auf dem Niveau  $p < 0,05$ .

	Änderung von 1960 zu 2010 in %	
	Fichte	Buche
Oberhöhe (ho)	<b>+7</b>	<b>+8</b>
Mitteldurchmesser (dq)	<b>+13</b>	<b>+23</b>
Mittleres Baumvolumen ( $\bar{v}$ )	<b>+56</b>	<b>+82</b>
Periodischer jährlicher Zuwachs (PAI)	<b>+14</b>	<b>+41</b>
Stehendes Holzvolumen (V)	<b>+8</b>	<b>+15</b>
Baumzahl/ha (N)	<b>-24</b>	<b>-42</b>
Mortalitätsrate (MORT)	Nicht signifikant	-21
Zuwachs des mittleren Baumvolumens ( $\bar{iv}$ )	<b>+53</b>	<b>+149</b>
Verschiebung der $i\bar{v}$ - $\bar{v}$ -Allometrie	<b>+20</b>	<b>+60</b>
Verschiebung der $N$ - $\bar{v}$ -Allometrie	Nicht signifikant	Nicht signifikant

Tabelle 4: Relative Änderung der Kennwerte 75-jähriger Waldbestände von 1960 zu 2010. Die hier gezeigten Ergebnisse wurden aus mit unseren Regressionsmodellen abgeleiteten Erwartungswerten hergeleitet. Wir zeigen ausschließlich Änderungen, die auf mit diesen Modellen festgestellten signifikanten Kalenderjahr-Effekten beruhen (Signifikanzniveaus  $p < 0,05$ : fett gedruckte Zahlen,  $p < 0,10$ : Zahlen im Normaldruck).

Abbildung 3:  
 Statistische Prüfung der Veränderung des Baum- und Bestandswachstums seit 1870. Gezeigt werden der mittlere Durchmesser  $dq$ , der mittlere periodische Volumenzuwachs auf Bestandsebene PAI, das stehende Volumen  $V$  und die Baumzahl  $N$  über dem Bestandsalter jeweils für Fichte und Buche.

Ausgefüllte Symbole: Beobachtungen bis 1960, leere Symbole: Beobachtungen nach 1960. Durchgezogene Linien: Modellvorhersagen für 1960, gestrichelte Linien: Modellvorhersagen für 2010. Die Vorhersagen basieren auf statistischen Analysen des Datenmaterials.





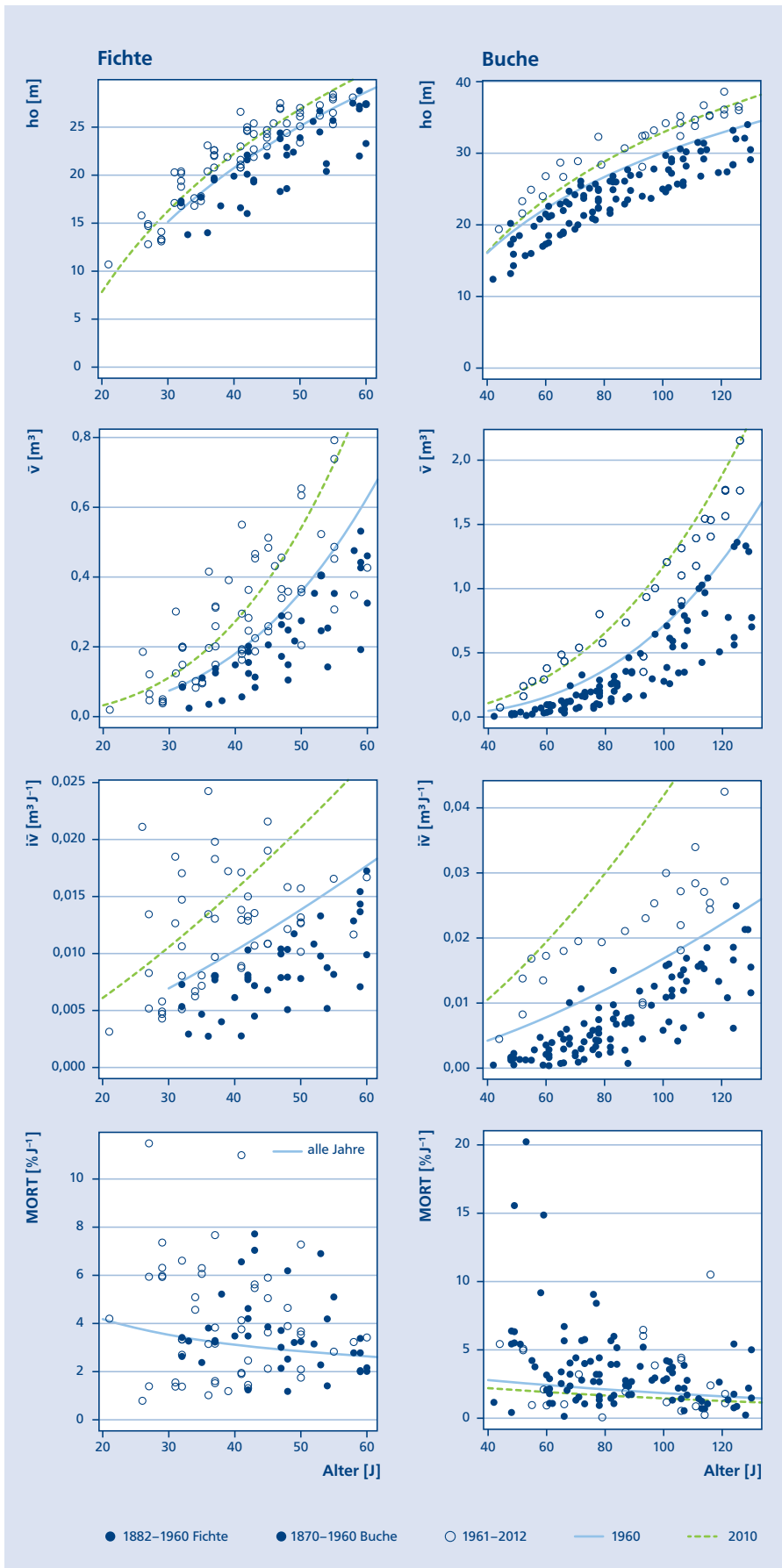


Abbildung 4: Statistische Prüfung der Veränderung des Baum- und Bestandswachstums seit 1870. Gezeigt werden die Oberhöhe  $h_o$ , das mittlere Baumvolumen  $\bar{v}$ , der jährliche Zuwachs des Mittelstamms  $\bar{i}v$  und jährliche Mortalitätsrate (MORT) über dem Bestandsalter jeweils für Fichte und Buche.

Ausgefüllte Symbole: Beobachtungen bis 1960, leere Symbole: Beobachtungen nach 1960. Durchgezogene Linien: Modellvorhersagen für 1960, gestrichelte Linien: Modellvorhersagen für 2010. Die Vorhersagen basieren auf statistischen Analysen des Datenmaterials.

### Veränderungen der Bestandsallometrie

Weiter prüfen wir, wie sich die Grundbeziehungen der Bestandsallometrie (Enquist und Niklas 2001; Pretzsch 2009; West et al. 2009), nämlich der allometrische Zusammenhang zwischen der mittleren Zuwachsrate  $i\bar{v}$  der Bäume und dem mittleren Baumvolumen  $\bar{v}$  ( $i\bar{v}$ - $\bar{v}$ -Beziehung) sowie die Beziehung zwischen Baumzahl  $N$  und mittlerem Baumvolumen  $\bar{v}$  ( $N$ - $\bar{v}$ -Beziehung, Selbstdurchforstungslinie) im Beobachtungszeitraum veränderten (Abbildung 5).

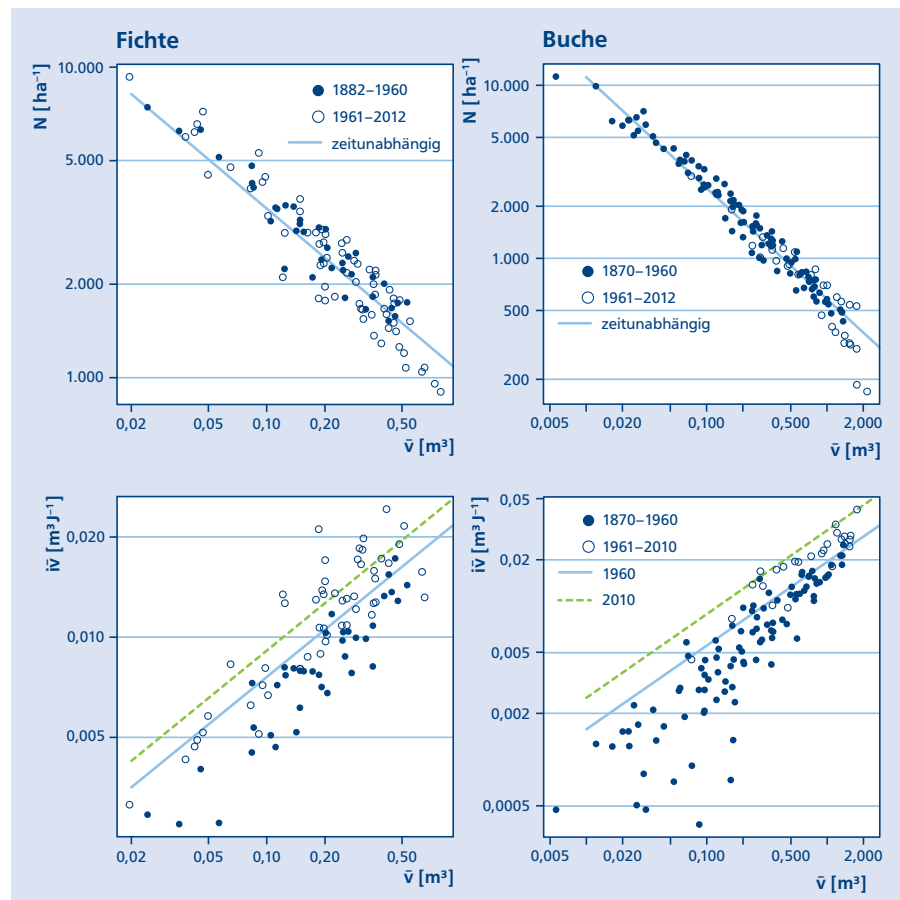
In gleicher Weise wie oben dargestellt verwenden wir lineare gemischte Modelle mit Zufallseffekten auf Versuchs- und Parzellenebene zur Berücksichtigung von Autokorrelationen. Im Fall der  $i\bar{v}$ - $\bar{v}$ -Beziehung ist die logarithmierte mittlere Zuwachsrate die Responsevariable, während das logarithmierte mittlere Baumvolumen und das Kalenderjahr sowie deren Wechselwirkung als Prädiktorvariablen verwendet werden. Analog wird in der  $N$ - $\bar{v}$ -Beziehung die logarithmierte Baumzahl als Responsevariable herangezogen, während das mittlere Baumvolumen zusammen mit dem Kalenderjahr in gleicher Weise wie oben dargestellt als Prädiktor fungiert. Signifikante Effekte des Kalenderjahrs zeigen

Unterschiede zwischen der historischen und der aktuellen Ausprägung der Bestandsallometrien an.

Diese statistische Analyse erbringt keine signifikante Veränderung der Selbstdurchforstungslinie mit dem Kalenderjahr, d.h. die Kapazitätsgrenze der Bestände blieb unverändert. Mit Blick auf die  $i\bar{v}$ - $\bar{v}$ -Beziehung konnte zwar keine Veränderung der Steigung dieses allometrischen Zusammenhangs festgestellt werden, allerdings hat sich die Höhenlage der  $i\bar{v}$ - $\bar{v}$ -Beziehung signifikant nach oben verschoben (Abbildung 5). Diese Parameterveränderung zeigt, dass sich die relative Zuwachsrate von 1960 bis 2010 bei der Fichte um 20% und der Buche um 60% gesteigert hat. Beide Arten zeigen ähnliche und konstante Steigungen der allometrischen  $i\bar{v}$ - $\bar{v}$ - und  $N$ - $\bar{v}$ -Beziehungen, wie das von der Theorie der metabolischen Skalierung (West et al. 2009) vorhergesagt wird.

Die Analysen zeigen, dass Waldbestände gegenwärtig schneller wachsen und daher in einer gegebenen Zeitspanne mehr Volumen akkumulieren als vor einem Jahrhundert. Sie entwickeln sich aber noch immer entlang denselben Selbstdurchforstungslinien wie in der Vergangenheit. Allerdings werden diese wesentlich

Abbildung 5: Grundbeziehungen der Bestandsallometrie in Vergangenheit und Gegenwart für Fichte und Buche. Zusammenhang zwischen der Baumzahl pro Hektar und dem mittleren Baumvolumen  $\bar{v}$  (oben) und zwischen dem mittleren Volumenzuwachs eines Baumes  $i\bar{v}$  und dem mittleren Baumvolumen  $\bar{v}$  (unten) jeweils in doppelt logarithmischem Koordinatensystem. Ausgefüllte Symbole: Beobachtungen bis 1960, leere Symbole: Beobachtungen nach 1960. Die Ergebnisse der statistischen Analyse zeigen, dass sich der Zusammenhang zwischen  $N$  und  $\bar{v}$  (durchgezogene Linie, oben) nicht verändert, der Zusammenhang  $i\bar{v}$ - $\bar{v}$  allerdings von 1960 (durchgezogene Linie, unten) bis 2010 (gestrichelte Linie, unten) eine Verlagerung erfährt.



schneller durchlaufen als vor 100 Jahren. Demnach basieren die Wachstumstrends im Wesentlichen auf einer veränderten Beziehung zwischen Baumgröße und Baumzuwachs, d. h. die Zuwachsrate änderte sich signifikant, nicht aber die mittlere Packungsdichte der Bäume. Bemerkenswert ist, dass sich die Veränderung der  $i\bar{v}$ - $\bar{v}$ -Relation nur in der Erhöhung der Höhenlage dieser Beziehung, nicht aber in der Veränderung ihrer Steigung äußert.

In Tabelle 4 verwenden wir das Alter 75 als Referenz, da es etwa der Umtriebszeit entspricht, und zeigen, wie sich die Bestandscharakteristika in diesem Alter von 1960 bis 2010 veränderten. Zu diesem Zweck wurden die beiden Kalenderjahre (1960, 2010) und das Bestandsalter (75 Jahre) in die zuvor statistisch angepassten gemischten Regressionsmodelle, die die Wachstumsveränderungen beschreiben, eingesetzt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Baumhöhe nur marginal veränderte, der mittlere Baumdurchmesser und das mittlere Baumvolumen aber eine deutliche Beschleunigung von 1960 zu 2010 aufweisen. Der Volumenzuwachs und die Akkumulation des stehenden Vorrats der Buche verlaufen um 41 % bzw. 15 % stärker, so dass die Baumzahl und Mortalität um 42 % bzw. 21 % schneller abfallen.

Der Befund, dass Bäume schneller wachsen, aber noch immer denselben Selbstdurchforstungslinien folgen, wird besonders offensichtlich durch die Erhöhung des Zuwachses des mittleren Baumvolumens um 53 %–149 % und die Erhöhung der Zuwachs-Größenallometrie ( $i\bar{v}$ - $\bar{v}$ -Beziehung) um 20 %–60 % bei gleichbleibender Selbstdurchforstungslinie. Die aufgezeigten Veränderungen bewegen sich in einer Größenordnung, die sowohl für die Waldökologie, als auch für die Waldbehandlung relevant sind.

### Modelle und Szenarioanalysen zur Ursachenklärung

Um die Mechanismen hinter den beobachteten Wachstumstrends aufzudecken, koppeln wir unsere empirischen Untersuchungen mit einem Simulationsexperiment, das auf zwei Wachstumssimulatoren gründet, namentlich dem ökophysiologischen Prozessmodell BALANCE (Pretzsch et al. 2008; Rötzer et al. 2013) und dem Hybridmodell SILVA (Pretzsch et al. 2002), das auf einer Kombination empirischer und theoretischer Ansätze beruht. Das erstgenannte Modell wurde eingesetzt, um die mittelfristigen Reaktionen von Baum und

Bestand auf Veränderungen der Umweltbedingungen im Detail zu analysieren, das letztgenannte Modell eignet sich zur längerfristigen Betrachtung von Wachstumstrends in aggregierter Form.

Beiden Modellen ist gemein, dass sie einen Waldbestand als räumlich-zeitliches System verstehen, das Verhalten des Bestands insgesamt aus dem Wachstum der Bäume und ihrer Interaktion ableiten und eine Abbildung des Bestandswachstums in Abhängigkeit von Klima- und Standortvariablen ermöglichen. Dabei beschreibt BALANCE das Baum- und Bestandswachstum anhand physiologischer Prozesse im Tages- bzw. 10-Tages-Takt. SILVA simuliert dagegen in 5-Jahres-Abständen und bildet den Zuwachs und die Mortalität von Baum und Bestand statistisch in Abhängigkeit von aggregierten Klima- und Standortvariablen ab. Während BALANCE in erster Linie als Forschungswerkzeug konzipiert ist, wird SILVA routinemäßig in der Forstplanung für Szenariorechnungen über Zeiträume von 30 bis 50 Jahren verwendet.

In ihrem jeweiligen Anwendungsbereich sind beide Modelle wiederholt auf ihre biologische Plausibilität und Prognosegenauigkeit geprüft worden (Pretzsch et al. 2002; Pretzsch 2009; Rötzer et al. 2010; Rötzer et al. 2013). Deshalb können sie im Kontext dieser Studie Hinweise auf die Kausalitäten hinter den beobachteten Wachstumstrends liefern.

Als Ausgangssituation für die Simulationen mit beiden Modellen wurden junge Reinbestände aus Fichte bzw. Buche eingesteuert, die in struktureller und standörtlicher Hinsicht für beide Arten typisch sind. Aktive Nutzungseingriffe unterblieben. Damit entsprechen die Szenarioanalysen bestmöglich den Beobachtungsbeständen, auf denen unsere empirische Analyse beruht.

Mit BALANCE wurde das Baum- und Bestandswachstum auf täglicher Basis über 30 Jahre simuliert. Für die Szenarioanalysen wurden unterschiedliche Entwicklungsgänge für Klima, CO<sub>2</sub> und N-Deposition ausgewählt. Das Referenzszenario basiert auf dem für Mitteleuropa typischen Klima von 1901–1930 und verwendet auch die für diese Periode gültige CO<sub>2</sub>-Konzentration und N-Deposition. In den weiteren Szenarien wurden zunächst die Klimabedingungen auf jene der Periode 1981–2010 verändert, dann die angestiegene CO<sub>2</sub>-Konzentration eingefügt und die gestiegene N-Deposition eingesteuert, so dass das letzte Szenario den gegenwärtigen Wuchsbedingungen entspricht. Die Szenarioanalysen mit SILVA reichen bei der Fichte bis zum

Alter 120 Jahre und bei der Buche bis zum Alter 160 Jahre, wobei von drei Konstellationen der Umweltbedingungen ausgegangen wurde. Jedes dieser Szenarien wurde in SILVA eingesteuert, dessen Standortleistungsmodell auf drei Variablengruppen basiert:

- Variablen der Nährstoffversorgung
- Charakteristika von Temperatur und Strahlung
- Charakteristika der Wasserversorgung

Unser Referenzszenario, im Folgenden »1901–1930« genannt, basiert auf den in Abbildung 2 dargestellten Umweltbedingungen in dieser Zeit, deren Durchschnittswerte für den gesamten Simulationszeitraum als konstant vorgegeben wurden. Das zweite Szenario, »1981–2010«, verwendet dagegen in analoger Weise die Umweltbedingungen für den Zeitraum 1981–2010. Um den Effekt steigender Temperaturen von dem anderer Umweltvariablen trennen zu können, wurde ein drittes Szenario »1981–2010 nur Temperatur« definiert, welches ausschließlich die Variablen, die mit Temperaturen verbunden sind, auf die Werte von 1981–2010 setzt. Alle anderen Variablen werden in der Einstellung von 1901–1930 belassen. Weil zwischen den Perioden 1901–1930 und 1981–2010 Niederschläge kaum variierten, müssen Ergebnisunterschiede zwischen dem

dritten und zweiten Szenario auf Änderungen der Nährstoffversorgung und atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration sowie N-Deposition zurückzuführen sein (Abbildung 2). Durch diese Vorgehensweise können nach dem Ausschlussprinzip Indizien für die Ursachen hinter den Wachstumstrends isoliert werden.

Die Simulationsläufe mit BALANCE erbrachten für die Buche und noch deutlicher für die Fichte, dass Zuwachs und Vorräte merklich zurückgehen (Reduktion auf 84% bzw. 50%), wenn in den Simulationsszenarien die historischen Wuchsbedingungen lediglich durch die gegenwärtigen Klimabedingungen ersetzt werden (Abbildung 6). Damit zeigen die Modellläufe, dass alleine durch die Klimaveränderungen die positiven Wachstumstrends nicht erklärt werden können. Werden aber die gegenwärtig höhere CO<sub>2</sub>-Konzentration und die erhöhte N-Deposition miteingesteuert, übertreffen die Volumina von Buche und Fichte deutlich das historische Niveau. Im 30-jährigen Durchschnitt liegt nach den Modellläufen der Volumenzuwachs bei der Fichte um 12% und bei der Buche um 18% höher als im Referenzzeitraum für historische Bedingungen (1901–1930, Abbildung 6).

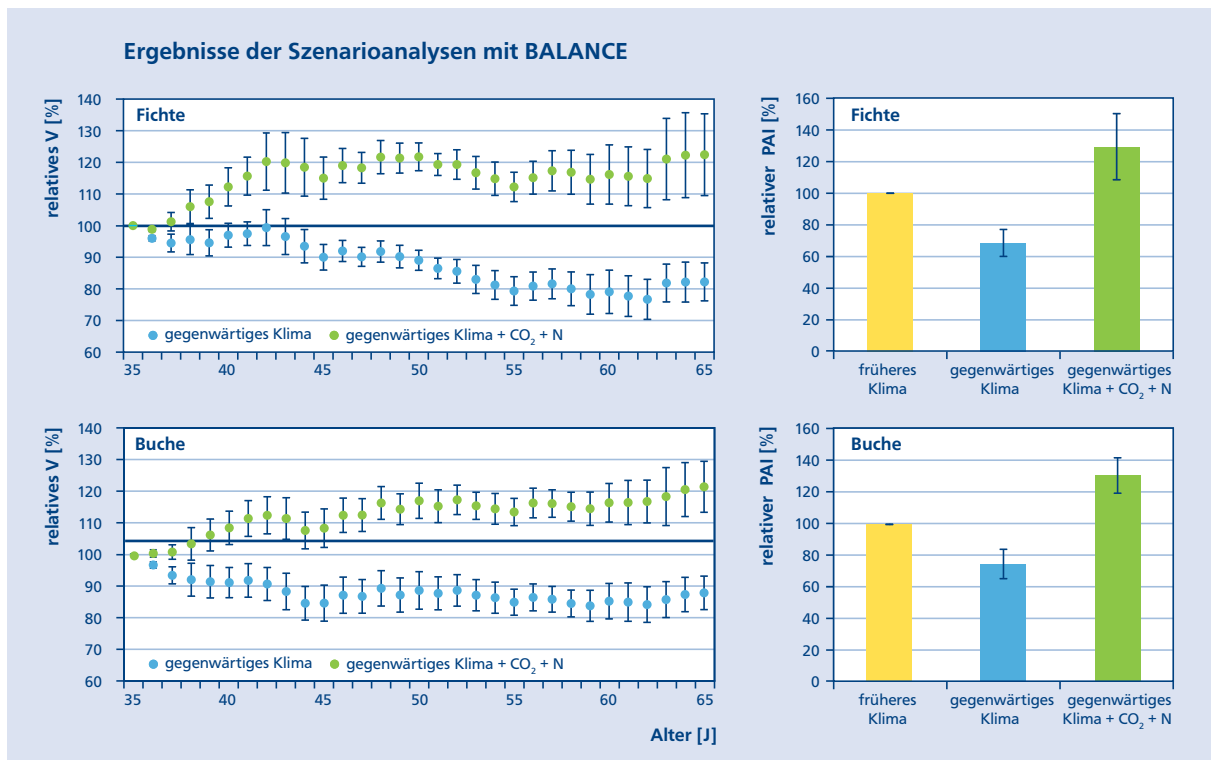


Abbildung 6: Simuliertes Bestandsvolumen V und periodischer Volumenzuwachs PAI für Fichte (oben) und Buche (unten) über 30 Jahre für gegenwärtige Klimabedingungen (1981–2010) sowie gegenwärtige Klimabedingungen mit zusätzlicher Veränderung der CO<sub>2</sub>-Konzentration mit gesteigerter N-Deposition bezogen auf das simulierte Wuchsverhalten unter den Klimabedingungen von 1901–1930 als 100%-Basis).



Mit dem Modell SILVA konnten langfristige Wachstumsreaktionen simuliert werden, die in Richtung und Ausmaß den beobachteten Trends sehr nahe kommen (Abbildungen 3 und 7). Unter gegenwärtigen Umweltbedingungen zeigen beide Baumarten ein beschleunigtes Durchmesserwachstum, einen höheren periodischen Bestandszuwachs sowie ein höheres Bestandsvolumen. Dagegen nimmt die Baumzahl pro Hektar von der historischen zur gegenwärtigen Zeitperiode deutlich ab. Diese Effekte sind bei der Buche stärker ausgeprägt als bei der Fichte. Bemerkenswerterweise zeigt ein drittes Szenario, in welchem nur die temperaturbezogenen Wuchsbedingungen auf die aktuellen Werte gesetzt und die anderen Umweltvariablen auf historischem Level belassen wurden, keine Wachstumstrends gegenüber 1901–1930 für die Buche und ein deutlich gehemmtes Wachstum für die Fichte (Abbildung 7). Demnach legen die Szenarioanalysen nahe, dass die Temperaturzunahme kaum die Ursache für die Wachstumssteigerungen sein dürfte. Weil die Temperaturanstiege nicht mit erhöhten Niederschlägen verbunden sind (Abbildung 2), wirken sie vermutlich wegen steigender Evaporation negativ auf das Wachstum der Fichte, welche in Regionen mit guter Wasserversorgung ihre natürliche Verbreitung hat (Tjoelker et al. 2007). Das wiederum lässt vermuten, dass die verbesserte Versorgung mit Stickstoff und CO<sub>2</sub> die entscheidende Ursache hinter den beobachteten Wachstumstrends darstellt. Im Fall der Fichte vermag die verbesserte Nährstoffversorgung offensichtlich den leicht ansteigenden Wasserstress zu kompensieren bzw. zu überkompensieren. Diese Modellergebnisse korrespondieren gut mit jenen von BALANCE, die auf einem völlig anderen Modellierungskonzept und einer anderen Datenbasis beruhen.

### Langfristige Versuchsflächen, Modelle und Walddynamik im Anthropozän

Während bisherige Studien auf der Ebene des Einzelbaums ansetzten, um Wachstumstrends zu identifizieren (Kahle 2008), stellt unsere Untersuchung den Effekt der veränderten Wuchsbedingungen auf Bestandsebene und damit seine Relevanz für die Forstwirtschaft dar. Die Länge der Beobachtungszeit von mehr als einem Jahrhundert erlaubt gut fundierte Vergleiche zwischen früherem und gegenwärtigem Wachstum an gleichen Wuchsorten. Weil die Studie auf unbehandelten, voll bestockten Beständen gründet, wurden eventuelle Wachstumstrends nicht »wegdurchforstet«. Vielmehr repräsentieren die untersuchten

Bestände die Auswirkungen von Umweltveränderungen auf Baum- und Bestandsebene bei maximaler Bestandsdichte. Die Entwicklung von Bäumen und Beständen vollzieht sich eher in Abhängigkeit von der Ressourcenverfügbarkeit und weniger in Abhängigkeit vom Alter (Enquist und Niklas 2001). Verbesserte Ressourcenverfügbarkeit in Form von Stickstoff und Kohlendioxid lässt die Bäume und Bestände somit schlichtweg schneller altern. Wie von der allometrischen Theorie vorhergesagt (Enquist und Niklas 2001; West et al. 2009), erweisen sich die allometrischen Trajektorien als konstant (Harper 1977), die Bestände wachsen aber schneller entlang dieser Trajektorien. Die Konstanz der Selbstdurchforstungslinie, die die Tragfähigkeit eines Standorts charakterisiert, belegt, dass der Vorrat an Ressourcen gegenwärtig kaum höher ist, jedoch der Turnover und die Wachstumsgeschwindigkeit zugenommen haben. Das korrespondiert mit den Ergebnissen von Messungen des Normalized Differenced Vegetation Index (NDVI), welche zeigen, dass zwar die Dauer und Effizienz der Fotosynthese zugenommen haben, dass dies aber nicht auf einer angestiegenen Blattfläche oder Bestandsdichte beruht (Myneni et al 2001; Hicke et al. 2002).

Durch Kombination von statistischen und modellbasierten Analysen gelingt die folgende Differenzialdiagnose, warum Waldbestände in Mitteleuropa ihr Wachstum beschleunigt haben. Die Szenarioanalysen mit beiden Modellen belegen, dass Änderungen von Temperatur und Niederschlag sowie die Verlängerung der Vegetationsperiode alleine die aufgedeckten Wachstumstrends von Fichte und Buche nicht erklären können. Ohne den Düngungseffekt der erhöhten N-Deposition und ohne Einbeziehung der angestiegenen atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration können die beobachteten Veränderungen von Zuwachs und Vorrat nicht vorhergesagt werden. Die erhöhte atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration und N-Deposition scheinen simultan zwei wachstumslimitierende Faktoren auf unseren langfristigen Versuchsflächen zu beseitigen. Die einzige uns bekannte experimentelle Wachstumsstimulation erwachsener Bäume durch Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration wurde mit historischer und erhöhter (530 ppm) CO<sub>2</sub>-Konzentration über einen Zeitraum von nur vier Jahren vorgenommen (Körner et al. 2005). Demgegenüber basieren unsere Ergebnisse auf langfristigen Wachstumsreaktionen ganzer Bestände mit historischen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen von 295 ppm und gegenwärtigen Konzentrationen von ca. 390 ppm.

Abbildung 7: Ergebnisse der Szenarioanalysen mit SILVA; simulierte Entwicklung des mittleren Baumdurchmessers  $dq$ , des periodischen Volumenzuwachses des Bestands PAI, des Bestandsvolumens  $V$ , der Baumzahl  $N$  über dem Bestandsalter für Fichte und Buche. Durchgezogene Linien: historische Umweltbedingungen (1901–1930), gebrochene Linie: gegenwärtige Umweltbedingungen (1981–2010), punktierte Linie: Annahme, dass sich nur die Temperatur, nicht aber andere Umweltvariablen auf das Niveau von 1981–2010 verändert haben (1981–2010 nur Temperatur). Jede Linie repräsentiert das Mittel von fünfmal wiederholten Szenariorechnungen.



Die angestiegene CO<sub>2</sub>-Konzentration kann die fotosynthetische Aktivität steigern, die Lichtnutzungs-Effizienz erhöhen und den Lichtkompensationspunkt verringern (Granados und Körner 2002). Dass die in etwa verdreifachte N-Deposition auf unseren Versuchsflächen eine Schlüsselrolle zur Erklärung der Wachstumstrends in den letzten Jahrzehnten spielt, wird durch die Szenarioanalysen mit beiden Modellen bestätigt. Erhöhte N-Versorgung kann die Produktivität und Wassernutzungseffizienz erhöhen und so Beeinträchtigungen des Wachstums durch Klimaänderungen in Richtung warm und trocken verringern. Höhere CO<sub>2</sub>-Konzentrationen können allerdings eine Verringerung der N-Konzentration in Blättern herbeiführen (Ainsworth und Long 2005), was unter anderem an erhöhten Kohlenhydratkonzentrationen und verringerter Aufnahme von Mineralstoffen aus dem Boden liegt (Taub und Wang 2008). Gesteigerte N-Depositionen, wie sie in den letzten Jahrzehnten auftraten, können diese Effekte allerdings überlagern, die N-Versorgung trotz erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration verbessern und den Zuwachs erhöhen.

Fichte wie Buche profitieren von der erhöhten CO<sub>2</sub>- und N-Versorgung. Die artspezifischen Reaktionsmuster werden durch die Modellszenarien plausibel. Da die Fichte stärker durch geringe Wasserversorgung und höhere Temperaturen im Zuwachs limitiert wird als die Buche, wird die Fähigkeit der Fichte, von den verbesserten CO<sub>2</sub>- und N-Konzentrationen zu profitieren, reduziert. Vermutlich aufgrund dieser stärkeren Limitierung durch Wasser und Wärme fällt die Mortalität der Fichte gegenwärtig so hoch aus wie in der Vergangenheit (Pretzsch 2009; Tjoelker et al. 2007). In Buchenbeständen mit ihrer wesentlich breiteren Kronenschicht könnte sich der Anstieg oder frühere Beginn der fotosynthetischen Aktivität im Bereich der Schattenkrone positiv auf das Wachstum auswirken (Granados und Körner 2002). Die Verlängerung der Vegetationszeit mindert wachstumssenkende Klimaeffekte, wie z. B. Anstieg der Temperatur und Verringerung des Sommerniederschlags, bei Buche stärker als bei Fichte. Die immergrüne Fichte war schon immer dazu in der Lage, milde Perioden im Winter und Herbst durch Zuwachs zu nutzen, während die Buche nun durch verlängerte Laubpräsenz erst Zugang zu Ressourcen in bisher nicht nutzbaren Zeiten erhält.

Das schnellere Wachstum und die schnelle Alterung von Bäumen und Wäldern verlangt allen mit ihnen verbundenen Organismen einschließlich der Menschen eine Anpassung ab. Für alle Pflanzen und Tiere, deren Habitate von speziellen Waldentwicklungspha-

sen und -strukturen abhängen, beeinflusst beschleunigtes Wachstum ihre Lebensbedingungen und zwingt sie zu höherer Mobilität (Walther et al. 2002). Weil die Buche stärker durch die veränderten Wuchsbedingungen angeregt wird, könnte die Fichte auf lange Sicht der Verlierer sein. Der Mensch kann von dem schnelleren Wachstum durch erhöhte Kohlenstoffbindung aber auch forstwirtschaftlich profitieren. Aufgrund der beschleunigten Größenentwicklung werden Zieldurchmesser und zuwachsoptimale Umtriebszeiten früher als in der Vergangenheit erreicht. Auf das erhöhte Zuwachsniveau kann die Forstwirtschaft mit Anhebung der Nutzungssätze reagieren. Der Befund, dass die gegenwärtigen Wachstumstrends höhere Bestockungsdichten erlauben, bedeutet, dass zu starke Durchforstungen die erhöhte Produktivität teilweise verschenken. Indem definierte Baumgrößen, Bestandsvolumina und Mortalitätsraten 20 bis 30 Jahre früher erreicht werden als in der Vergangenheit, werden altersbasierte Erfahrungswerte, Ertragstabellen und andere Modelle, die das Wachstum von Beständen in Abhängigkeit vom Alter betrachten, ungültig (Pretzsch 2009). Risikobehaftete Entwicklungsphasen werden ebenfalls schneller durchlaufen als in der Vergangenheit. Die Verkürzung von Umtriebszeiten kann in diesem Zusammenhang eine Reduktion der Risikobelastung von Wäldern durch Schäden wie Windwurf, Borkenkäferkalamitäten oder Schneebruch bedeuten.

Unter der Annahme, dass die Wuchsbeschleunigung durch erhöhte Ressourcenversorgung innerhalb der Vegetationsperiode und einer Ausdehnung der Länge der Vegetationszeit verursacht wird, dürften ähnliche Wachstumstrends für eine Region von ca. 45 · 10<sup>6</sup> ha von Norddeutschland bis Slowenien und von Frankreich bis Ungarn zu erwarten sein (IPCC 2007). Weil unsere Befunde durchweg auf unbehandelten Waldbeständen beruhen und in vielen Fällen Vor- und Folgegeneration an gleichem Wuchsort stocken und damit gleiche Genotypen repräsentieren, scheiden Veränderungen der waldbaulichen Bewirtschaftung oder genetische Veränderungen als Ursachen der Wachstumstrends aus. In aktiv bewirtschafteten Wäldern in Mitteleuropa dürften derartige Entwicklungen den Wachstumstrend eher verstärken. Andere mitteleuropäische Arten wie Traubeneiche, Stieleiche und Kiefer, die auf noch ärmeren Standorten wachsen als Fichte und Buche, lassen noch stärker positiv gerichtete Wachstumstrends erwarten, da bei ihnen der Grenznutzen der Nährstoffimporte für das Wachstum noch höher ist.

Die seit einigen Dekaden steigenden Zuwachsraten, Bestandsvorräte und Erntemengen erhöhten vermutlich die Kohlenstoffbindung in mitteleuropäischen Wäldern. Für eine überschlägige Abschätzung nehmen wir eine Steigerung des jährlichen Volumenzuwachses von  $4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ J}^{-1}$  (entspricht in etwa 1 t Kohlenstoff) auf einer Fläche von 45 Mio. ha an, was gleichbedeutend mit einer zusätzlichen Kohlenstoffsequestrierung von 45 Mio. t Kohlenstoff pro Jahr ist. Die aufgrund der erhöhten Zuwachsraten intensivierte Ernte kann aber neue lokale Probleme verursachen, wie etwa einen mit der historischen Streunutzung vergleichbaren Export mineralischer Nährstoffe. Ob die gegenwärtig positiven Wachstumstrends in Zukunft aufgrund von Klimaveränderungen in negative Trends umschlagen (IPCC 2007), erfordert wiederum langfristige Beobachtungen auf Versuchsflächen zur Indikation, Analyse und zum Verstehen von Wachstumsveränderungen.

Für dieselbe Zeit, in welcher die Angst vor einem Kollaps von Waldökosystemen durch das »Waldsterben« und die Klimaveränderungen die öffentliche Debatte dominierte (IPCC 2007), zeigen die kontinuierlichen Aufzeichnungen auf langfristigen Beobachtungsflächen eine signifikante Beschleunigung des Waldwachstums in Mitteleuropa. Solche Flächen gehen zurück auf Hans Carl von Carlowitz und andere Gründerväter der Forstwirtschaft, die damit die quantitative Untermauerung nachhaltigen forstlichen Handelns auf regionaler Ebene anstrebten. Leider wurden viele der in der Gründerzeit angelegten langfristigen Versuchsflächen mit dem Aufkommen großflächiger Forstinventuren aufgegeben. Dagegen unterstreicht unsere Studie den nach wie vor einmaligen und unverzichtbaren Beitrag unbehandelter langfristiger Beobachtungsflächen, zum regionalen aber auch globalen Monitoring von Waldökosystemen, zur Waldökosystemforschung und zur Umweltpolitik. Auch noch 300 Jahre nachdem Hans Carl von Carlowitz die Idee der Nachhaltigkeit mit seiner *Sylvicultura Oeconomica* im Jahre 1713 in die Forstwirtschaft einbrachte, dienen langfristige Versuchsflächen als herausragender Indizienbeweis für die langfristigen Einflüsse des Menschen auf Waldökosysteme im Anthropozän.

## Literatur

Ainsworth, E.A.; Long, S.P. (2005): What have we learned from 15 years of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO<sub>2</sub>. *New Phytologist* 165, S. 351–372

Assmann, E.; Franz, F. (1963): Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. In: Hilfstafeln für die Forsteinrichtung. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1990), S. 52–63

Ballantyne, A.P.; Alden, C.B.; Miller, J.B.; Tans, P.P.; White, J.W.C. (2012): Increase in observed net carbon dioxide uptake by land and oceans during the past 50 years. *Nature* 488, S. 70–73

Carlowitz, v. H.C. (1713): *Sylvicultura Oeconomica* oder Haußwirthliche Nachricht und Naturmäßige Anweisung zur wilden Baum-Zucht. JF Braun, Leipzig, 430 S.

Chmielewski, F.-M.; Rötzer, T. (2001): Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology* 108, S. 101–112

Churkina, G. et al. (2010): Interactions between nitrogen deposition, land cover conversion, and climate change determine the contemporary carbon balance of Europe. *Biogeoscience* 7, S. 2749–2764

Crutzen, P.J. (2002): Geology of mankind. *Nature* 415, S. 23

Enquist, B.J.; Niklas, K.J. (2001): Invariant scaling relations across tree-dominated communities. *Nature* 410, S. 655–660

Ganghofer, v. A. (1881): *Das Forstliche Versuchswesen*. Band I, Augsburg, 505 S.

Granados, J.; Körner, C. (2002): In deep shade, elevated CO<sub>2</sub> increases the vigor of tropical climbing plants. *Glob. Change Biol.* 8, S. 1109–1117

Harper, J.L. (1977): *Population Biology of Plants*. Academic Press, London, New York

Hartig, G.L. (1795): *Anweisung zu Taxation der Forsten oder zur Bestimmung des Holzertrages der Wälder*. Heyer Verlag, Gießen, 166 S.

Hicke, J.A.; Asner, G.P.; Randerson, J.T.; Tucker, C.; Los, S.; Birdsey, R.; Jenkins, J.C.; Field, C.; Holland, E. (2002): Satellite-derived increases in net primary productivity across North America, 1982–1998. *Geophysical Research Letters*, 29 (10); 691–694.

IPCC (2007): Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Working Group I Report. The Physical Science Basis, Geneva, Switzerland, 104 S.

Kahle, H.P. et al. (2008): Causes and Consequences of Forest Growth trends in Europe. *European Forest Institute Research Report* 21, Brill, Leiden, Bosten

Kauppi, P.E.; Mielikäinen, K.; Kuusela, K. (1992): Biomass and carbon budget of European forests, 1971 to 1990, *Science* 256: 70–74.

Körner, C. et al. (2005): Carbon flux and growth in mature deciduous forest trees exposed to elevated CO<sub>2</sub>. *Science* 309, S. 1360–1362

Magnani, F. et al. (2007): The human footprint in the carbon cycle of temperate and boreal forests. *Nature* 447, S. 848–850

- Menzel, A.; Fabian, P. (1999): Growing season extended in Europe. *Nature* 397, S. 659
- Myneni, R.B.; Dong, J.; Tucker, C.J.; Kaufmann, R.K.; Kauppi, P.E.; Liski, J.; Zhou, L.; Alexeyev, V.; Hughes, M.K. (2001): A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests. *PNAS* 98(26), S. 14784–14789
- Pinheiro, J.C.; Bates, D.M. (2000): *Mixed-Effects Models in S and S-PLUS*. Springer, 528 S.
- Pretzsch, H.; Biber, P.; Schütze, G.; Uhl, E.; Rötzer, T. (2014): Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. *Nat. Commun.* 5:4967, doi: 10.1038/ncomms 5967
- Pretzsch, H. (2009): *Forest dynamics, Growth and Yield*. Springer, Berlin, Heidelberg, 664 S.
- Pretzsch, H.; Grote, R.; Reineking, B.; Rötzer, T.; Seifert, S. (2008): Models for forest ecosystem management: A European perspective. *Ann Bot* 101, S. 1065–1087
- Pretzsch, H.; Biber, P.; Ďurský, J. (2002): The single tree based stand simulator SILVA. Construction, application and evaluation. *Forest Eco Manage* 162, S. 3–21
- Rötzer, T.; Liao, Y.; Klein, D.; Zimmermann, L.; Schulz, C. (2013): Modellierung des Biomassezuwachses an bayerischen Waldklimastationen unter gegebenen und möglichen zukünftigen Klimabedingungen. *AFJZ* 184-11/12: S. 263–277
- Rötzer, T.; Leuchner, M.; Nunn, A.J. (2010): Simulating stand climate, phenology, and photosynthesis of a forest stand with a process based growth model. *Int. J. Biometeorology* 54/4: S. 449–464
- Schönwiese, C.D.; Staeger, T.; Trömel, S. (2005): *Klimawandel und Extremereignisse in Deutschland*. Deutscher Wetterdienst (Hrsg.): *Klimastatusbericht 2005*, Selbstverlag Deutscher Wetterdienst, Offenbach, 191 S.
- Schellnhuber, H.J. (1999): 'Earth system' analysis and the second Copernican revolution. *Nature* 402:C19-C23
- Schober, R. (1970): *Ertragstabellen wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung*. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M. 154 S.
- Spiecker, H.; Mielikäinen, K.; Köhl, M.; Skovsgaard, J.P. [Hrsg.] (1996): *Growth trends in European forests*. *Europ For Inst, Res Rep* 5, Springer-Verlag, Heidelberg, 372 S.
- Taub, D.R.; Wang, X.Z. (2008): Why are nitrogen concentrations in plant tissues lower under elevated CO<sub>2</sub>? A critical examination of the hypotheses. *J. Integrative Plant Biology* 50, S. 1365–1374
- Tjoelker, M.G.; Boratynski, A.; Bugala, W. (2007): *Biology and Ecology of Norway Spruce*. Springer, 496 S.
- Ulrich, B. (1990): Waldsterben: forest decline in West Germany. *Environ. Sci. Technol.*, 24 (4), S. 436–441
- Walther, G.R.; Post, E.; Convey, P.; Menzel, A.; Parmesan, C.; BeeBee, T.J.C.; Fromention, J.-M.; Hoegh-Guldberg, O.; Bairlein, F. (2002): Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416, S. 389–395
- West, G.B.; Enquist, B.J.; Brown, J.H. (2009): A general quantitative theory of forest structure and dynamics. *PNAS* 106(17), S. 7040–7045
- Zuur, A.F.; Ieno, E.N.; Walker, N.J.; Saveliev, A.A.; Smith, G.M. (2009): *Mixed Effects Models and extensions in Ecology in R*. Springer, 574 S.

**Keywords:** Growth trends, long-term research plots, Climate Change, Anthropocene

**Summary:** We are living in the Anthropocene, an epoch characterized by escalating effects of humans on the earth and its ecosystems. Forest ecosystems, which cover more than 30% of the land surface in Europe have been increasingly exposed to climate change for over 100 years. While only two decades ago the »Waldsterben« (forest die-back) seemed to question the survival of forest ecosystems on large areas, presently phenologic observations, NDVI sensing, and inventories indicate rather rapidly growing than collapsing forests in Europe. Here, we show that currently tree size growth, stand volume growth, and accumulation of standing stock of the main tree species in Central Europe proceed about 50%–100% faster than in the past. As forest stands develop faster, their tree number, stand density and mortality are currently 25% lower than in stands of the same age in the past. Stands still follow similar general rules of tree and stand allometry, for example the volume reached at a given stand height did not change, however, given tree and stand values are achieved earlier. In order to better understand the reasons behind the changing stand dynamics we compile concurrent trends of climate change and apply them for scenario analyses with state-of-the-art growth models. Our results indicate that rising temperatures and precipitation together with an extension of the vegetation period hardly explain the accelerated dynamics. Only when atmospheric CO<sub>2</sub>-concentration and N-deposition are added as driving variables, models fully explain the observations. Our study is based on the oldest existing observational plots in Bavaria, continuously surveyed since 1870. Even 300 years after von Carlowitz coined the term »Nachhaltigkeit« by publishing *Sylvicultura Oeconomica* in 1713, and centuries after he and other precursors of forestry triggered long-term observation for substantiation of sustainable behaviour, their plots provide momentous facts for better understanding, modelling, and stewardship for forests in the Anthropocene.



---

# Überlegungen zur Weiterentwicklung des Ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern

Enno Uhl, Christian Kölling und Hans Pretzsch

**Schlüsselwörter:** Klimawandel, Mischbestand, Produktivität, Resilienz, kombinierte Versuchsanlagen, multifaktorielles Versuchsdesign

---

**Zusammenfassung:** Das seit mehr als 140 Jahren bestehende Ertragskundliche Versuchswesen in Bayern hat in hohem Maße zum Verständnis von Waldökosystemen beigetragen und liefert kontinuierlich wichtige Erkenntnisse zum Wachstum von Bäumen und Waldbeständen als Grundlage für die Entwicklung von Bestandsbehandlungs- und Pflegekonzepten. Der Klimawandel und der waldbauliche Perspektivenwechsel von der Reinbestandswirtschaft zu strukturierten Mischbeständen werfen neue Fragen zur standortabhängigen künftigen Leistungsfähigkeit, Stabilität und Widerstandsfähigkeit der Waldbestände auf, denen durch angepasste Versuchsansätze Rechnung getragen werden muss. Der Beitrag fasst hierzu erste konzeptionelle Überlegungen zusammen.

---

## Wandel und Beständigkeit im Ertragskundlichen Versuchswesen

Einst mit der Zielsetzung begründet, die Forstwissenschaft auf eine quantitative Grundlage zu stellen und waldbauliches Wissen nicht auf lokalen, standörtlichen Zufällen beruhen zu lassen, ist das Ertragskundliche Versuchswesen in Bayern bisher seinen Ansprüchen voll gerecht geworden. Dass der ertragskundliche Datenfundus seit nunmehr 140 Jahren kontinuierlich und regelmäßig anwächst, ist hierbei ein eindeutiges Indiz, aber mit Sicherheit kein geeigneter Maßstab. Vielmehr ist es der Zugewinn an ökologischem Systemwissen, der sich aus den Versuchsflächen speist und vom Erfolg des Versuchswesens zeugt, indem er in den vergangenen hundert Jahren der Forstwissenschaft und Forstwirtschaft einen enormen Fortschritt beschert hat. Ertragskundliche Versuche unterscheiden sich von rein wissenschaftlichen Experimenten durch ihren hohen Praxisbezug, der sich sowohl in den hinterlegten Versuchsfragen als auch in der Versuchskonzeption niederschlägt und nach einer Möglichkeit sucht, die gefundenen Ergebnisse verallgemeinern zu können. So wurden beispielsweise aus der Beobachtung

der Wuchsdynamik unterschiedlich aber definiert behandelte Bestände auf den Versuchsflächen Ertrags tafeln entwickelt, die bis in die heutige Zeit als waldbauliche Planungs- und Steuerungsinstrumente Anwendung finden (z.B. Schwappach 1912 und 1929; Wiedemann 1949; Schober 1975). Grundlegende Wuchsgesetzmäßigkeiten von Einzelbäumen und Waldbeständen, beispielsweise der Zusammenhang zwischen Grundflächenhaltung und Bestandsproduktivität, wurden entschlüsselt (Assmann 1961) und unterstützen die Entwicklung baumartenspezifischer Handlungsrichtlinien. Auch die steuernden Algorithmen in modernen Waldwachstumssimulatoren, die für Szenariorechnungen eingesetzt werden, wurden mit Daten des Versuchswesens parametrisiert. Dabei ist das Ertragskundliche Versuchswesen sicherlich kein Selbstläufer. Aufgrund der natürlichen Alterung der Versuchsbestände und Schädigungen z.B. durch Windwurf, Schneebruch oder Insektenfraß scheiden immer wieder Versuchsflächen aus und müssen gegebenenfalls nach Abwägung ihrer Erfordernis durch neue ersetzt werden.

Aber das bloße Vorhandensein langfristiger Versuchsflächen, ihre kontinuierliche Vermessung und Auswertung garantieren noch nicht, dass sie ihren Zweck auch dauerhaft erfüllen. Da die Anlage von Versuchsflächen stets mit einer konkreten forstlichen Fragestellung verknüpft ist, ist ihre Verwendung für neu entstehende weitergehende Untersuchungen meist nur eingeschränkt möglich. Deshalb ist es auch Aufgabe des Versuchswesens, an neue Fragestellungen angepasste Versuchskonzepte und -anlagen zu entwerfen und umzusetzen und somit diesen Forschungszweig beständig weiter zu entwickeln. Musterbeispiele dafür lassen sich in der Historie des Versuchswesens anhand verschiedener Phasen von Neuanlagen von Versuchsserien häufig finden (Abbildung 1). Genannt seien die Anlagenschwerpunkte von Anbau- und Provenienzversuchen ab etwa 1950 und Düngerversuche ab etwa 1960. Diese wurden notwendig, weil Fragen der Produktivitätssteigerung von Waldbeständen durch Einbringung wuchskräftiger Herkünfte heimischer oder nicht heimischer Baumarten oder durch die aktive Standortverbesserung durch Düngung jeweils in den Fokus

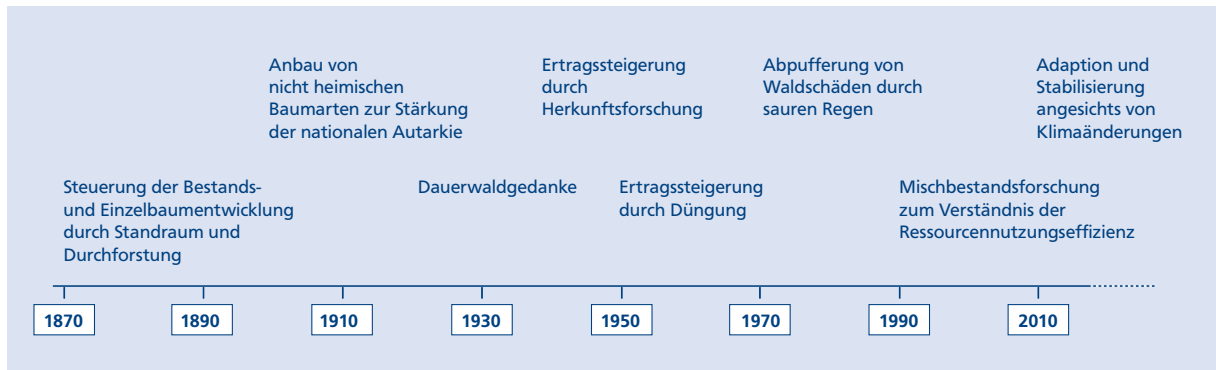


Abbildung 1: Zeitliche Erweiterung der Versuchsfragen im Ertragskundlichen Versuchswesen in Bayern.

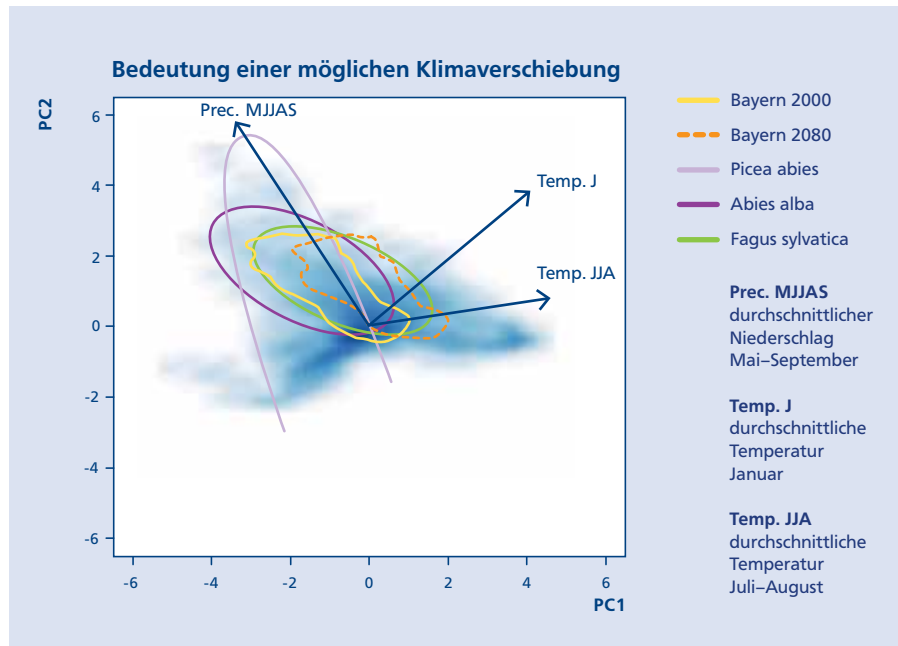
rückten und mit bestehenden Versuchsflächen nicht beantwortet werden konnten. Aber nicht nur forstliche Fragestellungen erfuhren im vergangenen Jahrhundert eine stete Erweiterung. Auch Erhebungsverfahren und statistische Auswertungsmethoden wurden beständig weiter entwickelt. So haben ertragskundliche Versuchsflächen durch die in den letzten Jahrzehnten entwickelten und auf großer Fläche eingerichteten Inventuren, zum Teil in Form permanenter Stichprobenverfahren konzipiert, sozusagen Konkurrenz erhalten. Es stellt sich auch die Frage, ob Versuchsflächendaten durch diese, zudem mit hoher Flächenrepräsentanz versehenen, Informationen ersetzt werden könnten. Da jedoch im Rahmen von Inventuren die Bestandsbehandlung nicht dokumentiert wird, sind Rückschlüsse auf die Wechselwirkungen zwischen steuernden Eingriffen und Baum- bzw. Bestandswachstum nicht möglich. Gerade die Analyse von Ursache-Wirkungs-Beziehungen ist ein zentrales Anliegen des Versuchswesens, wo Wachstum unter kontrollierten Bedingungen abläuft. Dennoch haben beide Datenquellen ihre spezifischen Vorteile, die zusammen mit deren synergistischen Effekten beispielsweise in Nagel et al. (2012) ausführlich diskutiert wurden.

Grundsätzlich hat sich also an der Zweckbestimmung des Ertragskundlichen Versuchswesens seit seiner Gründung nichts Wesentliches verändert. Großregional wirksame Veränderungen mit starkem Einfluss auf Wälder und Forstwirtschaft lassen jedoch die Bedeutung von langfristigen ertragskundlichen Beobachtungsflächen steigen und erfordern gleichzeitig eine Weiterentwicklung der Versuchskonzepte.

### Aktuelle Herausforderungen an das Ertragskundliche Versuchswesen

Gegenwärtig prägen zwei zentrale, eng im Zusammenhang stehende Themenkomplexe die forstwissenschaftliche Diskussion um die zukünftige Zusammensetzung und Bewirtschaftung unserer Wälder. Aufgrund des Klimawandels und der damit möglichen Standortveränderungen sind Auswirkungen auf die langfristige standörtliche Eignung der einzelnen, bisher am Waldaufbau beteiligten Baumarten zu erwarten (z. B. Kölling et al. 2007). In Abbildung 2 ist die Bedeutung einer möglichen Klimaverschiebung für die Baumarten Fichte, Tanne und Buche beispielhaft dargestellt. Der aktuelle europäische Klimaraum wird dabei durch die blaue Punktwolke beschrieben. Sie ist das Ergebnis einer Transformation echter Klimawerte (Hijmans et al. 2005) auf Hauptkomponenten. Diese wurden aus den drei wichtigsten wachstumssteuernden Klimagrößen (Durchschnittstemperatur der Monate Juni bis August, Niederschlagssumme der Monate Mai bis September sowie der durchschnittlichen Januartemperatur) ermittelt. Die erste Hauptkomponente (PC1) beschreibt dabei im Wesentlichen den Grad der Wärme, die zweite (PC2) repräsentiert einen Feuchtegradienten. Der bayerische Klimaraum nimmt aufgrund seiner regionalen Unterschiede von den warmen Hügellagen Unterfrankens bis hin zu den höchsten Lagen der Bayerischen Alpen ein relativ weites Segment ein (gelbe Linie). Die Verschiebung des bayerischen Klimaraums auf Basis des Klimaszenarios B2A für das Jahr 2080 (IPCC 2007) wird durch die orange-gestrichelte Linie in Abbildung 2 verdeutlicht. Es zeigt sich im Wesentlichen eine Zunahme der Sommertemperaturen (Verschiebung in positiver Richtung der PC1-Achse). Für die Baumarten Fichte, Tanne und Buche sind die Klimabereiche ihrer derzeitigen Verbreitung, ermittelt auf Basis der europäischen Level-I-Flächen, durch farbige Ovale skizziert (Fichte:

Abbildung 2: Ausprägung des europäischen Klimaraumes über die ersten beiden Hauptkomponenten PC1 und PC2. Der aktuelle bayerische Klimaraum ist mit der gelben Linie eingezeichnet. Mögliche Verschiebungen aufgrund des Klimawandels (ermittelt auf Basis des Klimaszenarios B2A für das Jahr 2080) sind durch die orange gestrichelte Linie wiedergegeben. Für die Baumarten Fichte (*Picea abies*: flieder), Tanne (*Abies alba*: violett) und Buche (*Fagus sylvatica*: grün) sind die Klimabereiche ihrer derzeitigen Verbreitung eingezeichnet. Weitere Erläuterungen im Text.



flieder, Tanne: violett, Buche: grün) eingezeichnet. Während der Klimabereich der Baumart Buche auch im für 2080 projizierten Klima in Bayern nicht verlassen wird, rückt das Klima für die Fichte weiter in ungünstige Bedingungen. Insgesamt wird sich die Relevanz einzelner Baumarten in der Waldzusammensetzung verschieben. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach der Plastizität und Anpassungsfähigkeit von Baumarten in Bezug auf sich ändernde Wuchsbedingungen sowie nach der Anpassungsnotwendigkeit von Waldbeständen zur nachhaltigen Sicherung der Waldfunktionen.

In den letzten Jahrzehnten hat sich, zunächst unabhängig vom Klimawandel, ein Perspektivenwechsel im waldbaulichen Leitbild von der reinbestandsbetonten Bewirtschaftung hin zu naturnahen, gemischten Wäldern vollzogen. Dieser findet nicht nur Niederschlag in neuen Behandlungsrichtlinien, sondern zeigt bereits jetzt deutliche Spuren im aktuellen Waldaufbau in Bayern. Gerade die Eigenschaft von Mischwäldern im Vergleich zu Reinbeständen, Störungsereignisse besser abpuffern und Risiken durch klimabedingte Schadereignisse reduzieren zu können (Griess und Knoke 2012), betont die Bedeutung dieses Richtungswechsels.

Aus ertragskundlicher Sicht ergibt sich im Rahmen der Mischbestands- und Klimafolgenforschung eine Reihe an Fragen mit hoher Relevanz für die waldbauliche Praxis. Produktionsökologisch interessiert zunächst die *Leistungsfähigkeit* gemischter Bestände. Neben

interspezifischer Konkurrenz beeinflussen im Mischbestand auch weitere Faktoren, beispielsweise Nischenkomplementarität (Tiefwurzler/Flachwurzler) und Prozesse gegenseitiger Förderung (Basenpumpe sei als Beispiel für Faszilitation genannt) die Bestandsproduktivität. Dabei führt die Wechselwirkung zwischen Konkurrenz und Faszilitation, je nach Standortgüte und Baumartenmischung, zu unterschiedlichen Auswirkungen auf die Produktivität der beteiligten Arten und des Gesamtbestands. Auf ungünstigen Standorten kommt es beispielsweise in Mischbeständen aus Fichte und Buche in der Regel zu einer höheren Produktivität als in entsprechenden Reinbeständen. Im Wesentlichen wird hier die Fichte durch die Beimischung der Buche begünstigt. Auf gut versorgten Standorten profitiert hingegen die Buche durch die



Abbildung 3: Umbau fichtenreicher Bestände mit Laubbäumen im Stadtwald Traunstein Foto: L. Steinacker

Kombination mit der Fichte (Pretzsch et al 2010). Auch für Mischungen aus Eiche und Buche liegt die Massenproduktion häufig über der der Reinbestände, wobei der Effekt stärker hervortritt, je schlechter die Standorte mit Ressourcen versorgt sind (Pretzsch et al. 2013). Für zahlreiche andere Baumartenmischungen fehlen dazu bisher entsprechende Ergebnisse. Detailliertere Kenntnisse über die Ertragsleistung von Mischbeständen sind aber nicht nur aus forstbetrieblichen Gründen notwendig, sondern auch für die Einschätzung der Senkenwirkung von Wäldern im Rahmen der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung.

Eng verbunden mit der Frage nach der Leistungsfähigkeit, insbesondere unter dem Gesichtspunkt der langen forstlichen Produktionszeiträume für Wälder in Mitteleuropa, ist zwangsläufig die Frage nach der *Stabilität* und *Widerstandsfähigkeit* von Beständen. Bestandsstabilität gewährt Planungssicherheit und garantiert eine kontinuierliche Erfüllung der Waldfunktionen. Wie reagieren Mischbestände auf Störungen, beispielsweise Trockenheit? Kann die Zuwachsresilienz bestimmter Baumarten, deren Anbauisiko durch den Klimawandel steigt, durch Mischung mit anderen Baumarten gegebenenfalls erhöht werden? Abbildung 4 zeigt ein Beispiel der unterschiedlichen Ausprägung des Zuwachsverhaltens von Buche in Abhängigkeit von der beigemischten Baumart. Dargestellt ist das Resistenz- und Resilienzverhalten während und nach dem extre-

men Trockenereignis 1976 im Verhältnis zum Zuwachs davor. Dabei zeigt die Buche in Mischung mit Eiche eine höhere Resistenz und Resilienz als in Mischung mit der Fichte bzw. im Reinbestand. Dass dies nicht zu Lasten beispielsweise der Eiche geht, zeigt die Abbildung auf der rechten Seite, wo sich die Reaktion der Eiche zwischen dem Mischbestand und dem Reinbestand nicht unterscheidet (Pretzsch et al. 2013).

Bereits August von Ganghofer postulierte im 19. Jahrhundert, als er zusammen mit anderen Forstwissenschaftlern das Ertragskundliche Versuchswesen konzipierte (von Ganghofer 1877, 1881), die Berücksichtigung des *Standorteffekts* als tragendes Element der forstlichen Ertragsforschung. Nur durch die Variation der Wuchsbedingungen zwischen ansonsten gleichen Versuchsanlagen lassen sich beispielsweise Muster der intra- und interspezifischen Ressourcenverteilung, die Plastizität von Baumarten hinsichtlich der Wuchsbedingungen und die gegenseitigen Wechselwirkungen von Bäumen auf Baum- und Bestandesebene in Abhängigkeit der Standortbedingungen (z. B. del Rio et al. 2014) in ausreichendem Maße aufdecken. Sie erlauben den Brückenschlag zur Kausalanalytik und die Ableitung verallgemeinerbarer, generell gültiger Wuchsgesetzmäßigkeiten. Die Frage nach dem Einfluss von Standortfaktoren auf Wuchsdynamik und Widerstandsfähigkeit von Waldbeständen erlangt vor dem Hintergrund des Klimawandels neue Brisanz.

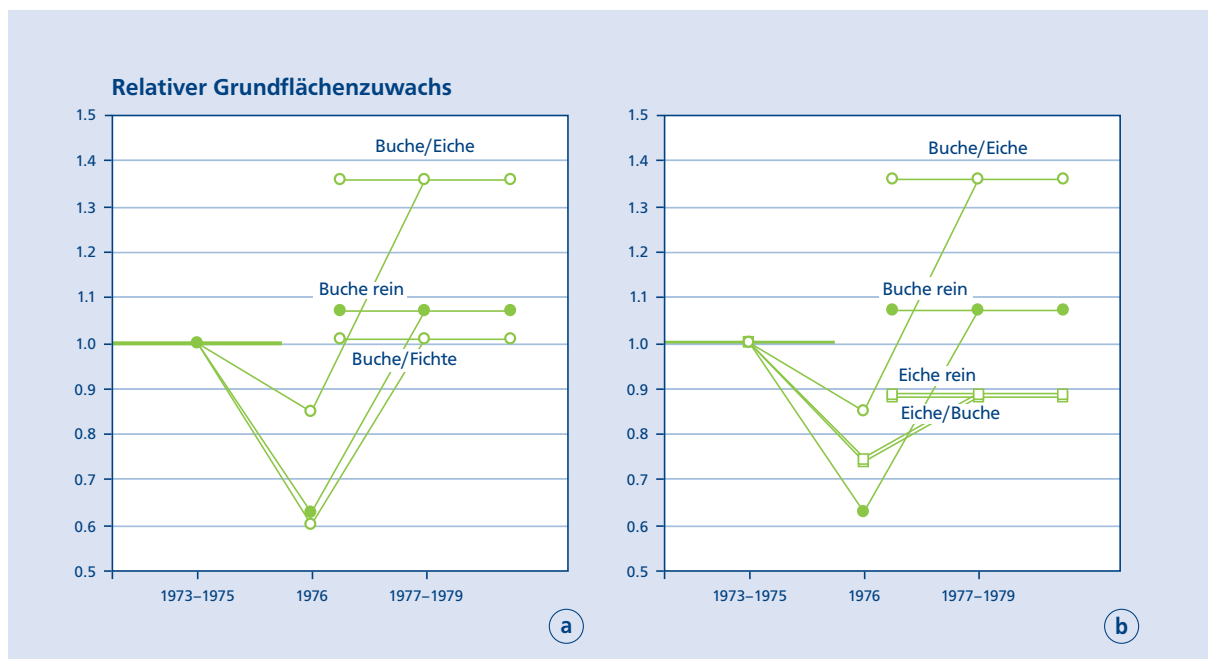


Abbildung 4: Resistenz und Resilienzverhalten auf Trockenheitsereignisse von Buche im Reinbestand und in Mischung mit Fichte oder Eiche (a), sowie von Buche und Eiche jeweils im Rein- und im Mischbestand (b) (nach Pretzsch et al. 2012, verändert).

### Baum- und versuchsartenbezogene Schwerpunkte neuer Versuchsanlagen

Aus den vorher genannten Überlegungen heraus und unter Einbezug des aktuellen Bestands an Versuchsflächen im bayerischen Ertragskundlichen Versuchswesen ergibt sich ein Bedarf an neuen, langfristigen ertragskundlichen Versuchsanlagen zu verschiedenen Baumarten bzw. Baumartenmischungen. Dieser als vorläufige Einschätzung zu betrachtende Bedarf (Tabelle 1) wurde im Rahmen mehrerer Arbeitstreffen mit Vertretern der forstlichen Betriebsführung, aus der Verwaltung und aus der Wissenschaft eruiert.

Das Hauptaugenmerk konzentriert sich zunächst auf Versuchsflächen zur Baumart *Buche*. Die Buche spielt aus standortökologischer Sicht eine zentrale Rolle für den bayerischen Raum (Walentowski et al. 2001). Sie entfaltet auf dem überwiegenden Teil der bayerischen Standorte gegenüber allen anderen Baumarten eine hohe Konkurrenzkraft. Auch in Verbindung mit den aktiven Waldumbaumaßnahmen in allen Waldbesitzarten der letzten Jahrzehnte hat deshalb der Buchenanteil in der Verjüngung stark zugenommen. Vermutlich wird sich das Anbaurisiko der Buche aufgrund des Klimawandels bis auf wenige Ausnahmen in Bayern nicht zu ihren Ungunsten verschieben. Die Buchenbewirtschaftung wird sich aber nicht allein auf die Begründung und Erziehung von Buchenreinbeständen beschränken. Regional bildet die Buche beispielsweise mit Eiche, Edellaubhölzern oder in Form des Bergmischwalds natürliche, stabile Mischbestände aus. Aus Sicht der Diversifizierung des Holzangebots ist zudem eine angemessene Beteiligung ertragsstarker Baumarten in Buchenbeständen sinnvoll. Hierfür spricht einerseits die bestandsstabilisierende Wirkung der Buche. Andererseits kann die flächenbezogene Produktivität entsprechender Mischbestände aus Buche und Nadelbaumarten auf vielen Standorten gegenüber Reinbeständen (z.B. Pretzsch et al. 2012) gesteigert

werden. Die Beobachtung und Analyse der Wuchsdynamik von Buchenrein- und Buchenmischbeständen ist deshalb von hohem aktuellem und künftigem Interesse.

Die Baumart *Eiche* mit ihrer höheren Trockenheitstoleranz im Vergleich zur Buche wird in der planarkollinen Höhenstufe angesichts des Klimawandels regional in Bayern eine stärkere Bedeutung erfahren. Je nach Wasserverfügbarkeit werden Eichen-Buchen-Mischbestände bzw. Eichen-Hainbuchen-Wälder eine standortgerechte und stabile Waldaufbauform sein. Zahlreiche, in den letzten Jahrzehnten durch Sturmwurf entstandene Freiflächen wurden insbesondere im südbayerischen Raum mit starker Beteiligung der Eiche wieder aufgeforstet. Gerade für diese in vielen Fällen gut wasserversorgten Standorte existiert aufgrund fehlender Versuchsanlagen wenig gesichertes Wissen über Entwicklungsdynamik und Steuerungsmöglichkeit.

Auch wenn ihr Flächenanteil kontinuierlich zurückgeht, spielt die *Kiefer* noch eine wichtige Rolle im Waldaufbau und in der Holzwirtschaft in Bayern. Auf großer Fläche weisen heute die ehemaligen Kiefernreinbestände auch aufgrund der allgemeinen Standortverbesserung eine Unter- und Zwischenschicht aus anderen Baumarten (z. B. Fichte) auf. Um auch in Zukunft die Kiefer in gewissem Umfang am Waldaufbau zu beteiligen und zeitnah Entwicklungspfade und Behandlungsmöglichkeiten der Kiefern-mischbestände zu untersuchen, sind langfristige Versuchsanlagen zu diesem Thema notwendig.

Baumart/Waldtyp	Bestandstyp	Beispiele für Mischungstypen
Buche	Mischbestand Reinbestand	Bu-Fi, Bu-Ta, Bu-Elbh, Bu-Dgl, Bu-Lä
Eiche	Mischbestandsversuch	Ei-Bu, Ei-Hbu
Bergmischwald	Mischbestandsversuch	Fi-Ta-Bu-(Elbh)
Kiefer	Mischbestandsversuch	Kie-Bu, Kie-Fi, Kie-Dgl
nicht heimische Baumarten	Mischbestand Reinbestand	Bu-Dgl, Bu-RLb, Bu-Jlä

Tabelle 1: Mittelfristiger Bedarf an baumarten- und versuchsartenbezogenen Versuchsflächen.



Der *Bergmischwald* hat im bayerischen Alpenraum als natürliche Waldaufbauform eine flächenrelevante Bedeutung. Die Mischbestände aus Fichte, Tanne und Buche gewähren ein hohes Maß an Schutzfunktion. Der Klimawandel kann hier zu einer Verschiebung des Konkurrenzgefüges der beteiligten Arten führen, die sich auf Produktivität und Schutzfähigkeit auswirkt. Gegebenenfalls kann es auch zu einer Entmischung bestehender Bestände kommen (Kölling und Ewald 2013). Bestehende Versuchsanlagen im Bergmischwald spiegeln die Auswirkungen einer Klimaverschiebung auf die Bestandsentwicklung nur langfristig wider und erlauben kaum kurzfristige Aussagen über die waldbauliche Anpassungsnotwendigkeit zur Aufrechterhaltung der Multifunktionalität. In diesem Zusammenhang erscheint es notwendig, Versuche in existierenden Beständen aus Fichte, Tanne und Buche auf solchen Standorten neu anzulegen, die bereits heute für den Alpenraum vorhergesagte, künftige Klimabedingungen aufweisen. Legen wir die gemäß Abbildung 2 transformierten Klimawerte für das Szenario B2A für das Jahr 2080 für den Bergmischwald zugrunde, so ergibt

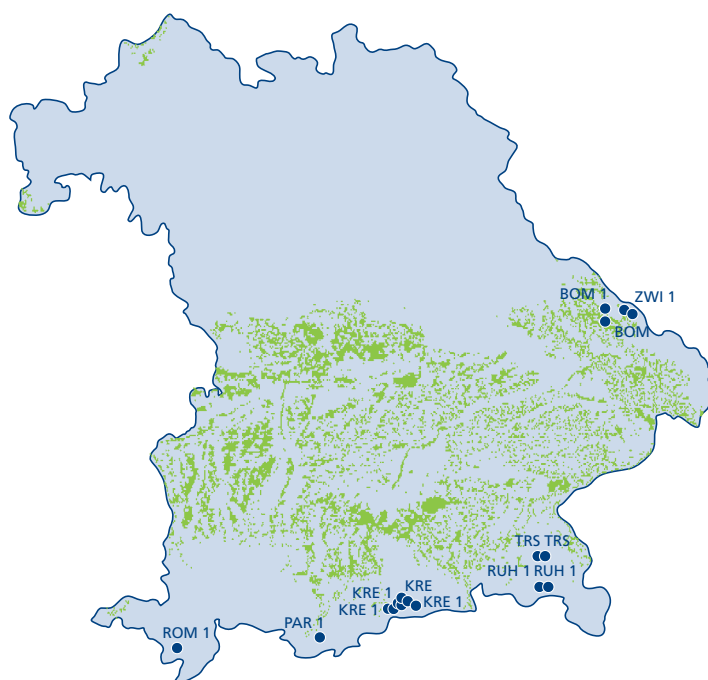


Abbildung 5: Standorte in Bayern mit klimatischen Wuchsbedingungen, die für das derzeitige Verbreitungsgebiet des Bergmischwalds auf Basis des Klimaszenarios erwartet werden (grün). Bestehende Versuchsfelder zu Bergmischwäldern sind durch blaue Punkte markiert.

sich eine aktuelle Suchkulisse (Abbildung 5). Sie umfasst weite Teile des Tertiären Hügellands, des Vorderen Bayerischen Waldes und Teile der südlichen Frankenalb.

Ertragskundliche Versuchsanlagen zu *nicht heimischen Baumarten* liegen in Bayern nur in geringem Umfang vor. Es existieren lediglich Versuche mit Douglasie, Roteiche, Esskastanie und verschiedenen Nussbaumarten. Die Mehrzahl der Versuchsanlagen wurde jedoch als Anbau- bzw. Provenienzversuch in Form von Reinbeständen konzipiert. Häufig wurde die Beobachtung nach wenigen Jahren wieder eingestellt. Nur in wenigen Fällen wurden Durchforstungs- oder Mischbestandsversuche mit standörtlicher Variabilität angelegt, die es erlauben, die Flexibilität und Leistungsfähigkeit der Baumarten zu untersuchen. Dies gilt auch für heimische Baumarten unterschiedlicher regionaler bzw. überregionaler Herkunft. Die Eignung der an spezielle Standortbedingungen angepassten Herkünfte für die Anpassung der Wälder an den Klimawandel kann derzeit auf Basis von ertragskundlichen Versuchsanlagen nur begrenzt beantwortet werden.

## Neue Ansätze in der Versuchskonzeption für die Mischbestandsforschung

### Versuchsplan

Ausgehend von den skizzierten Herausforderungen liegt ein Schwerpunkt der Weiterentwicklung des Versuchswesens auf der Konzeption neuer Versuchsanlagen zu Mischbeständen. Diese sollten die Analyse der Mischungsinteraktionen zwischen den beteiligten Arten und deren Abhängigkeit vom Standort ermöglichen. Mischungseffekte steuern die Raumbesetzung und Ressourcenerschließung bzw. -nutzungseffizienz von Bäumen und beeinflussen dadurch die Produktivität und die Strukturierung der Bestände. Entsprechende Versuchsaufbauten sind deshalb weitaus komplexer als herkömmliche Reinbestandsversuche. Sie müssen die Artkombination und die Mischungsintensität als zusätzliche Versuchsfaktoren integrieren. Die Mischungsintensität kann grundsätzlich als eine Kombination aus dem Mischungsverhältnis und der Mischungsform aufgefasst werden und beschreibt die Nachbarschaftsverhältnisse und Konkurrenzsituation der Einzelbäume. Gleichzeitig müssen die Versuche Varianten mit unterschiedlichen Bestandsdichten beinhalten. Letztere erlauben Rückschlüsse auf die Wechselwirkungen zwischen bodengebundenen Ressourcen und Lichtangebot und deren Effekte auf die

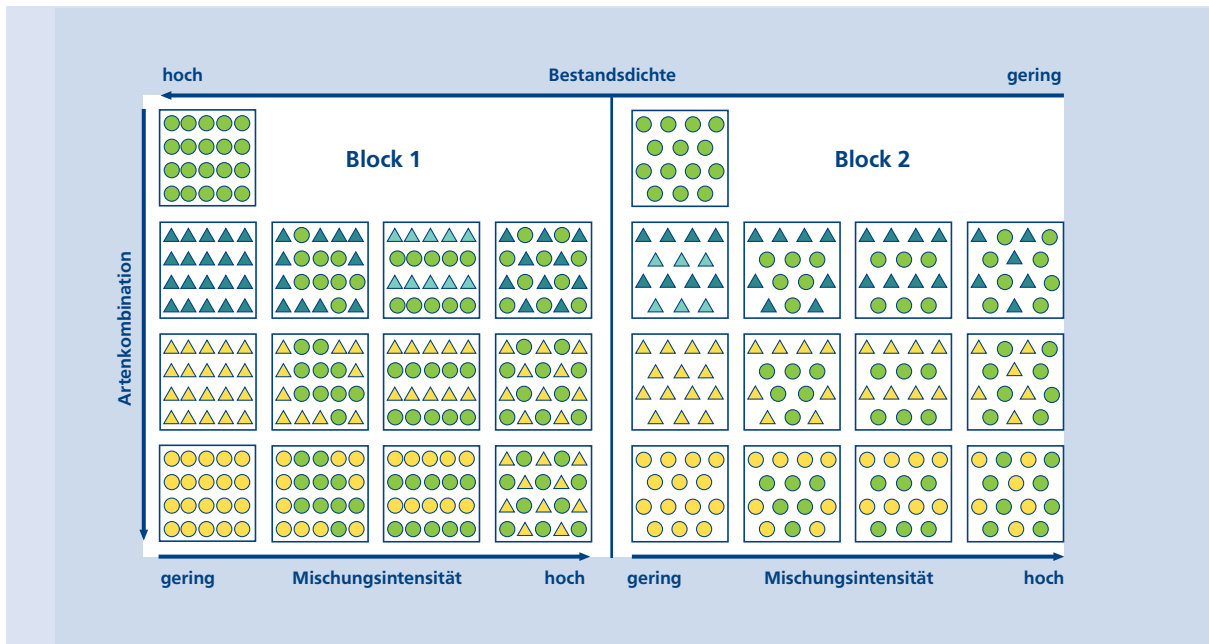


Abbildung 6: Beispiel einer möglichen, dreifaktoriellen Versuchsanlage zur Untersuchung von Mischungs- und Durchforstungseffekten in Rein- und Zwei-Arten-Mischbeständen aus Buche (dunkelgrüne Kreise) und Nadelbaumarten (Dreiecke) bzw. anderen Laubbaumarten (Kreise) mit den Versuchsfaktoren Bestandsdichte (hoch – niedrig), Baumartenkombination (Arten 1–4) und Mischungsintensität (ohne, Gruppen-Einzelmischung).

Ressourcenverteilung und Zuwachseleistung, welche zur Ableitung waldbaulicher Steuerungsmöglichkeiten für Mischbestände genutzt werden können.

In Abbildung 6 ist ein möglicher Versuchsaufbau am Beispiel von Buchenmischbeständen schematisch dargestellt. Das Konzept repräsentiert einen dreifaktoriellen Versuchsaufbau unter Berücksichtigung der Faktoren Baumart, Mischungsintensität und Bestandsdichte. Zur Begrenzung der Versuchsglieder sollten zunächst Mischungen aus zwei Arten untersucht werden. Die Buche wird dabei mit verschiedenen Nadel- bzw. Laubbaumarten kombiniert. Bedeutende Mischbaumarten sind beispielsweise Fichte, Tanne, Lärche, Eiche und Edellaubbaumarten. Aber auch Mischungen zwischen Buche und nicht heimischen Baumarten (z. B. Douglasie und Riesenlebensbaum) können integriert werden. Jede beteiligte Baumart wird dabei in unterschiedlichen Intensitätsstufen mit der Buche gemischt. Die Mischungsintensitäten müssen einen Gradienten von gering (Reinbestand) bis hoch abdecken. Aufgrund der unterschiedlichen lichtökologischen Eigenschaften von Baumarten kann der Grad der maximalen Mischungsintensitäten zwischen den Baumartenkombinationen variieren. Die Reinbestandspartikeln für jede beteiligte Baumart sind auch als Referenz zur Bewertung des Mischungseffekts notwendig. Die Variation der Bestandsdichte umfasst unbehandelte Versuchsglieder, die

die ungestörte Bestandsentwicklung widerspiegeln, sowie verschiedene Abstufungen in der Grundflächenhaltung. Durch diese Art der Versuchsanlage wird die Möglichkeit eröffnet, Rein- und Mischbestandsversuche in einer Versuchsanlage zu kombinieren. Gleichzeitig deckt sie ein breites Spektrum der oben genannten (Tabelle 1) Baumarten und Baumartenmischungen ab.

Solche Versuchsanlagen stellen hohe Ansprüche an die Auswahl geeigneter Versuchstandorte. Wegen der Variantenvielfalt entsteht je nach Anzahl beteiligter Arten ein hoher Flächenbedarf. Bei einer Versuchsanlage mit drei Mischbaumarten zur Buche, jeweils vier Mischungsintensitäten und drei Dichtestufen ergibt sich ein Bedarf von 39 Partikeln. Eine Wiederholung der Partikeln zur Steigerung der statistischen Absicherung und unter der Maßgabe einer Mindestflächengröße für eine Partikel von 0,16 ha ergibt sich ein Flächenbedarf von ca. 12,5 ha. Aus Gründen der Flächenverfügbarkeit und Frostgefährdung sind Anlagen auf kalamitätsbedingten Freiflächen bzw. Erstaufforstungen als wenig erfolgversprechend einzustufen. Auch aus Gründen der Praxisnähe erscheinen Anlagen in mit Buche flächig verjüngten Altbeständen, die je nach Versuchsanlage mit entsprechenden Mischbaumarten angereichert werden, als zielführender.

### **Messprogramm und Auswertungsorientierung**

Um die Mischungsinteraktionen kausalanalytisch interpretieren zu können, muss auf den Versuchsfeldern eine intensivere und kontinuierlichere Erfassung der Versorgung bzw. der Ausstattung mit Ressourcen erfolgen, als es bisher auf den Versuchsfeldern üblich war. Dazu muss zunächst die Ausgangssituation hinsichtlich der Nährstoffausstattung und der Faktoren, die den Wasserhaushalt beeinflussen, durch eine detaillierte, bodenkundliche Analyse der Standorteigenschaften in Verbindung mit Nadelspiegelwerten festgehalten werden. Da das Wechselspiel zwischen bodengebundenen Ressourcen und Lichtgenuss je nach Baumartemischung die Konkurrenzverhältnisse und Mischungseffekte während der Bestandsentwicklung beeinflussen kann, müssen entsprechende Parameter in regelmäßigen Abständen erhoben werden. Dazu gehören standardmäßig die Klimawerte Temperatur und Niederschlag, aber auch regelmäßige Wiederholungsmessungen der Nadelspiegelwerte und der Lichtsituation, beispielsweise durch Blattflächenmessungen.

Mischungseffekte wirken zunächst auf die Entwicklung von Einzelbäumen. Sie schlagen sich in der Ressourcenverteilung auf einzelne Bestandsglieder und deren Strukturentfaltung nieder. Die Auswertung der Mischbestandsversuche erfordert deshalb einen einzelbaumorientierten Auswertungsansatz. Dies bedingt, dass auch eine detaillierte Erfassung von Dimensions- und Zuwachsgrößen auf Basis von Einzelbäumen erfolgen muss. Die Einmessung der Stammfußkoordinaten und die regelmäßige Erfassung der Kronenausdehnung der Einzelbäume ist zwingend notwendig, um die jeweiligen Konkurrenzverhältnisse beurteilen zu können. Die Entwicklung der Kronengröße dient auch zur Beurteilung der Raumbesetzung durch die Einzelbäume. Das bestandsbezogene Wachstum und Zuwachsverhalten kann dann aus den Einzelbaumergebnissen abgeleitet werden.

### **Standortwahl und Versuchssteuerung**

Die Flächen für Versuchsanlagen, wie sie oben beschrieben wurden, müssen homogene Standortbedingungen aufweisen. Zwar können durch heutige, statistische Auswertungsmethoden, durch zufällige kleinstandörtliche Variation entstehende Effekte auf die Einzelbaumentwicklung isoliert werden, große Standortunterschiede innerhalb der Versuchsanlage würden jedoch die Kausalbeziehungen zwischen den Faktoren Baumart, Mischungintensität und Bestandsdichte überprägen und die Interpretation der Ursachen-Wirkungs-Beziehung verhindern.

Die Versuchsanlagen müssen aber in Form von Versuchsserien die Standortbedingungen als weiteren Faktor im Versuchskonzept aufnehmen. Dies wird dadurch erreicht, dass die einzelnen Versuchsanlagen auf unterschiedlichen Standorten wiederholt werden. Der Standortgradient sollte dabei gute und ungünstige Standorte für die jeweiligen Baumarten umfassen. Da Mischungseffekte in Wechselbeziehung mit der Ressourcenversorgung stehen (del Rio et al. 2014), kann nur durch den Einbezug der Standortbedingungen beurteilt werden, ob sich die Mischungseffekte eher zugunsten oder zuungunsten einer Baumart auswirken. Erst aus dieser Erkenntnis heraus lassen sich standortübergreifende Regeln ableiten, die als Grundlage für die Entwicklung von Pflegekonzepten gebraucht werden.

In Abbildung 2 wurde gezeigt, dass sich die Standortbedingungen für Teile von Bayern aufgrund des Klimawandels deutlich verschieben können und dann für einzelne Baumarten nachteilige Wuchsbedingungen aufweisen. Es macht deshalb Sinn, Versuche auch auf ungünstigen Standortbedingungen anzulegen. Denn dann werden Aussagen über die Anpassungsfähigkeit von Baumarten an sich ändernde Standortbedingungen möglich, und es lässt sich beurteilen, ob eine Verschlechterung der Wuchsbedingungen durch Mischung abgepuffert werden kann. Hierbei sollten auch Standorte ins Auge gefasst werden, auf denen die Baumarten bisher nicht zu finden sind.

### **Perspektiven**

Vor 140 Jahren wurde der Grundstein für ein forstliches Versuchswesen gelegt, das Forstwissenschaft und Forstpraxis seitdem mit wertvollem Datenmaterial und Ökosystemverständnis versorgt. Die Gründer taten dies auch in dem Wissen, dass sie selbst wenig Nutzen daraus ziehen würden, sondern folgten bei ihrem Ansinnen der am gesellschaftlichen Gemeinwohl orientierten, langfristigen Vision, das Wissen über die Wälder und ihre Steuerungsmöglichkeit dauerhaft und kontinuierlich zu mehren. In diesem Sinne sind alle Beteiligten, von der Forstwissenschaft, den Waldbesitzern und -bewirtschaftern und von der Forstpolitik, aufgerufen, dieses Erbe inhaltlich und institutionell weiter zu führen und weiter zu entwickeln. Nur so garantieren wir künftigen Generationen die Möglichkeit, zeitnah Antworten auf drängende und gegenwärtige Fragen der Forstwirtschaft zu finden.

Unter Federführung des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München erarbeitet derzeit eine Arbeitsgruppe aus Vertretern des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, dem Bayerischen Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht und dem Lehrstuhl für Waldbau ein Konzept für die zukunftsorientierte Weiterentwicklung des langfristigen forstlichen Versuchswesens. Der vorliegende Aufsatz berichtet zum ersten Mal über die laufenden Arbeiten.

Die Umsetzung neuer ertragskundlicher Versuchsanlagen, wie sie hier beschrieben wurden, ist ein ehrgeiziges Ziel und fordert einen langen Atem und ein hohes Maß an Bereitschaft aller Beteiligten. Die skizzierten Versuchsanlagen sind flächenintensiv. Gleichzeitig sind die Anlage und kontinuierliche Betreuung und Auswertung der Flächen mit einem großen finanziellen und personellen Aufwand verbunden.

Im Unterschied zu historischen Versuchsanlagen müssen künftige Versuche einen interdisziplinären und länderübergreifenden Ansatz verfolgen. Es gilt, Schnittstellen und Synergien mit langfristigen Versuchsanlagen anderer Fachbereiche wie Waldbau, Forstgenetik oder Waldernährungslehre stärker zu nutzen. Die am Ort der Versuchsanlage wirkenden Standortkräfte sind mitsamt ihrer räumlichen Varianz und zeitlichen Dynamik in entsprechenden Kooperationen zu erfassen und in einen überregionalen Kontext zu stellen. Aufgrund der natürlichen Ausstattung einzelner Länder mit Standorttypen wird in den wenigsten Fällen innerhalb einer Zuständigkeit eine ausreichende Amplitude an Standorten abgebildet werden können, die zur Abschätzung der Variabilität einer Baumart notwendig ist. Dies macht konzertierte Versuchsserien über Ländergrenzen hinweg erforderlich.

## Literatur

- Assmann, E. (1961): Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. BLV Verlagsgesellschaft, München, Bonn, Wien, 490 S.
- Ganghofer, v. A. (1877): Das forstliche Versuchswesen. München, im Selbstverlag des Herausgebers, B. 1, H. 1, 176 S.
- Ganghofer, v. A. (1881): Das Forstliche Versuchswesen. Band I. Augsburg, 505 S.
- Griess, V.; Knoke, T. (2012): Bioeconomic modeling of mixed Norway spruce – European beech stands: economic consequences of considering ecological effects. *Eur J Forest Res* 132, S. 511–522
- Hijmans, R.J.; Cameron, S.E.; Parra, J.L.; Jones, P.G.; Jarvis, A. (2005): Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25 (15); S. 1965–1978
- IPCC (2007): Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Working Group I Report. The Physical Science Basis. Geneva
- Kölling, C.; Ewald, J. (2013): Bergmischwälder im Klimawandel: Ausgangslage, Gefährdung, Anpassungsmaßnahmen. *Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt*, München, 78. Jg., S. 45–56
- Kölling, C.; Zimmermann, L.; Walentowski, H. (2007): Klimawandel: Was geschieht mit Buche und Fichte? *AFZ-DerWald* 11, S. 584–588
- 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.; Bielak, K.; Block, J.; Bruchwald, A.; Dieler, J.; Ehrhart, H.P.; Kohnle, U.; Nagel, J.; Spellmann, H.; Zasada, M.; Zingg, A. (2013): Productivity of mixed versus pure stands of oak (*Quercus pretraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) along an ecological gradient. *European Journal of Forest Research*, 132 (2), S. 263–280
- Pretzsch, H.; Block, J.; Dieler, J.; Dong, P.H.; Kohnle, U.; Nagel, J.; Spellmann, H.; Zingg, A. (2010): Comparison between the productivity of pure and mixed stands of Norway spruce and European beech along an ecological gradient. *Annals of Forest Science* 67, S. 712
- Pretzsch, H.; Schütze, G.; Uhl, E. (2013): Resistance of European tree species to drought stress in mixed versus pure forests: evidence of stress release by inter-specific facilitation. *Plant Biology* 15(3); S. 483–495
- Rio del, M.; Schütze, G.; Pretzsch, H. (2014): Temporal variation of competition and facilitation in mixed species forests in Central Europe. *Plant Biology* 16(1), S. 166–176

Schober, R. (1975): Ertragstabeln wichtiger Baumarten. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M., 154 S.

Schwappach, A.F. (1912): Ertragstabeln der wichtigeren Holzarten. Verlag Neumann, Neudamm, 75 S.

Schwappach, A.F. (1929): Ertragstabeln der wichtigeren Holzarten in tabellarischer und graphischer Form. Verlag Neumann, Neudamm, 73 S.

Walentowski, H.; Gulder, H.J.; Kölling, C.; Ewald J.; Türk, W. (2001): Die regionale natürliche Waldzusammensetzung Bayerns. Freising, LWF Wissen 32, 99 S.

Wiedemann, E. (1949): Ertragstabeln der wichtigen Holzarten bei verschiedener Durchforstung. Verlag M. & H. Schaper, Hannover, 100 S.

**Keywords:** climate change, mixed stand, productivity, resilience, combined yield trials, multi-factorial design

---

**Summary:** Since more than 140 years the Bavarian network of long term growth and yield trials has been contributing substantially to forest ecosystem understanding. It continuously provides relevant information on growth dynamics of single trees and forest stands. Now, climate change and the modification of silvicultural perspectives preferring mixed stands over pure stands raise new issues concerning site dependent productivity, stability and resilience of forests. These issues require new concepts in trial design. The article summarises first conceptual considerations in that context.

---



---

# Anschriften der Autoren

**Alexander Abt**

Technische Universität München  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2  
85354 Freising  
*E-Mail: Alexander.Abt@tum.de*

**Dr. Peter Biber**

Technische Universität München  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2  
85354 Freising  
*E-Mail: Peter.Biber@lrz.tu-muenchen.de*

**Ernst Bickel**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
*E-Mail: Ernst.Bickel@lwf.bayern.de*

**Dr. Franz Binder**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
*E-Mail: Franz.Binder@lwf.bayern.de*

**Dr. Uwe Blum**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
*E-Mail: Uwe.Blum@lwf.bayern.de*

**Hans-Peter Dietrich**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
*E-Mail: Hans-Peter.Dietrich@lwf.bayern.de*

**Hany El Kateb**

Technische Universität München  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2  
85354 Freising  
*E-Mail: ecoland@t-online.de*

**Udo Endres**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
*E-Mail: Udo.Endres@lwf.bayern.de*

**Wolfgang Falk**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
*E-Mail: Wolfgang.Falk@lwf.bayern.de*

**Dr. Bernhard Felbermeier**

Technische Universität München  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2  
85354 Freising  
*E-Mail: felbermeier@lrz.tu-muenchen.de*

**Dr. Bernhard Förster**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
*E-Mail: Bernhard.Förster@lwf.bayern.de*

**Dr. Sebastian Höllerl**

Technische Universität München  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2  
85354 Freising  
*E-Mail: hoellerls@forst.tu-muenchen.de*

**Gerhard Huber**

Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht  
Forstamtsplatz 1  
83317 Teisendorf  
*E-Mail: Gerhard.Huber@asp.bayern.de*

**Anna Kanold**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
*E-Mail: Anna.Kanold@lwf.bayern.de*

**Dr. Monika Konnert**

Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht  
Forstamtsplatz 1  
83317 Teisendorf  
*E-Mail: [Monika.Konnert@asp.bayern.de](mailto:Monika.Konnert@asp.bayern.de)*

**Dr. Christian Kölling**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
*E-Mail: [Christian.Koelling@lwf.bayern.de](mailto:Christian.Koelling@lwf.bayern.de)*

**Prof. Dr. Reinhard Mosandl**

Technische Universität München  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2  
85354 Freising  
*E-Mail: [mosandl@forst.wzw.tum.de](mailto:mosandl@forst.wzw.tum.de)*

**Martin Nickel**

Technische Universität München  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2  
85354 Freising  
*E-Mail: [Martin.Nickel@forst.wzw.tum.de](mailto:Martin.Nickel@forst.wzw.tum.de)*

**Prof. Dr. Dr. h. c. Hans Pretzsch**

Technische Universität München  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2  
85354 Freising  
*E-Mail: [Hans.Pretzsch@lrz.tum.de](mailto:Hans.Pretzsch@lrz.tum.de)*

**Stephan Raspe**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
*E-Mail: [Stefan.Raspe@lwf.bayern.de](mailto:Stefan.Raspe@lwf.bayern.de)*

**PD Dr. Thomas Rötzer**

Technische Universität München  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2  
85354 Freising  
*E-Mail: [Thomas.Roetzer@lrz.tu-muenchen.de](mailto:Thomas.Roetzer@lrz.tu-muenchen.de)*

**Randolf Schirmer**

Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht  
Forstamtsplatz 1  
83317 Teisendorf  
*E-Mail: [Randolf.Schirmer@asp.bayern.de](mailto:Randolf.Schirmer@asp.bayern.de)*

**Olaf Schmidt**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
*E-Mail: [Olaf.Schmidt@lwf.bayern.de](mailto:Olaf.Schmidt@lwf.bayern.de)*

**Prof. Dr. Manfred Schölch**

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 3  
85354 Freising  
*E-Mail: [manfred.schoelch@hswt.de](mailto:manfred.schoelch@hswt.de)*

**Alfred Schubert**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
*E-Mail: [Alfred.Schubert@lwf.bayern.de](mailto:Alfred.Schubert@lwf.bayern.de)*

**Gerhard Schütze**

Technische Universität München  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2  
85354 Freising  
*E-Mail: [Gerhard.Schuetze@lrz.tum.de](mailto:Gerhard.Schuetze@lrz.tum.de)*

**Leonhard Steinacker**

Technische Universität München  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2  
85354 Freising  
*E-Mail: [Leonhard.Steinacker@lrz.tum.de](mailto:Leonhard.Steinacker@lrz.tum.de)*

**Dr. Bernd Stimm**

Technische Universität München  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2  
85354 Freising  
*E-Mail: [stimm@forst.wzw.tum.de](mailto:stimm@forst.wzw.tum.de)*

**Bernhard Thalhammer**

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 3  
85354 Freising  
*E-Mail: [bernhard.thalhammer@hswt.de](mailto:bernhard.thalhammer@hswt.de)*

**Enno Uhl**

Technische Universität München  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2  
85354 Freising  
*E-Mail: [Enno.Uhl@lrz.tum.de](mailto:Enno.Uhl@lrz.tum.de)*

**Dr. Alexandra Wauer**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
*E-Mail: [Alexandra.Wauer@lwf.bayern.de](mailto:Alexandra.Wauer@lwf.bayern.de)*

**Dr. Lothar Zimmermann**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
*E-Mail: [Lothar.Zimmermann@lwf.bayern.de](mailto:Lothar.Zimmermann@lwf.bayern.de)*



9

5

48

10