

Perspektiven des ertragskundlichen Versuchswesens angesichts des Klimawandels

Enno Uhl, Christian Kölling, Hans Pretzsch

Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, TU München

ZUR BEDEUTUNG DES ERTRAGSKUNDLICHEN VERSUCHSWESENS

Das ertragskundliche Versuchswesen stellt eine unverzichtbare Säule in der forstlichen Forschung dar. Es liefert die Datengrundlage zur Analyse der Entwicklung und Wuchsdynamik von Bäumen und Waldökosystemen auf deren Basis dann Handlungsempfehlungen für die Waldbewirtschaftung abgeleitet werden können. Gegenüber anderen Disziplinen ist das ertragskundliche Versuchswesen dadurch geprägt, dass die Beobachtungsdauer auf den einzelnen Versuchsflächen in der Regel mehrere Jahrzehnte umfasst. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass Wälder Systeme mit einer langen Lebensdauer darstellen. Lebensprozesse, die sich schließlich in Strukturen niederschlagen hängen stark von den Baumarten, ihrer Mischungsform und den Standortbedingungen ab und ändern sich mit der jeweiligen Lebensphase und Strukturierung von Bäumen und Beständen. Eingriffe des Wirtschafters zur Pflege, Nutzung oder Steuerung entfalten häufig erst nach etlichen Zuwachsperioden messbare Reaktionen und lassen sich erst nach längerer Beobachtung in ihren Konsequenzen beurteilen.

Im forstlichen Versuchswesen nimmt das ertragskundliche Versuchswesen aus historischer Sicht, wegen seiner Langfristigkeit sowie hinsichtlich seines aktuellen Umfangs, zumindest für Deutschland gesprochen eine Sonderstellung ein. In den 1870er Jahren waren die ersten Versuchsflächenanlagen Wegbereiter zunächst für die Gründung der forstlichen Forschungs- und Versuchsanstalten und in Folge auch für die Gründung des Vereins Deutscher Forstlicher Versuchsanstalten (später: Verein Deutscher Forstlicher Versuchsanstalten) und des Internationalen Verbandes Forstlicher Versuchsanstalten (IUFRO) (Pretzsch et al. 2013). Zahlreiche Versuchsflächen aus der Gründerzeit stehen auch heute noch unter Beobachtung und lieferten bis jetzt unschätzbare Daten und Informationen zum Waldwachstum. Das ertragskundliche Versuchswesen zielt dabei auf die kontinuierliche Erfassung und Analyse quantitativer Maßzahlen zum Wachstumsverhalten und zur Strukturentfaltung von Einzelbäumen und Beständen. Es betrachtet Ressourcenallokationmuster auf verschiedenen Skalenebenen, von der Organ-, zur Baum- und Bestandesebene. Analysiert wird das artspezifische Konkurrenzverhalten, die Strukturdynamik und Produktivität von Bäumen im Rein- und im Mischbestand.

Auf Basis der ertragskundlichen Versuchsflächen konnten grundlegende Wuchsgesetzmäßigkeiten von Einzelbäumen und Waldbeständen entschlüsselt werden, beispielsweise der Zusammenhang zwischen Grundflächenhaltung und Bestandesproduktivität (Assmann 1961). Langfristige ertragskundliche Versuchsflächen, insbesondere Durchforstungsversuche liefern der forstlichen Praxis wertvolle Kenntnis zur Wirkung von Durchforstungsart und -intensität auf die Entwicklung der Einzelbaum- und Bestandesproduktivität. Mit Hilfe langfristiger Beobachtungsreihen können Wachstumstrends, verursacht beispielsweise durch großregional wirksame Standortsveränderungen, aufgedeckt werden (z. B. Küsters et al. 2004).

HERAUSFORDERUNGEN AN DAS ERTRAGSKUNDLICHE VERSUCHSWESEN

Für das Verständnis der kurz- und langfristigen Dynamik sowie der Steuerungsmöglichkeit von Waldökosystemen müssen neben den relevanten Baumarten selbst auch die Dimensionen Zeit, Standort und Bestandesdichte durch die ertragskundlichen Versuchsanlagen in ausreichendem Maß abgedeckt sein. Nur so können die Wechselwirkung zwischen den Faktoren hinreichend verstanden und in praxisrelevante Handlungsempfehlungen übersetzt werden. Die Berücksichtigung des Faktors Zeit wird über die langfristige Beobachtung sichergestellt. Der Einfluss des Standortes auf die Wuchsdynamik kann nur durch die wiederholte Anlage gleichartiger Versuchsanlagen auf unterschiedlichen Standorten bzw. durch die gezielte Steuerung der Standortseigenschaften (Düngeversuche) analysiert werden. Die Berücksichtigung der Bestandesdichte erfolgt durch das, jeder Versuchsanlage zugrundeliegende Durchforstungskonzept, in dem Eingriffsarten, -stärken und -frequenzen festgelegt und das im günstigsten Fall über die Beobachtungsdauer unverändert umgesetzt wird.

Grundsätzlich orientiert sich die Einrichtung sowie dauerhafte Unterhaltung und Beobachtung einer Versuchsfläche oder eines Versuchsflächenverbundes an einer klaren ertragskundlichen Fragestellung. Diese haben sich während der forstgeschichtlichen Entwicklung der letzten 150 Jahre und den jeweils vorherrschenden Themenschwerpunkten gewandelt und durch Versuchsflächenneuanlagen mit jeweils spezifischer Versuchsausrichtung Niederschlag im ertragskundlichen Versuchswesen gefunden. Sie prägen die derzeitige Verteilung der Versuchsarten, ihre Alterstruktur und Baumartenrepräsentanz. So weist das gegenwärtige

ertragskundliche Versuchsflächennetz in Bayern ein breites Spektrum verschiedener Versuchsarten zu den wichtigsten Baumarten auf. Insbesondere klassische Standraum- und Durchforstungsversuche zu den Hauptbaumarten, die sich auf die Analyse der Wechselwirkung zwischen Bestandsdichtesteuerung und Zuwachs von Einzelbaum und Bestand konzentrieren, wurden zum überwiegenden Teil in den ersten Jahrzehnten seit Gründung des Versuchswesens angelegt. Aktuell herrscht deshalb ein deutlicher Überhang an höheren Altersklassen insbesondere in dieser Versuchsart. Dies gilt prinzipiell aber auch für andere Versuchsarten (Abb. 1).

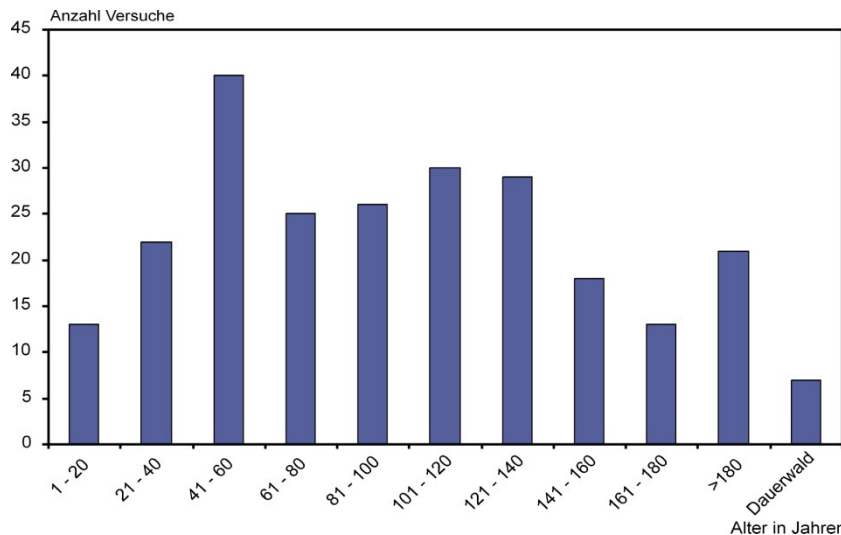


Abb. 1: Altersklassenverteilung der Versuchsanlagen im Netz ertragskundlicher Versuchsflächen in Bayern.

In den letzten 20 bis 30 Jahren sind zu den klassischen ertragskundlichen Fragestellungen neue hinzugekommen, die bisher nur in geringem Umfang Niederschlag in den Versuchsflächenneuanlagen gefunden haben. So wurde, dem waldbaulichen Zeitgeist folgend, der überwiegende Teil der Versuchsflächen in Reinbeständen angelegt oder als solche begründet. Die waldbauliche Zielsetzung in Bezug auf die Bestandeszusammensetzung hat sich in den letzten Jahrzehnten allerdings in Richtung Mischbestände gewandelt. Versuchsanlagen zu Mischbeständen wurden deshalb schwerpunktmäßig erst ab den 1990er Jahren angelegt und nehmen bisher nur einen geringen Anteil an der Flächenausstattung ein. Sie stellen aber, da heute auf weiten Landesflächen Mischbestände dominieren, eine wichtige Grundlage zur Bewertung von standortsbezogenen Konkurrenzmustern und Wechselwirkungen gemischter Baumarten und ihrer Auswirkungen auf deren Produktivität und Stabilität dar.

Die Mischbestandsforschung gewinnt auch vor dem Hintergrund des Klimawandels eine zunehmende Relevanz, da Mischbestände im Vergleich mit Reinbeständen in den meisten Fällen stabiler sind und ihre Bewirtschaftung risikoärmer ist. Der Klimawandel wird in weiten Bereichen Mitteleuropas zu einer Verschiebung der klimatischen Verhältnisse führen. In der Folge werden sich auch Ertragsleistung von Baumarten und ihr Konkurrenzverhalten in Mischbeständen anders ausprägen als unter rezenten Bedingungen und Konsequenzen für die Waldbehandlung nach sich ziehen. Um hier rechtzeitig Kenntnisse über die Wuchsdynamik unter geänderten Rahmenbedingungen zu erlangen, eignen sich beispielsweise Versuchsanlagen auf Standorten, die bereits jetzt klimatische Verhältnisse aufweisen, die für andere Regionen, Klimaprognosen nach zu urteilen, künftig zu erwarten sind. Auch weil frühere Versuchsanlagen häufig auf Böden, die für die jeweils betrachtete Baumart gute bis optimale Wuchsbedingungen boten, angelegt und standörtliche Randbereiche einer Baumart eher gemieden wurden, kann das Potenzial vieler Baumarten nicht umfassend beschrieben werden. Die gilt sowohl für Rein- als auch für Mischbestände.

Für einige heimische Baumarten wird der zu erwartende Klimawandel zu einer starken Einschränkung geeigneter Standorte führen, auf denen sich das Anbaurisiko in einem angemessenen Rahmen hält. Insbesondere die derzeit flächenmäßig und wirtschaftlich bedeutendste Baumart Fichte wird durch die Zunahme von Extremereignissen und Temperaturzunahme auf großer Fläche nur schwer zu halten sein. Auch deshalb stehen fremdländische Baumarten derzeit wieder im Fokus als Ersatzarten und klimaangepasste Alternativen. Für zahlreiche nicht heimische Baumarten liegen, zum Teil seit mehr als hundert Jahren Erfahrungen zur Anbaueignung vor. Allerdings wurden diese Anbauversuche nur in den wenigsten Fällen in Form von Ertrags- und Durchforstungsversuche weitergeführt, so dass Ergebnisse zur langfristigen Ertrags- und Stabilitätsentwicklung bzw. Behandlungs- und Mischungsmöglichkeiten mit heimischen Baumarten nur spärlich vorliegen.

Im Sinne einer nachhaltigen Sicherung und eines zukunftsorientierten Vorhaltens von Versuchsflächen, die es auch nachfolgenden Generationen erlauben, Antworten auf allgemeine und aktuelle ertragskundliche und waldbauliche Fragestellungen zu finden, erscheint es angebracht, den gegenwärtigen Stand an ertragskundlichen Versuchsflächen kritisch zu durchleuchten, auf seine Eignung hinsichtlich der aktuellen Herausforderungen zu überprüfen und Ansätze für die Weiterentwicklung und Flächenneuanlage zu entwickeln und zu diskutieren.

ÜBERLEGUNGEN ZUM VERSUCHSFLÄCHENBEDARF

Eine Bedarfsanalyse für ertragskundliche Versuchsflächen sollte sich aufgrund der vorher genannten Gründe im Wesentlichen an den beiden Kriterien Relevanz einer Baumart bzw. Baumartenmischung aus ökologisch/standörtlicher und waldbaulicher Hinsicht und der aktuellen Flächenausstattung orientieren. Bezüglich der Flächenausstattung müssen insbesondere die Baumart bzw. die Baumartenmischung, die Altersklassenverteilung, die Versuchsart und die Standortsabdeckung in Betracht gezogen werden. Im Folgenden sollen erste methodische Ansätze zur Evaluierung des Versuchsflächenbedarfs und seiner möglichen Umsetzung durch Neuanlagen auf der Fläche vorgestellt werden.

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

Tab. 1: Mittelfristiger Bedarf an baumarten- und versuchsartbezogenen Versuchsflächen

Priorität	Baumart/Bestandstyp	Versuchsart	Mischungstyp
1	Buchenmischbestand	Mischbestandsversuch	Bu-Fi, Bu-Ta, Bu-Dgl, Bu-Elh
2	Eichenmischbestand	Mischbestandsversuch	Ei-Bu, Ei-Hbu
3	Buche	Durchforstungsversuch	rein
4	Nicht heimische Baumarten	Durchforstungsversuch	rein
5	Bergmischwald	Mischbestandsversuch	Fi-Ta-Bu
6	Kiefer	Umbauversuche	Kie-Dgl, Kie-Fi, Kie-Bu

Das Hauptaugenmerk liegt auf Versuchsflächen mit der Baumart Buche bzw. Buchenmischbeständen. Die Buche nimmt für den bayerischen Raum eine zentrale Rolle ein. Zum einen liegt Bayern im Hauptverbreitungsgebiet der Buche und das Anbaurisiko wird sich auf großer Fläche kaum zu ihren Ungunsten verändern. Zum anderen führen die natürliche Konkurrenzkraft und aktive Waldumbaumaßnahmen zu zunehmenden Buchenanteilen in allen Waldbesitzarten. Der Buche wird insbesondere angesichts des Klimawandels eine bestandesstabilisierende Wirkung zugesprochen. Dabei wird über alle Waldbesitzarten hinweg aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten bei der Begründung von Buchenbeständen eine angemessene Beteiligung ertragsstarker Nadelbaumarten angestrebt. Zudem liegt die Produktivität entsprechender Mischbestände aus Buche und Nadelbaumarten auf vielen Standorten über der der korrespondierenden Reinbestände (z. B. Pretzsch et al. 2012). Die Beobachtung und Analyse der Wuchsdynamik von Buchenrein- und Buchenmischbeständen ist deshalb von aktuellem und künftigen Interesse.

Die Baumart Eiche, mit ihrer höheren Trockenheitstoleranz im Vergleich zur Buche wird in der planar-kollinen 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. Auf zahlreichen ehemaligen Sturmwurfflächen, insbesondere im südbayerischen Raum wurden die Kahlfelder 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.

Ertragskundliche Versuchsanlagen zu nicht heimischen Baumarten liegen nur im geringen Umfang vor. In Bayern existieren Versuche mit Douglasie, Roteiche, Esskastanie und verschiedenen Nussbaumarten. Nur in wenigen Fällen handelt es sich dabei um Durchforstungs- oder Mischbestandsversuche mit standörtlicher Variabilität, 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 untersucht werden.

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. Es ist

davon auszugehen, dass der Klimawandel zu einer Veränderung des Konkurrenzgefüges der beteiligten Baumarten führt und in Folge auch die Produktivität und Schutzfunktion der Bergmischwälder beeinflusst. Die bestehenden Versuchsanlagen im Bergmischwald spiegeln die Auswirkungen einer Klimaverschiebung auf die Bestandesentwicklung nur langfristig wider und erlauben kaum kurzfristige Aussagen zur waldbaulichen Anpassungsnotwendigkeit zur Aufrechterhaltung der Multifunktionalität. In diesem Zusammenhang erscheint es notwendig zu sein, Versuchsanlagen in existierenden Beständen aus Fichte, Tanne und Buche auf solchen Standorten anzulegen, die bereits heute für den Alpenraum vorhergesagte Klimabedingungen aufweisen.

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 die ehemaligen Kiefernreinbestände auch aufgrund der allgemeinen Standortverbesserung eine Unter- und Zwischenschicht aus anderen Baumarten, in vielen Fällen aus Fichte auf. Unter den Gesichtspunkten 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 in diesen Bestandestypen notwendig.

ÜBERLEGUNGEN ZUR MÖGLICHEN AUSGESTALTUNG KOMBINierter VERSUCHSANLAGEN ZUR BAUMART BUCHE

Für die Baumart Buche interessieren sowohl Versuchsbestände im Reinbestand als auch im Mischbestand. Insbesondere die Frage nach der standortspezifischen Produktivität und Reaktionsfähigkeit, also wie der Zuwachs, die Qualitätsentwicklung und Strukturentfaltung auf Einzelbaum- und Bestandesebene gesteuert werden und wie sie sich in Kombination mit beigemischten Nadel- bzw. Laubbaumarten darstellen, ist von herausragender forstwirtschaftlicher Bedeutung. Aus Gründen der Effizienz erscheint es zielführend, beide Aspekte, Rein- und Mischbestand in einer Versuchsanlage zu vereinen. Die kombinierte Anlage von Reinbestands- und Mischbestandsparzellen mit gestaffelten Mischungsanteilen aus Buche und anderen Baumarten erlaubt die Untersuchung der Mischungseffekte auf Bestandesproduktivität, -stabilität und Strukturvielfalt unter gleichen Standortbedingungen. Abb. 2 zeigt beispielhaft eine mögliche Versuchsflächenanlage für einen kombinierten Mischbestands- und Durchforstungsversuch mit Buche und beigemischten Nadel- und Laubbaumarten. Je nach standörtlicher Ausprägung können die beteiligten Mischbaumarten variieren.

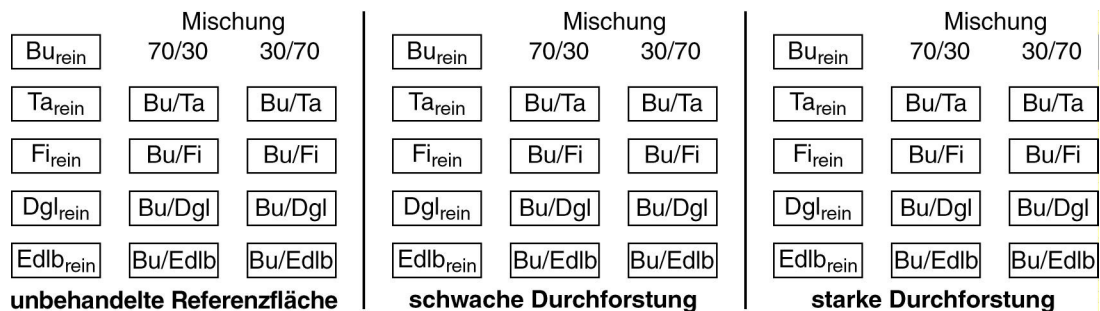


Abb. 2: Beispiel einer möglichen Versuchsanlage zur Untersuchung von Mischungs- und Durchforstungseffekten in Rein- und Mischbeständen aus Buche und Nadel- bzw. anderen Laubbaumarten

Diese Art an Versuchsanlagen verursacht einen hohen Flächenbedarf. Bei einer sinnvollen Parzellengröße von etwa 0,25 ha (inklusive Pufferzone) werden bei vier Mischbauarten, drei Mischungsrelationen und drei Durchforstungsstärken etwa 10 ha benötigt. Parzellenwiederholungen zur statistischen Absicherung sind dabei noch nicht berücksichtigt. Die Neuanlage in Form von Erstaufforstung- bzw. Wiederaufforstung nach Kalamitäten erscheint aus Gründen der Flächenverfügbarkeit und Frostgefährdung wenig erfolgversprechend. Besser, weil praxisnäher erscheint es, die Versuchsflächen in Altbeständen mit flächiger Verjüngung aus Buche, die je nach Versuchsanlage mit entsprechenden Mischbaumarten angereichert werden, anzulegen.

ÜBERLEGUNGEN ZUR STANDORTSAUSWAHL MÖGLICHER VERSUCHSANLAGEN

Vor dem Hintergrund des Klimawandels wird es notwendig, die standortsbedingten Wuchsbedingungen stärker im Versuchskonzept zu berücksichtigen. Dies wird beispielsweise durch die wiederholte Anlage gleichartiger Versuchsanlagen entlang eines standörtlichen Gradienten mit guten, mittleren und schwächeren Wuchsbedingungen erreicht. Um jedoch die möglichen Effekte der klimabedingten Veränderungen der Wuchsbedingungen auf das Wachstum ausreichend erfassen zu können, sollte der Gradient auch Versuchsstandorte umfassen, die bereits heute solche Wuchsbedingungen repräsentieren, die durch den Klimawandel künftig zu erwarten sind. Dabei sollten auch standörtliche Randbereiche einer Baumart einbezogen.

Wie sich der Klimawandel auf die klimatischen Wuchsbedingungen auswirkt, kann mit Hilfe einer Hauptkomponentenanalyse vereinfacht visualisiert werden. Anhand aktueller Klimawerte (Worldclim, Hijmans et

al. (2005)) der europäischen Level I Flächen werden durch Linearkombinationen von Klimaparametern entsprechende Hauptkomponenten ermittelt. Eingang finden dabei die relevantesten, wachstumssteuernden Klimaparameter (Durchschnittstemperatur der Monate Juni bis August, Niederschlagssumme der Monate Mai bis September sowie die durchschnittliche Januartemperatur). Eine Transformation echter Klimawerte durch die Hauptkomponenten erlaubt die Reduktion der Variablen und damit eine einfache, dimensionslose Beschreibung klimatischer Bedingungen einer Region oder eines Punktes. Diese werden dadurch vergleichbar. Abb. 3 zeigt die Ausprägung der beiden Hauptkomponenten für den europäischen Raum. Die erste Hauptkomponente beschreibt dabei im Wesentlichen den Grad der Wärme, die zweite repräsentiert einen Feuchtegradienten.

Dank des langen Gradienten von den höchsten Lagen der Alpen bis hin zu den warmen Hügellagen Unterfrankens ergibt sich ein relativ weites Segment des gegenwärtig in Bayern herrschenden Klimas innerhalb des europäischen Klimaraums (blaue Linie in Abb. 3).

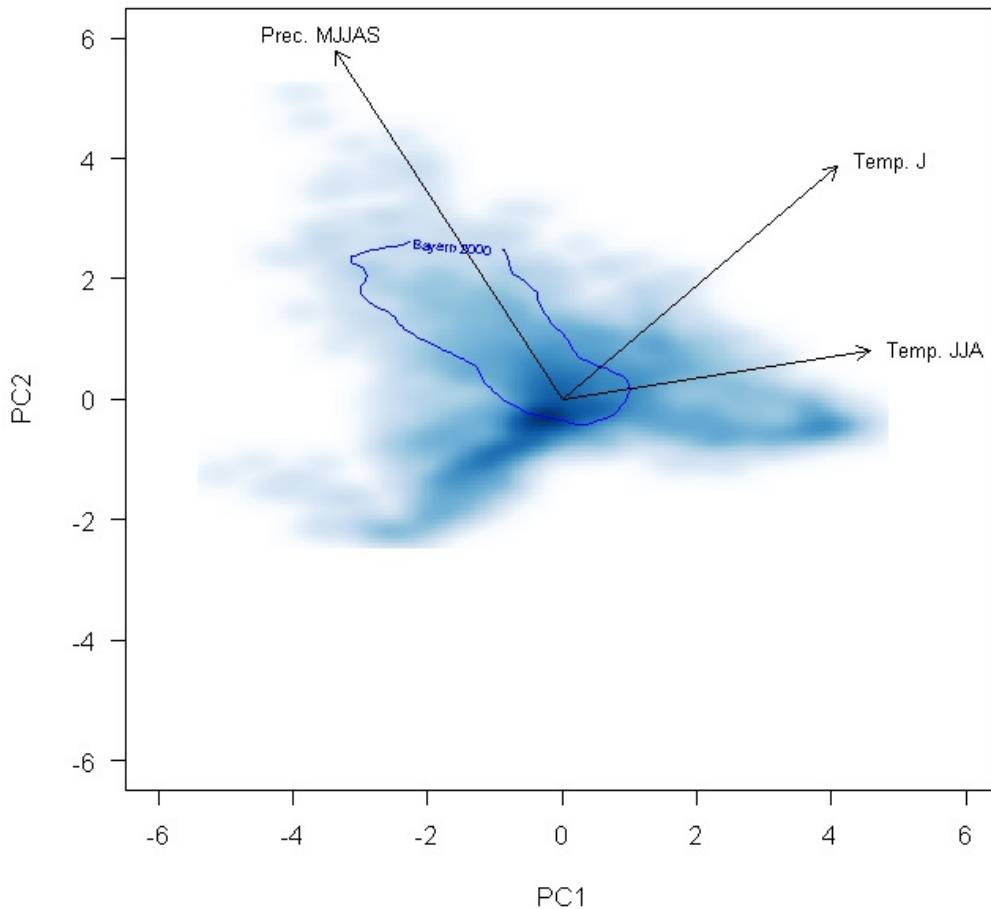


Abb. 3: Ausprägung des europäischen und bayerischen Klimaraumes in zweidimensionaler Darstellung über die ersten beiden Hauptkomponenten PC1 und PC2. Prec. MJJAS: durchschnittlicher Niederschlag in den Monaten Mai bis September, Temp. JJA: durchschnittliche Temperatur in den Monaten Juli bis August.

Auf Basis des Klimaszenarios B2A (IPCC, 2007) für das Jahr 2080 ergibt sich für Bayern im Wesentlichen eine Zunahme der Sommertemperatur. Dies wird in Abb. 4 durch die Verschiebung des Klimazustandes in Bayern im Jahr 2080 im Wesentlichen in positiver Richtung der PC1-Achse (gestrichelte Linie) deutlich.

Derzeit existierende Versuchsflächen in Bayern mit reiner Buche sind als Rauten eingezeichnet. Sie repräsentieren lediglich eine geringe Variabilität hinsichtlich der klimatischen Wuchsbedingungen und decken das mögliche standortsabhängige Wuchspotenzial der Buche nur unzureichend ab. So sind beispielsweise Standorte mit wärmeren Sommertemperaturen, deren Bedeutung durch den Klimawandel in Bayern zunehmen wird (nicht überlappender Teil des zukünftigen bayerischen Klimaraums in Abb. 4), derzeit nicht durch Versuchsflächen belegt. Umgekehrt geraten die jetzigen Versuchsflächen künftig an den kühlen Rand Bayerns, sie sind dann nicht mehr repräsentativ für die Bedingungen auf der gesamten Landesfläche. Es empfiehlt sich, bei der Festlegung neuer Versuchsstandorte auch solche Regionen einzubeziehen, denn sie ermöglichen die Abschätzung der

Wachstumsentwicklung und Steuerungsmöglichkeit von Wäldern unter Klimawandel für beträchtliche Flächenanteile in Bayern.

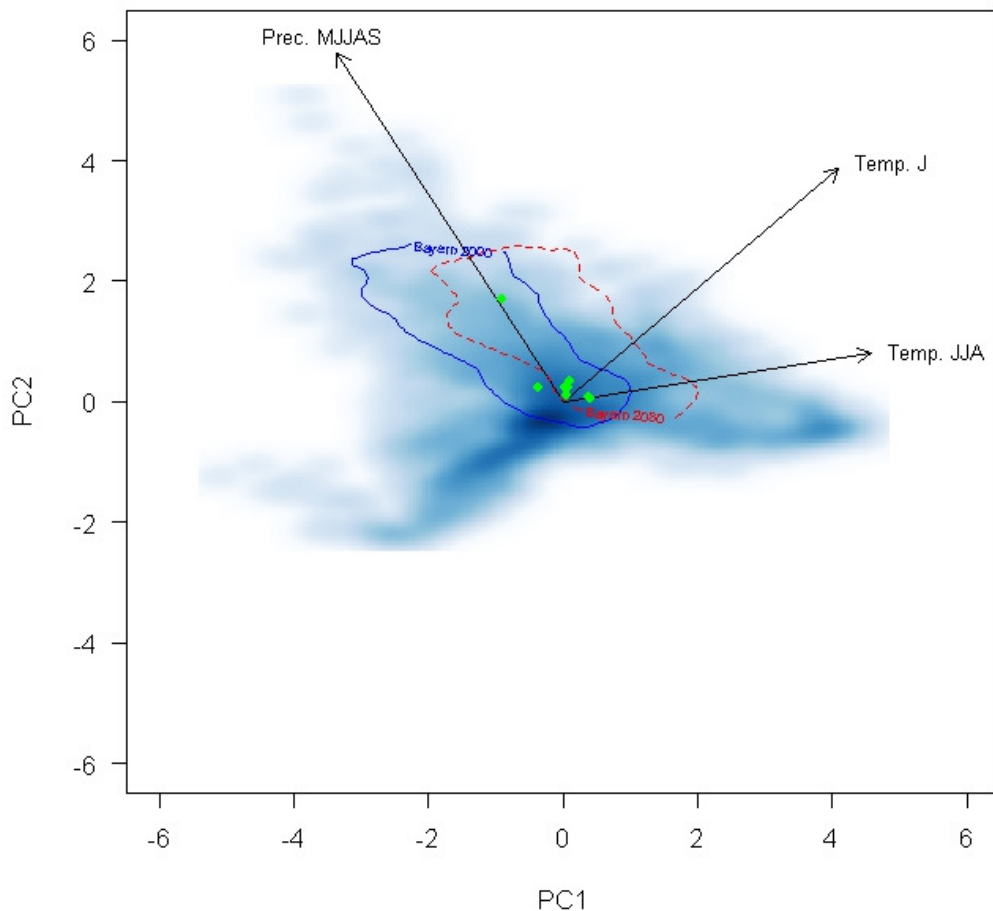


Abb. 4: Verschiebung des bayerischen Klimaraumes auf Basis des Szenarios B2A (gestrichelte Linie) mit Lage der bayerischen Versuchsfelder mit reiner Buche (Rauten).

Geeignete Bestände für zukunftsweisende Versuchsfelderneuanlagen können beispielsweise mit Hilfe von Inventurdaten vorsondiert und dann vor Ort beurteilt werden. Die standörtliche Einwertung und Lage innerhalb des gewünschten klimatischen Gradienten kann mit Hilfe geographischer Informationssysteme relativ leicht geprüft werden.

INSTITUTS- UND LÄNDERÜBERGREIFENDE KOOPERATION

Die Frage, ob die oben skizzierten Forschungsfragen nicht auch kostengünstiger durch Inventurdaten, beispielsweise auf Basis der Bundeswaldinventur beantwortet werden können wird häufig gestellt. Hierbei wird zumeist der Aspekt vernachlässigt, dass Inventuren nicht die zwischen den Inventurzeitpunkten ausgeschiedenen Bäume erfassen. Rückschlüsse auf die Wechselwirkung zwischen Bestandsbehandlung und Waldentwicklung sind deshalb kaum möglich. Notwendigkeiten und synergetische Effekte von langfristigen Versuchsfeldern und Inventurdaten wurden in Nagel et al. (2012) ausführlich diskutiert.

Die ertragskundlichen Versuchsfelder können zwar einem weiten Bereich an forstfachlichen Fragestellungen als Analysematerial dienen, sie decken aber bei weitem nicht alle Untersuchungsmöglichkeiten für drängende, z.T. durch den Klimawandel forcierte bzw. neuaufgekommene Fragen ab. Auch wenn zahlreiche Schnittstellen und Überschneidungsbereiche zu anderen forstwissenschaftlichen Disziplinen, beispielsweise dem Waldbau, der Forstgenetik oder Waldernährungslehre existieren, sind deren Untersuchungsansätze an abweichende Versuchsfelderanforderungen geknüpft und erfordern eigene Anlagen. Aufgrund der Überschneidungsbereiche, möglicher Anschlussfähigkeit und Kosteneffizienz erscheint ein intensiver Informationsfluss zwischen den beteiligten Institutionen, die mit mittel- bis langfristigen Versuchsfeldern arbeiten, aber dringend geboten.

Die in den letzten Jahren entwickelten statistischen Verfahren (z. B. gemischte Modelle) und deren einfache Handhabung durch Anwendungsprogramme (z.B. R) erleichtern und erweitern die Auswertungsmöglichkeiten von Experimenten, indem zahlreiche Variablen rasch analysiert werden können. Auch können, im Rahmen der Anlage

von Versuchsserien entstandene Ungenauigkeiten oder durch vom Plan abweichende Versuchsentwicklungen mit Hilfe dieser Modelle bei der Analyse berücksichtigt werden. Sie ersetzen jedoch nicht die Erfordernis einer ausreichenden Repräsentanz eines Standortsgradienten innerhalb von Versuchsserien, um Leistungsfähigkeit und Reaktionsfähigkeit einer Baumart unter sich ändernden Klimabedingungen befriedigend untersuchen zu können. In diesem Zusammenhang spielt die länderübergreifende Zusammenarbeit in Form konzertierter Versuchsanlagen eine wichtige Rolle. Aufgrund der natürlichen Ausstattung einzelner Länder mit Standorttypen kann in den wenigsten Fällen innerhalb einer Zuständigkeit eine ausreichende Amplitude an Standorten abgebildet werden, die zur Abschätzung der Variabilität einer Baumart notwendig wäre. Erfolgreiche Beispiele solcher länderübergreifenden Kooperationen, wenn auch z.T. zu anderen Forschungsfragen, liegen zahlreich vor (z.B. Klädtke et al. 2012).

ZUSAMMENFASSUNG

Der Beitrag stellt einen Konzeptentwurf für die Weiterentwicklung des ertragskundlichen Versuchswesens zur Diskussion. Im Vordergrund steht eine Bedarfsanalyse für Versuchflächenneuanlagen. Diese wird von der Idee geleitet, Versuchsflächen zu den heimischen Hauptbaumarten und wichtigen nicht heimischen Arten im Rein- und Mischbestand auf solchen Standorten vorzuhalten, die den künftig zu erwartenden Standortbedingungen der derzeitigen Anbauareale bereits jetzt entsprechen.

Das ertragskundliche Versuchswesen in Deutschland hat eine lange Historie. Die seit mehr als hundert Jahren unter Beobachtung stehenden Versuchsflächen haben in hohem Maße zum Verständnis von Waldökosystemen beigetragen und liefern wichtige Erkenntnisse zu Wachstum und Dynamik von Bäumen und Waldbeständen. Neben dem wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn versorgen Versuchsergebnisse die forstliche Praxis mit Wissensgrundlagen für die Entwicklung von Bestandsbehandlung- und -pflegekonzepten.

Der sich abzeichnende Klimawandel mit einhergehenden Veränderungen der Wuchsbedingungen in großen Bereichen Mitteleuropas erweitert die Palette an neuen ertragskundlichen Fragestellungen, deren Beantwortung durch das bestehende Versuchsflächennetz nur bedingt realisiert werden kann. So liegen beispielsweise die Versuchsflächen häufig im jeweiligen Wuchsoptimum einer Baumart. Auswirkungen künftiger Standortveränderung auf Produktivität und Ertragsleistung von Waldbeständen können damit nicht ausreichend untersucht werden. Weiterhin rückt vor dem Hintergrund zunehmender Extremereignisse die Frage nach der Resilienz und Stabilität in den Fokus. Damit gewinnen Mischbestände an Bedeutung, die im Versuchswesen bisher unterrepräsentiert sind.

Aus bayerischer Sicht wird der Bedarf an Versuchsflächenneuanlagen skizziert und eine mögliche Vorgehensweise bei der Umsetzung dargestellt. Aspekte der länderübergreifenden Kooperation, die bei Standortleistungsanalysen künftig unverzichtbar sind, werden angesprochen.

LITERATUR

- Assmann, E., (1961): Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. BLV Verlagsgesellschaft, München, Bonn, Wien, 490 S.
- 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): 1965–1978.
- IPCC (2007): Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Working Group I Report. The Physical Science Basis. Geneva
- Klädtke, J., Kohnle, U., Kublin, E., Ehring, A., Pretzsch, H., Uhl, E., Spellmann, H., Weller, A. (2012): Wachstum und Wertleistung der Douglasie in Abhängigkeit von der Standortgestaltung. *Schweiz Z Forstwes* 163 (3): 96–104
- Küsters, E., Bachmann, M., Steinacker, L., Schütze, G., Pretzsch, H. (2004): Die Kiefer im Rein- und Mischbestand: Produktivität, Variabilität, Wachstumstrend. *Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung* 52.
- 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, 111:116.
- Pretzsch, H., Uhl, E., Nickel, M., Steinacker, L. und Schütze, G. (2013): Das Ertragskundliche Versuchswesen in Bayern – Nachhaltigkeit in der Waldwachstumsforschung. *LWF Wissen* 72.
- 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: 712.