

Mischung im Klimawandel – Ein gutes, waldbauliches Instrument richtig umsetzen



1 Mit Naturverjüngung und Pflegeaufwand können auch bei Lichtbaumarten (Birke, Lärche, Kiefer) sehr innige Mischungen vollzogen werden. (E. Thurm)

Die Mischung als Handlungsoption

In unserer Beitragsreihe waldbauliche Handlungsoptionen im Klimawandel widmen wir uns jeweils einer von fünf Optionen zur Stabilisierung der Wälder (Übersichtsbeitrag Thurm 2020). Wurden in den vorangegangenen Beiträgen die Absenkung der Bestandesdichte und die Verkürzung der Umtriebszeit als Handlungsoptionen betrachtet, so soll es in dem aktuellen Artikel um die Erhöhung des Mischungsanteils in Wäldern gehen.

Die Baumartenmischung ist in dem Set der Handlungsoptionen zweifellos diejenige, die von allen Interessengruppen des Waldes die unumschränkte Zustimmung erhält. Schon 1886 beschrieb Carl Stumpf in seiner „Anleitung zum Waldbau“ die positiven Effekte der

Baumartenmischung bezüglich Holzmasse, Streu und Durchwurzelungsintensität, Kalamität, Verjüngungstätigkeit und Produktpalette. Trotz dieses Wissens um den Mehrwert der Mischung steht man 136 Jahr später immer noch der Kritik gegenüber, zu wenige Mischbestände etabliert zu haben. Woran liegt das?

Eine Ursache für die immer noch zaghafte Etablierung von Mischbeständen ist sicherlich die Unsicherheit in der Umsetzung. Besonders einzelbaum- und truppweise Mischungen gelten als sehr steuerungsintensiv und dadurch teuer. Die Sorge, dass durch Konkurrenz letztlich doch wieder Monokulturen entstehen ist groß, und die scheinbar ökonomischen Vorteile der Bewirtschaftung von Reinbeständen scheinen immer noch zu überwiegen. Es stellt sich somit die Frage, was sind die positiven Effekte und welche Mischungsform gilt es anzuwenden, um diese Effekte zu realisieren?

Positive Effekte

Mischbestände erfüllen viele ökologische und sozioökonomische Waldfunktionen und Leistungen – besser als Reinbestände z. B. Habitatbereitstellung für Pflanzen und Tiere oder Erholungsfunktionen für den Menschen (Dieler et al. 2017; Gamfeldt et al. 2013). Sie sind deshalb für eine integrative Forstwirtschaft, die verschiedene Waldfunktionen in ein und demselben Bestand oder Gebiet integriert, und nicht räumlich voneinander separiert (z. B. Hochleistungsplantage hier, Nationalpark dort), besonders geeignet.

Zahlreiche Untersuchungen zeigen, dass der Zuwachs von Mischbeständen unter günstigen Wuchsbedingungen deutlich höher ausfallen kann als der Zuwachs von vergleichbaren Reinbeständen (Jactel et al. 2018; Pretzsch et al. 2017). Das liegt unter anderem daran, dass die Arten durch unterschiedliche Ansprüche die zur Verfügung stehenden Ressourcen besser nutzen, eine sogenannte Komplementarität. Beispielsweise kommt es durch Schichtung im Kronendach, aber auch durch unterschiedliche Lichtausnutzung, zu einem höheren Zuwachs in Fichten-Tannen-, Douglasien-Buchen- oder Douglasien-Hemlocktannen-Beständen (Forrester et al. 2013; Thurm und Pretzsch 2016; Lewis et al. 2000).

Auch unter ungünstigen Bedingungen, wie z. B. Sturmwurfgefährdung, Trockenstress oder Käferbefall kann die Mischung positiv wirken. Insbesondere die Mischung von Arten mit unterschiedlichen Gefährdungen bzw. Toleranzen können Risiken verteilen und Totalverluste verhindern (Knoke 2017). Bei biotischen Schäden verursacht die Mischung stets auch eine Barrierebildung. Weniger gefährdete Arten wirken bestanderhaltend und bilden außerdem eine Barriere im Vergleich zur ungehinderten Ausbreitung von Insekten oder Pilzen in Reinbeständen. Besonders stark gefährdete Arten wie Fichte oder Lärche profitieren davon, wenn bei der Ausbreitung des Borkenkäfers der nächstliegende Baum nicht wieder gleich ein Fichte ist und so die Übersprungskette verzögert wird (Berthelot et al. 2021).

Die Beimischung von tiefwurzelnden Arten wie u. a. Tanne, Buche oder Eiche in Bestände

mit Flachwurzlern kann die Stabilität gegenüber Sturm wirkungsvoll erhöhen (Paul et al. 2019). Bei Dürren ergänzen sich die Wassernutzungsstrategien der Baumarten teilweise (Thurm et al. 2016). Des Weiteren können tiefwurzelnde Arten sowohl ihre eigene Wasserversorgung, aber auch die Wasserversorgung ihrer Nachbarn verbessern, durch den hydraulischen Aufwärtstransport (Zapater et al. 2011; Schäfer et al. 2017). Dieser Prozess der Begünstigung wird auch als Faszilitation bezeichnet.

Bäume verschiedener Arten sind durch ihre ökologischen Eigenschaften meistens unterschiedlich stark von Schäden betroffen (Pretzsch et al. 2018; Pretzsch et al. 2021). Trockenheit betrifft dominante Bäume häufig stärker als kleine Bäume; schnelleres Wachstum kann mit geringerer Abwehrkraft verbunden sein (Matyssek et al. 2012). Baumarten mit unterschiedlichen Lichtansprüchen sind zumeist selbstständig in der Lage diese stabilisierenden, vertikalen Strukturen aufzubauen. Bei einem Eintritt von Schäden überleben häufig zwischen- und unterständige Bäume. Sie kompensieren den Zuwachsausfall dominanter und verhindern größere Kahlflecken.

Welche Mischungsform wird benötigt?

Bei der Nennung der zahlreichen möglichen Effekte wird vielleicht schon deutlich, dass sich diese nicht einstellen, wenn die Mischung aus zwei nebeneinander liegenden „Blöcken“ besteht. Der Fichte als Flachwurzler hilft es im Sturmfall nicht, wenn die nächste Tanne 50 Meter entfernt steht. Das Schadrisiko des Kiefern-Prachtkäfers minimiert sich nur, wenn die Buche den Kiefernstamm tatsächlich beschattet und auch die Lärche profitiert von einer besseren Nährstoffausstattung nur, wenn die Eichenstreu direkt in ihren Wurzelbereich fällt.

Die Konsequenz ist – Macht Mischungsabstände minimal – und somit landet man folglich bei einer einzelbaum- bis truppweisen Mischung.



2 Aus der Vogelperspektive sind die Buchen kaum noch zu erkennen in dem Kiefern-Douglasien-Buchen-Bestand. Hier ist eine aktive Förderung der Buchen notwendig, um auch weiterhin alle Baumarten am Bestandaufbau zu beteiligen (Versuchsfläche Ruthenbeck 99). (E. Thurm)

Ein Beispiel der Umsetzung

Die gute Nachricht ist, die Mischung – eine Baumart neben der anderen – muss nicht über das ganze Bestandesleben realisiert werden. Gerade in jungen Beständen (bis Ende des Stangenholzphase) werden die positiven Mischungseffekte überlagert durch Konkurrenzeffekte zwischen den Arten (Thurm und Pretzsch 2016). Dennoch muss schon zu Bestandesbeginn darauf geachtet werden, dass es die räumliche Ordnung ermöglicht, im Altbestand eine einzelbaum- bis truppweise Mischung zu erreichen. Daher ist es wichtig, sich die späteren Kronengrößen der jeweiligen Baumarten vor Augen zu halten (siehe Tabelle 1). Ein Anhaltspunkt dafür können

die Ertragstafeln sein, mit denen man alters- und dichteabhängig den entsprechenden Standraum der Bäume berechnen kann.

Ein weiterer Punkt der Mischung ist die Anzahl der beteiligten Baumarten. Viel hilft viel – ist hier keinesfalls zielführend. Untersuchungen haben ergeben, dass der positive Effekt sich mit steigender Baumartenanzahl logarithmisch einem maximalen Wert annähert. Diese Annäherung ist regionalspezifisch, was für Mitteleuropa bedeutet, dass hier schon deutlich weniger Baumarten im Bestand ausreichen, um den maximalen Produktivitätseffekt zu erreichen, als beispielsweise in den Tropen (Liang et al. 2016). Als Richtwert kann man hier zwei bis drei Baumarten pro Bestand ansetzen. Darunter fallen jedoch maßgeblich bestandsbildende Arten – nicht die eine Birke am Wegesrand.

Baumart	Ertragstafel	Bezugsalter (in Jahren)	Oberhöhe (m)	Standraum (m ²)	Stammzahl (N)	Kronendurchmesser (m)
Eiche	Erteld 1961	160	32.9	79	127	10.0
Douglasie	Bergel 1985	100	45.5	69	145	9.4
Roteiche	Bauer 1955	100	32.2	66	152	9.2
Buche	Dittmar, Knapp, Lembcke 1983	130	37.5	56	179	8.4
Erle	Lockow 1994	80	30.9	40	248	7.2
Kiefer	Lembcke, Knapp, Dittmar 1975	110	29.7	34	294	6.6
Fichte	Wenk, Römisch, Gerold 1984	100	34.2	24	410	5.6

Tabelle 1 Abgebildet sind die Stammzahlen und der sich daraus ergebende Standraum des Einzelbaums und der Kronendurchmesser. Dadurch bekommt man einen Eindruck für die räumliche Ordnung der Mischung bei der Verjüngungsplanung.



3 Erstaufforstungsfläche Satow 97 – Deutlich ist die reihenweise Pflanzung von Traubeneiche und Buche bzw. im hinteren Bereich der Winterlinde zu erkennen. In den Buchen- oder Winterlindenpartien ist jede fünfte Pflanze eine Hainbuche oder eine Wildkirsche. Alle Baumarten sind auch heute – nach 25 Jahren – noch vorhanden! (E. Thurm)

Die Mischung umgesetzt!

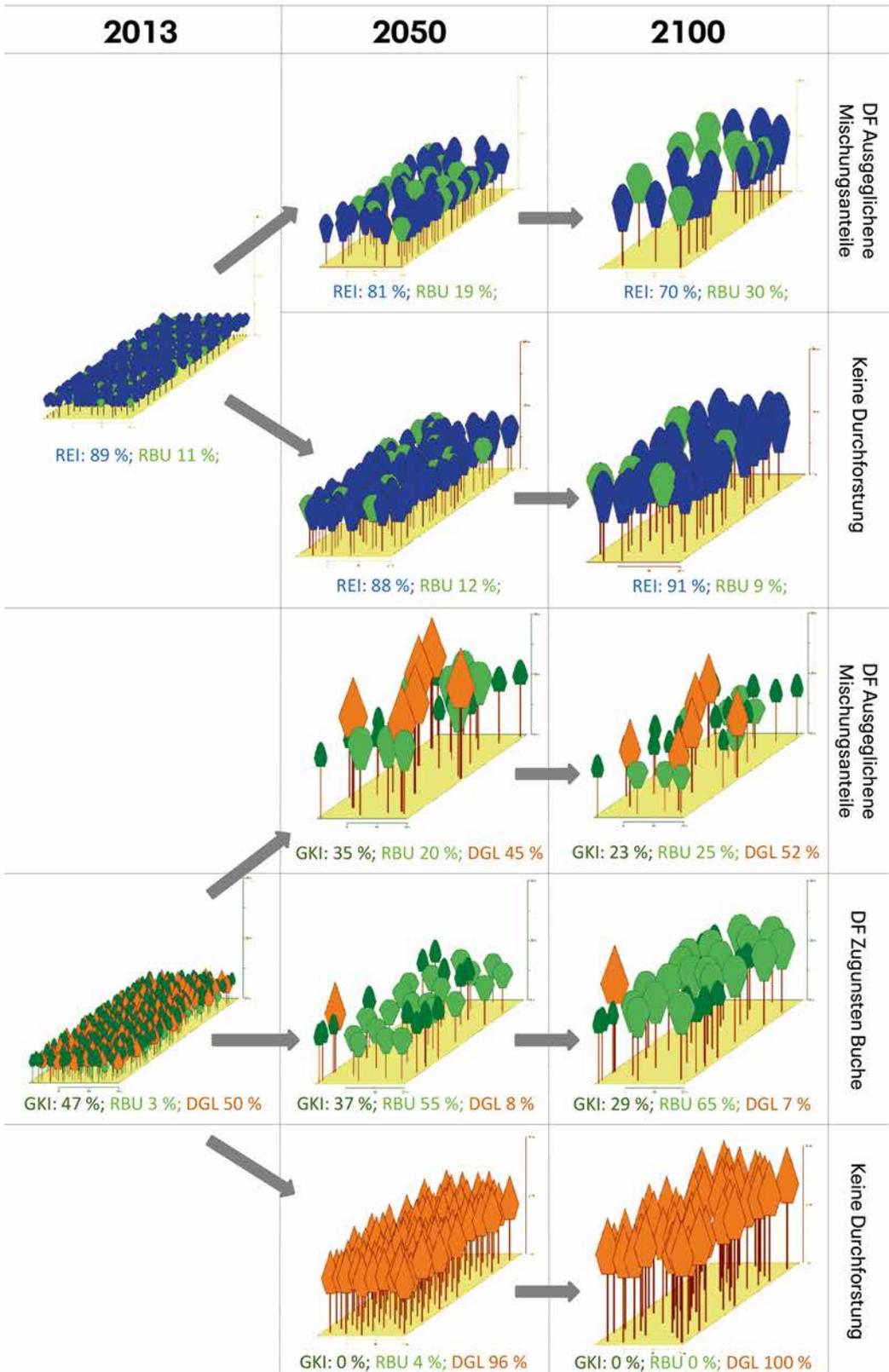
Als Anschauungsbeispiel sollen uns zwei Versuchsstandorte dienen, die vor 25 Jahren als Erstaufforstungsversuche begründet worden sind. Gerade auf solchen Flächen können sehr gut schematische Mischungen angelegt und untersucht werden. Daher sind die Flächen auch heute noch Teil unseres langfristigen, waldwachstumskundlichen Versuchsnetzes. Beide Versuchsstandorte sind rund 11 Hektar groß. Sie beinhalten Bestände mit unterschiedlichen Baumarten und Mischungsformen. Der erste Versuchsstandort (Satow 97, siehe Abb. 3) befindet sich im Forstamt Wredenhagen und ist mit verschiedenen Laubholz-Mischungen (Eiche, Buche, Linde, Kirsche, Hainbuche) begründet worden. Der zweite Versuchsstandort (Ruthenbeck 99) liegt im Forstamt Friedrichsmoor und verfügt sowohl über Laubholz- als auch über Laub-Nadelholz-Mischungen (Douglasie, Kiefer, Lärche, Buche, Eiche, Roteiche).

Die Mischungen sind zum Teil reihenweise, aber auch einzelstammweise-alternierend angelegt worden (z. B. auf fünf Eichen folgt eine Hainbuche). Zwei der Parzellen vom Versuchsstandort Ruthenbeck 99 haben wir nun in den Waldwachstumssimulator SILVA fortzuschreiben lassen (siehe Abb. 4), um zu zeigen, wie sich diese Mischungen entwickeln könnten und welcher waldbauliche Spielraum sich mit solch intensiven Mischungen bietet. Dabei werden unterschiedliche Szenarien unterstellt: 1) Durchforstung, um einen ausgeglichenen, Mischungsanteil aller Baumarten zu erhalten;

2) Keine Durchforstung (DF) oder 3) Fokus der Durchforstung auf einen möglichst hohen Buchenanteil.

Bei der ersten Mischung handelt es sich um eine Roteichen-Buchen-Mischung (siehe Abb. 4 oberer Teil), wobei immer nach vier Roteichen eine Buche gepflanzt wurde. Mittlerweile sind die stärksten Roteichen 14,5 Meter hoch und überragen die Buchen um 4 Meter. Die Buchen wachsen durch ihre Schattentoleranz jedoch weiter mit. Die Mischung erhält sich auch über das Bestandesleben recht innig. Das wird auch ersichtlich an dem Szenario „keine Durchforstung“, wo sich die Buche ebenfalls über das gesamte Bestandesleben in der Mischung erhält. Sobald die Buche in die Phase des schwachen Baumholzes kommt, wäre sie in der Lage, den Höhenvorsprung der Roteiche ein- und im starken Baumholz sogar zu überholen. Dafür müssten einzelne Buchen jedoch regelmäßig freigestellt werden. Dass die Mischung auch im hohen Alter noch funktioniert, zeigt unsere 125-jährige Versuchsfläche Dargun 18 im gleichnamigen Forstamt.

Die zweite Mischung (Abb. 4, unterer Teil) besteht aus Kiefern, in denen abwechselnd jede fünfte Pflanze eine Douglasie oder eine Buche ist. Nach 25 Jahren sind ohne Durchforstung immer noch 330 Buchen pro Hektar vorhanden, auch wenn diese ein sehr hohes H/D-Verhältnis besitzen. Die stärksten Douglasien mit 16 Metern und die Kiefern mit 15,5 Metern haben einen deutlichen Wuchsvorsprung gegenüber den bis zu 11 Meter hohen Buchen. Mit nun einsetzender permanenter Förderung der Kiefern und der Buchen wollen wir diesen Bestand zu einem sehr produktiven Misch-



4 Fortschreibung zweier Versuchspartellen (Ruthenbeck 99) aus Roteiche (REI) – Rotbuche (RBU) und Kiefer (GKI) – Douglasie (DGL) – Rotbuche (RBU) im Alter von 15 Jahren mithilfe des Waldwachstumssimulators SILVA. Hinterlegt wurden unterschiedliche Szenarien zur Durchforstung. Die dargestellten Parzellen sind 0,12 ha groß (Kantenlänge 30 x 40 m). (T. Hilmers / E. Thurm)



5 So könnte sich die beschriebene Roteichen-Buchen-Fläche aus unserer Erstaufforstung einmal entwickeln. Zu sehen ist der älteste Versuchsstandort des Landes (Dargun 18). Er wird schon seit 1953 waldwachstumskundlich aufgenommen.

bestand entwickeln. Theoretisch wäre es, wie im Szenario „Durchforstung zugunsten der Buche“ auch noch möglich, den Bestand fast in einen reinen Buchenbestand zu entwickeln! Das ermöglicht die zur Begründung genutzte räumliche Verteilung. Diese Entwicklung würde jedoch sehr stark zulasten des Zuwachses verlaufen. Würde man den Bestand auch weiterhin nicht durchforsten, würde sicherlich die wuchskräftige Douglasie den Bestand dominieren (siehe Abb. 2). Die Simulation geht sogar davon aus, dass schon im Alter 50 sich ein reiner Douglasienbestand einstellt. Dabei muss man beachten, dass in dem Simulator keine Risiken wie Sturm, Kalamitäten oder Dürren eingeplant sind. Derzeit haben wir es auf dem Versuchsstandort mit der „Ackersterbe“ zu tun. Verur-

sacht durch den Wurzelschwamm, fallen aktuell nicht unerhebliche Teile der Douglasie aus. Eine gruppen- oder horstweise Mischung bis zu 0,5 Hektar hätte hier zwangsweise Zuwachsverlust zur Folge. Eventuell müssten sogar die anfangs getätigten Investitionen wiederholt werden! Durch unsere einzelbaumweise Mischung sind die Folgen jedoch nicht gravierend und Kiefern nutzen derzeit sehr effektiv die entstandenen Löcher.

Ausblick zu neuen Erkenntnissen

Diese vorgestellten Flächen geben einen Einblick, welchen waldbaulichen Spielraum man durch Mischung erlangt und wie schnell, am Beispiel der Ackersterbe, solche Mischungsformen unmittelbar auch ökonomisch wertvoller werden.

Auch wenn viele positive Eigenschaften von Mischungen schon früh beschrieben worden sind, die tatsächlich quantifizierbaren Erkenntnisse sind größtenteils erst in den letzten zwei Jahrzehnten erfolgt. Die heterogenen Bedingungen in Mischbeständen machen es deutlich aufwendiger, Prozesse zu verstehen. Besonders die Wachstumsbeziehungen wurden deshalb größtenteils aus Reinbeständen abgeleitet und auch das langfristige, waldwachstumskundliche Versuchsmessnetz in M-V besteht derzeit noch aus 80 Prozent Reinbeständen. Gerade aber das Verständnis von Durchforstungsstärke und Standort ist wichtig,

Mischungsanteil

Die Berechnung des Mischungsanteils kann sehr kontrovers betrachtet werden. Ökologisch sinnvoll ist es, den Überschirmungsgrad der jeweiligen Baumarten als Grundlage zu nutzen. Dieser kommt dem tatsächlichen Ressourcenverbrauch einer Baumart im Bestand am nächsten. Grundfläche oder gar Baumartenanzahl sind hierfür schlechte Weiser, denn sie sind baumartenspezifisch sehr unterschiedlich. Da der Überschirmungsgrad für viele forstbetriebliche Flächen meistens nicht zur Verfügung steht, kann man als Weiser auch den Bestockungsgrad verwenden. Dieser berücksichtigt – neben der Baumart – auch die alters-typische Veränderung der Grundfläche und die Bonität.

um Mischungen effektiv zu gestalten (Thurm und Pretzsch 2021). Daher wurde im Sachgebiet Waldbau/Waldwachstum des Forstlichen Versuchswesens die letzten zwei Jahre der Anteil an Mischbestandsflächen erhöht, um für den laufenden Waldumbau die zugehörigen Umweltdaten zu liefern. Zwei wesentliche Mischbestandsflächen für unsere Untersuchungen sind die schon beschriebenen Erstaufforstungen Ruthenbeck 99 und Satow 97. 2021 wurde im Forstamt Schuenhagen eine weitere Mischbestandsfläche auf Nassstandorten angelegt (Schuenhagen 19). Gemischt wurden hier Japanische Lärche mit Stieleiche und Schwarznuss sowie verschiedene Birkenarten.

Mischungsregulierung, Bestandesdichte und klimatische Anpassungen sind Fragen, die die forstliche Forschung auch die nächsten Jahre noch weiter beschäftigen werden. Neben den genannten Versuchsflächen bedarf es dazu nochmals einer ganz anderen Dimension des Versuchsaufbaus. Dafür wurde am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde (TU München) das Versuchskonzept 2100 entwickelt. Dieses Konzept soll es ermöglichen, durch vereinheitlichte Versuchsflächen länderübergreifend den Effekt von Dichte, Mischungsanteil und Standort deutlich differenzierter zu untersuchen. In M-V werden dazu derzeit 12 Hektar Versuchsfläche im Forstamt Friedrichsmoor und 3 Hektar im Forstamt Schuenhagen angelegt.

Die Mischung von Baumarten ist eine Handlungsoption, die viel waldbauliches Können, aber auch Zeit der Bewirtschafter*innen im Wald verlangt. Aufgrund der klimatischen, aber auch politischen Rahmenbedingung ist dies jedoch eine lohnende Investition.

Dr. Eric Andreas Thurm
Sachgebiet Waldbau und Waldwachstum;
Betriebssteil Forstplanung,
Versuchswesen, Informationssystem
Landesforstanstalt

Dr. Torben Hilmers
Lehrstuhl für Waldwachstumskunde;
TU München

Prof. Dr. Dr. h. c. Hans Pretzsch
Lehrstuhl für Waldwachstumskunde;
TU München

Literaturverzeichnis

- Berthelot, Sylvie; Frühbrodt, Tobias; Hajek, Peter; Nock, Charles A.; Dormann, Carsten F.; Bauhus, Jürgen; Fründ, Jochen (2021): Tree diversity reduces the risk of bark beetle infestation for preferred conifer species, but increases the risk for less preferred hosts. In: *J Ecol* 109 (7), S. 2649–2661. DOI: 10.1111/1365-2745.13672.
- Dieler, Jochen; Uhl, Enno; Biber, Peter; Müller, Jörg; Rötzer, Thomas; Pretzsch, Hans (2017): Effect of forest stand management on species composition, structural diversity, and productivity in the temperate zone of Europe. In: *Eur J Forest Res* 150 (4), S. 175. DOI: 10.1007/s10342-017-1056-1.
- Forrester, David I.; Kohnle, Ulrich; Albrecht, Axel T.; Bauhus, Jürgen (2013): Complementarity in mixed-species stands of *Abies alba* and *Picea abies* varies with climate, site quality and stand density. In: *Forest Eco Manag* 304, S. 233–242. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.04.038.
- Gamfeldt, Lars; Snäll, Tord; Bagchi, Robert; Jonsson, Micael; Gustafsson, Lena; Kjellander, Petter et al. (2013): Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. In: *Nature communications* 4, S. 1340. DOI: 10.1038/ncomms2328.
- Jactel, H.; Gritti, E. S.; Drössler, L.; Forrester, D. I.; Mason, W. L.; Morin, X. et al. (2018): Positive biodiversity-productivity relationships in forests. Climate matters. In: *Biology letters* 14 (4). DOI: 10.1098/rsbl.2017.0747.
- Knoke, Thomas (2017): Economics of Mixed Forests. In: Hans Pretzsch, David I. Forrester und Jürgen Bauhus (Hg.): *Mixed-Species Forests*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 545–577.
- Lewis, J. D.; McKane, R. B.; Tingey, D. T.; Beedlow, P. A. (2000): Vertical gradients in photosynthetic light response within an old-growth Douglas-fir and western hemlock canopy. In: *Tree Physiology* 20 (7), S. 447–456. DOI: 10.1093/treephys/20.7.447.
- Liang, Jingjing; Crowther, Thomas W.; Picard, Nicolas; Wiser, Susan; Zhou, Mo; Alberti, Giorgio et al. (2016): Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests. In: *Science* 354 (6309), S. 196–209. DOI: 10.1126/science.aaf8957.
- Matyssek, Rainer; Schnyder, Hans; Obwald, Wolfgang; Dieter, Ernst; Munch, Jean Charles; Pretzsch, Hans (2012): Growth and Defence in Plants. Resource Allocation at Multiple Scales. Unter Mitarbeit von Jean Charles Munch, Wolfgang Obwald, Hans Pretzsch, Hans Schnyder und R. Matyssek. 1st ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg (Ecological Studies, v. 220). Online verfügbar unter <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=994665>.
- Paul, Carola; Brandl, Susanne; Friedrich, Stefan; Falk, Wolfgang; Härtl, Fabian; Knoke, Thomas (2019): Climate change and mixed forests: how do altered survival probabilities impact economically desirable species proportions of Norway spruce and European beech? In: *Ann For Sci* 76 (1). DOI: 10.1007/s13595-018-0793-8.
- Pretzsch, Hans; Forrester, David I.; Bauhus, Jürgen (Hg.) (2017): *Mixed-Species Forests*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Pretzsch, Hans; Motte, F.; Grams, Thorsten E. E.; Pritsch, K.; Hesse, B.; Häberle, Karl-Heinz (2021): Fichten und Buchen bei Trockenheit im Rein- und Mischbestand. In: *AFZ-Der Wald* (20), S. 12–15.
- Pretzsch, Hans; Schütze, Gerhard; Biber, Peter (2018): Drought can favour the growth of small in relation to tall trees in mature stands of Norway spruce and European beech. In: *Forest Ecosystems* 5 (1), S. 20. DOI: 10.1186/s40663-018-0139-x.
- Schäfer, Cynthia; Grams, Thorsten; Rötzer, Thomas; Feldermann, Aline; Pretzsch, Hans (2017): Drought Stress Reaction of Growth and $\Delta 13C$ in Tree Rings of European Beech and Norway Spruce in Monospecific Versus Mixed Stands Along a Precipitation Gradient. In: *Forests* 8 (6), S. 177. DOI: 10.3390/f8060177.
- Thurm, Eric Andreas (2020): Trockenjahre 2018/19 und wie weiter? Waldbauliche Optionen im Klimawandel. In: *immergrün extra Frühjahr/Sommer* (1), S. 10–15.
- Thurm, Eric Andreas; Pretzsch, Hans (2016): Improved productivity and modified tree morphology of mixed versus pure stands of European beech (*Fagus sylvatica*) and Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) with increasing precipitation and age. In: *Ann For Sci* 73 (4), S. 1047–1061. DOI: 10.1007/s13595-016-0588-8.
- Thurm, Eric Andreas; Pretzsch, Hans (2021): Growth-density relationship in mixed stands – Results from long-term experimental plots. In: *Forest Eco Manag* 483, S. 118909. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118909.
- Thurm, Eric Andreas; Uhl, Enno; Pretzsch, Hans (2016): Mixture reduces climate sensitivity of Douglas-fir stem growth. In: *Forest Eco Manag* 376, S. 205–220. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.06.020.
- Zapater, Marion; Hossann, Christian; Bréda, Nathalie; Bréchet, Claude; Bonal, Damien; Granier, André (2011): Evidence of hydraulic lift in a young beech and oak mixed forest using 18O soil water labelling. In: *Trees* 25 (5), S. 885. DOI: 10.1007/s00468-011-0563-9.