

Baumartenmischung als Maßnahme zur Erhöhung der Resilienz – Erkenntnisse aus Experimenten weltweit

Michael Scherer-Lorenzen

Zusammenfassung

Diese Analyse untersucht den kausalen Zusammenhang zwischen Baumartendiversität und der ökologischen Stabilität, wobei die dynamische Natur von Ökosystemen betont wird. Unter Nutzung eines globalen Netzwerkes von Baumdiversitätsexperimenten werden folgende Punkte dargelegt. Zeitliche Stabilität der Produktivität: Eine höhere Diversität korreliert mit einer gesteigerten zeitlichen Konstanz des Zuwachses. Dieser Effekt wird primär durch die Asynchronität der Artenreaktionen auf fluktuierende Umweltbedingungen erklärt (»Versicherungseffekt«), wodurch die Variabilität der Gesamtsystemleistung reduziert wird. Resistenz, Resilienz: Artenreiche Bestände zeigen eine höhere Resistenz gegenüber biotischen und abiotischen Stressoren (insb. Dürre), was auf Ressourcen-Komplementarität (z.B. Nischennutzung im Bodenraum) und eine geringere Anfälligkeit für spezialisierte Pathogene zurückzuführen ist. Die Resilienz (Erholungsrate) kann in artenarmen Systemen aufgrund geringerer interspezifischer Konkurrenz nach Störungsereignissen paradoxerweise höher ausfallen. Ökosystemleistungen: Mischbestände weisen eine signifikante Multifunktionalität auf. Sie übertreffen Monokulturen in nahezu allen Leistungsindikatoren (C-Sequestrierung, Bodenschutz, Biodiversitätserhalt), mit Ausnahme der spezifischen Stammholzproduktion. Fazit: Baumartendiversität kann als funktionales Instrument zur Steigerung der Systemstabilität fungieren und eine essenzielle Strategie zur Adaption von Produktionswäldern an den globalen Umweltwandel darstellen.

Summary

Does tree species diversity enhance resilience? Evidence from global experiments

This study explores the causal link between tree species diversity and ecological stability, framing ecosystems as inherently dynamic rather than static. Based on data from a global network of tree diversity experiments, the following points are highlighted. Temporal stability of productivity: Higher diversity leads to more consistent growth over time. This is driven by the asynchrony of individual species' responses to environmental fluctuations – the »insurance effect« – which stabilizes the overall productivity of the system. Resistance, resilience: Diversified stands show greater resistance to biotic and abiotic stressors, especially drought, due to resource complementarity (such as spatial niche partitioning) and reduced vulnerability to specialized pathogens. In contrast, resilience (the rate of recovery) shows a more nuanced trend, where species-poor systems may recover faster because of reduced interspecific competition after a disturbance. Ecosystem services: Mixed stands exhibit higher multifunctionality, outperforming monocultures across nearly all ecosystem services – including carbon sequestration, soil protection, and biodiversity conservation – except for specific stemwood production. Conclusion: Tree species diversity acts as a functional tool to increase system stability and is a key component of adaptation strategies for production forests facing global environmental change.

Der Beitrag basiert auf einem von dem Autor überarbeiteten Transkript seines Vortrags vom 24. März 2026 in der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

✉ Prof. Dr. Michael Scherer-Lorenzen, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Fakultät für Biologie, Professur Geobotanik, Schänzlestraße 1, 79104 Freiburg; michael.scherer@biologie.uni-freiburg.de

Einführung

Während der Zustand und die Gefährdung der Wälder gut dokumentiert und auch ursächlich gut verstanden sind, werden zur Frage nach Maßnahmen und Lösungen für die nachhaltige Nutzung und den Erhalt unserer Wälder ganz verschiedene Ansätze diskutiert. Ein oft vorgeschlagener Weg ist die Förderung von Baumartenmischungen. Dahinter steckt als zentrale Frage, ob wir die Biodiversität (hier: Baumartenzahl) als Werkzeug nutzen können, um Wälder »stabiler« zu machen und gleichzeitig die vielfältigen Waldfunktionen zu gewährleisten. In den letzten 10–20 Jahren, in denen sich dieses Feld entwickelt hat, gab es zu dieser Frage wenig empirische experimentelle Forschung.

Spricht man von Stabilität, begegnet einem fast zwangsläufig ein hartnäckiger Mythos, nämlich der Mythos des »Gleichgewichts der Natur« (Kricher 2009). Der Mythos geht zurück auf Aristoteles und sollte meiner Meinung nach sehr schnell und sehr tief begraben werden. Ökosysteme befinden (und befanden) sich nicht in einem »stabilen« Gleichgewicht, sondern verändern

sich immer und ständig dynamisch. Dies gilt, weil es Evolution gibt, weil es zeitlich-räumliche Dynamiken ökologischer Prozesse gibt, weil es natürliche und anthropogene Störungsereignisse gibt, die immer wieder dazu führen, dass ein System von außen angestoßen wird und sich weiterentwickelt, z. B. indem Sukzessionsentwicklungen angestoßen werden, und weil unterschiedliche Zeitskalen zu beachten sind. Auch ein Buchenwald in seiner Optimalphase, der aus menschlicher Sicht als stabiles Gleichgewicht erscheint, wird in einigen Jahrzehnten in seine Zerfallsphase übergehen.

Ökologische Stabilität

Zur ökologischen Stabilität gibt es gemäß Grimm & Wissel (1997) 163 Definitionen aus 70 verschiedenen Stabilitätskonzepten. Ein wichtiger Aspekt fast aller Konzepte ist die Resistenz oder Widerstandsfähigkeit (engl. *resistance*), d. h. die Fähigkeit eines Ökosystems, einer Störung ohne wesentliche Veränderungen standzuhalten. Wird ein System durch eine Störung verändert, z. B. die stehende Biomasse durch ein Feuer reduziert, so bezeichnet Resilienz (*resilience*) die Fähigkeit und Geschwindigkeit eines Systems, nach dieser Störung wieder in einen funktionsfähigen Zustand zurückzukehren. Mathematisch ausgedrückt, ist die Resilienz die Rückkehrrate in Abb. 1 (oben). Die Erholung (*recovery*) ist die Differenz zwischen dem minimalen Zustand während bzw. kurz nach der Störung und dem neuen Zustand. Ein weiteres, häufig genutztes Maß für die Stabilität ist die Variabilität (*variability*) einer Zustandsvariablen über die Zeit. In einem sehr variablen System verändern sich die Komponenten im Laufe der Zeit stark; in Abb. 1 (unten) ist das untere, weniger stark fluktuierende System stabiler in Bezug auf seine Variabilität als das obere.

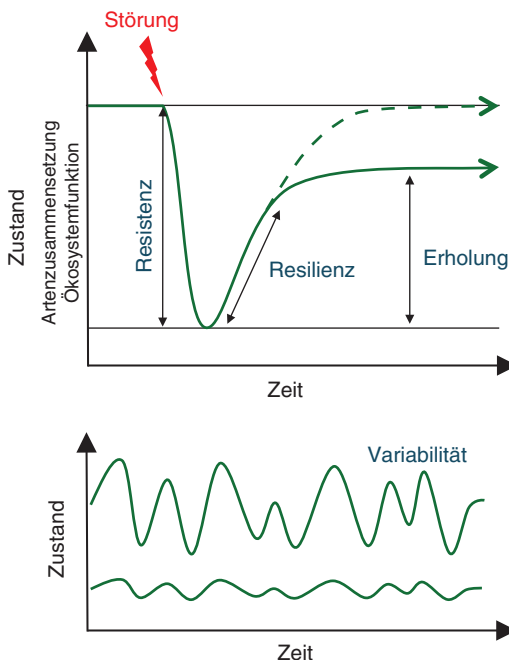


Abb. 1. Schematische Darstellung der Begriffe Resistenz, Resilienz, Erholung und Variabilität. – Eigene Darstellung.

Baumdiversitätsexperimente

Es gibt ein globales Netzwerk an sogenannten Baumdiversitätsexperimenten (Tree Diversity Network, TreeDivNet), d. h. Experimenten, bei denen auf einer einheitlichen Fläche Versuche mit verschiedenen Baumarten in Rein- und Mischbeständen angelegt wurden (Paquette et al. 2018). Diese Experimente sind nötig, da sich natürliche Bestände hinsichtlich des Klimas

und der Exposition, des Mikroklimas und des Bodens, ihres Alters und ihrer Geschichte sowie ihrer Bewirtschaftung unterscheiden. All diese Variablen beeinflussen die Antwortvariable (z. B. Produktivität, Streuzersetzung, Artenvielfalt), so dass zwar Korrelationen möglich sind, aber keine Aussagen über eine Kausalität, d.h. ob ein Effekt tatsächlich nur auf der Baumartenmischung beruht oder auch auf Änderungen in anderen Variablen. In der Wissenschaft gibt es daher den Ansatz, Kausalität durch Experimente herzuleiten, in denen möglichst alle störenden Einflussfaktoren konstant gehalten werden und nur der interessierende Faktor (z. B. die Anzahl der Baumarten) variiert wird. Für das Projekt BIOTREE¹ haben wir dazu z. B. auf einer einheitlichen Fläche Versuchsplots angelegt und auf ihnen jeweils eine unterschiedliche Anzahl von Baumarten gepflanzt (Scherer-Lorenzen et al. 2007, Abb. 2,3).

Das Tree Diversity Network ist weltweit vermutlich die größte Forschungsinfrastruktur für ökologische Forschungen zur Rolle der Baumdiversität für Ökosystemfunktionen und -leistungen. Aktuell umfasst es 36 Experimente (darunter BIOTREE) an 63 Standorten in borealen, temperaten, mediterranen und (sub)tropischen Biomen.² Auf einer Gesamtfläche von mittlerweile ca. 900 Hektar wurden dazu ca. 1,2 Mio. Bäume gepflanzt (Verheyen et al. 2016, Paquette et al. 2018), d.h., es wurde in großem Stil für die Wissenschaft aufgeforstet.

Im Nachfolgenden werden Studien aus diesem Forschungsnetzwerk vorgestellt, die sich explizit mit der Rolle der Biodiversität für die Stabilität von Waldökosystemen auseinandergesetzt haben.

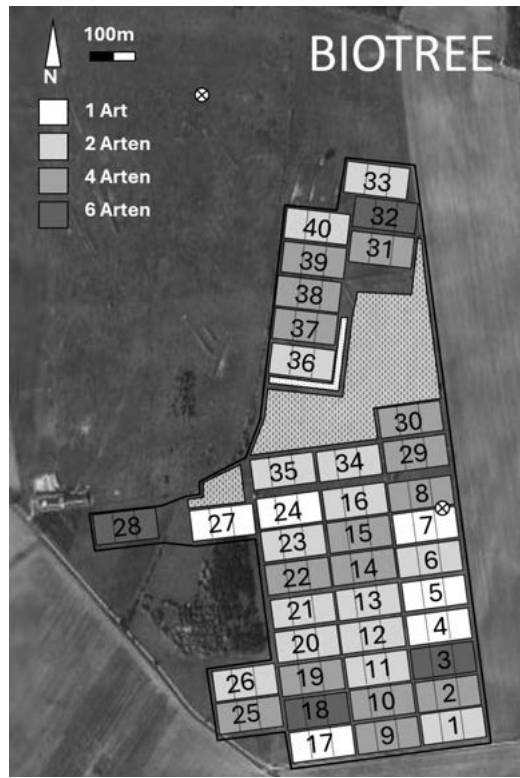
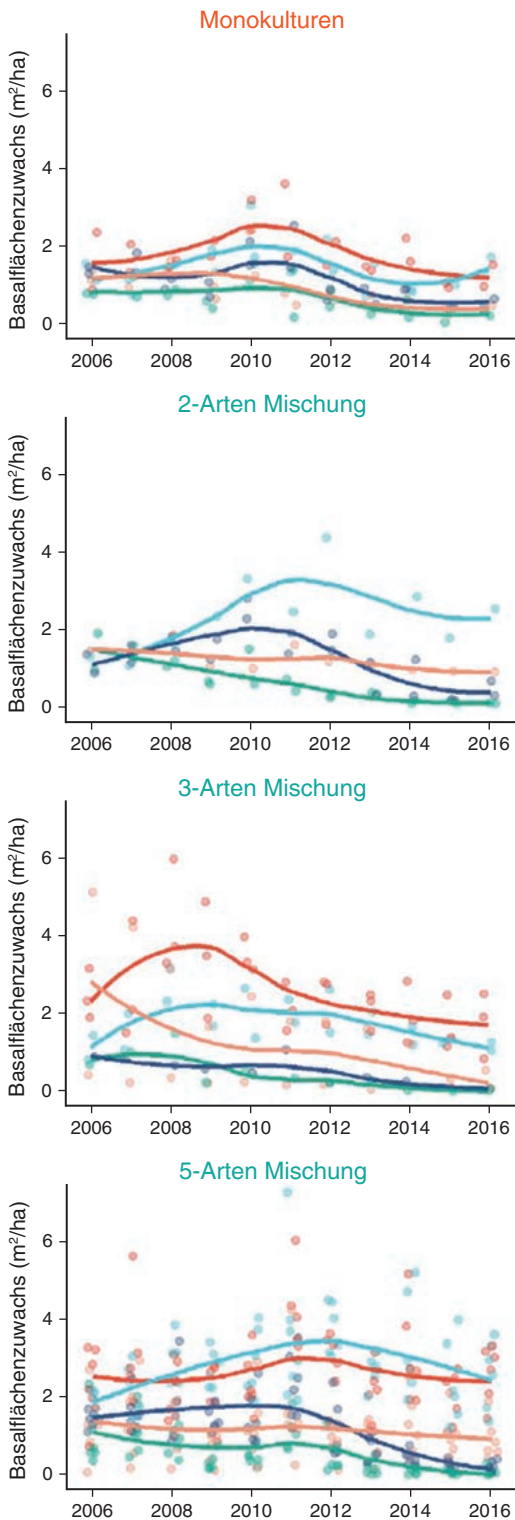


Abb. 2. Schema einer Versuchsfläche in Thüringen (BIOTREE) auf einem ehemaligen sowjetischen Truppenübungsplatz, mit 40 jeweils 1 Hektar großen Flächen, bepflanzt mit 1, 2, 4 oder 6 Baumarten in allen daraus möglichen Mischungen. – Verändert nach Scherer-Lorenzen et al. (2007), mit Genehmigung von Elsevier GmbH.



Abb. 3. Luftbild einer Versuchsfläche bei Freiburg (IDENT), mit 415 jeweils 13 m² großen Flächen, bepflanzt mit 1, 2, 4 und 6 Baumarten. – Foto: T. Katzenborn.

- 1 Biodiversity and ecosystem processes in experimental TREE stands (BIOTREE); <https://treedivnet.ugent.be/experiments/BIOTREE.html> [abgerufen 13.04.2026]; Forest & Nature Lab, Ghent University, Belgium.
- 2 The Tree Diversity Network (TreeDivNet), www.treedivnet.ugent.be [abgerufen 13.04.2026]; Forest & Nature Lab, Ghent University, Belgium.



Stabilität von Rein- und Mischbeständen

Zeitliche Variabilität des Zuwachses

Auf einer Versuchsfläche in Panama, auf der 2001 fünf tropische Baumarten in Monokultur und in Mischungen gepflanzt wurden, war der jährliche Zuwachs der einzelnen Arten über einen Zeitraum von 10 Jahren unterschiedlich, zusätzlich verschoben sich die Zuwachsoptima je nach Diversitätsstufe (Abb. 4, Schnabel et al. 2019). D.h., die Arten reagieren auf jährlich wechselnde Wachstumsbedingungen, aber nicht synchron und abhängig von der Diversität des Bestandes. Dass sich Arten in Rein- und Mischbeständen nicht gleich verhalten, ist auch für andere Funktionen als die Produktivität bekannt (z. B. Befall durch Borkenkäfer, Jactel et al. 2025) und es ist ein wichtiger Punkt für die Diskussion über die Stabilität eines Bestandes.

Aus den Daten lässt sich eine Variable berechnen, die die zeitliche Variabilität bzw. die Konstanz der Produktivität bestimmt, und zwar als μ/σ , mit μ Mittelwert und σ Standardabweichung der jährlichen Produktivität von Beständen. Je diverser die Bestände waren und je stärker asynchron die Arten auf die Umweltbedingungen reagierten, desto stabiler waren die Bestände im Hinblick auf die zeitliche Variabilität (Konstanz) ihrer Produktivität (Abb. 5a, b, Schnabel et al. 2019). Ein ähnliches Ergebnis wurde auf sehr großen Flächen in der Provinz Jiangxi im Osten Chinas erzielt, wo Versuchsflächen mit insgesamt 24 Baumarten in Reinkultur und in Mischbeständen gepflanzt wurden. Auch dort stieg die zeitliche Stabilität der Produktivität (hier gemessen als Holzzuwachs) mit der Baumartenzahl und mit der Asynchronität der Arten an (Abb. 6a, b, Schnabel et al. 2021). Je diverser die Bestände waren, desto höher war die Asynchronität (Abb. 6c) und desto stabiler das System.

Der Zusammenhang zwischen der Asynchronität der Reaktion von Arten auf Umweltbedingungen und der Stabilität der Artengemeinschaft

Abb. 4. Zuwachs der stehenden Basalfläche (in m² pro Hektar) verschiedener Baumarten in Monokulturen und in 2-, 3- oder 5-Arten-Mischungen im Zeitraum 2006–2016; ● *Anacardium excelsum*, ● *Cedrela odorata*, ● *Hura crepitans*, ● *Luehea seemannii*, ● *Tabebuia rosea*. – © Schnabel et al. (2019).

bzw. des Bestandes ist in Abb. 7 vereinfacht dargestellt. Dieses Konzept ist auch z.B. von Versicherungen und der Börse bekannt, wo empfohlen wird, durch eine Diversifizierung des Portfolios die Schwankungen abzumildern und damit das Verlustrisiko zu senken.

Die Ergebnisse aus den Baumdiversitätsexperimenten hinsichtlich der Stabilität von Rein- und Mischbeständen konnten im Rahmen des Projekts FunDiveEUROPE (Functional Significance of Forest Biodiversity in Europe; 2007–2013) in naturnahen Wäldern bestätigt werden. Auch hier nahm, über verschiedene Länder hinweg, die zeitliche Konstanz der Produktivität mit der Baumartenzahl zu (Ausnahme: Spanien mit abnehmender Konstanz) und auch hier war der Grund die höhere zeitliche Stabilität (Konstanz) mit steigender Artenzahl (Jucker et al. 2014).

Resistenz und Resilienz nach Dürre

Im MyDIV-Experiment³ in Sachsen-Anhalt wurde bei den verwendeten Baumarten unterschieden, ob ihre Wurzelsymbiose überwiegend zum Typ einer arbuskulären oder einer Ektomykorrhiza gehört. 2015 wurden die damals zweijährigen Bäume gepflanzt, 2021 wurden ihre Mortalität und ihr Zuwachs gemessen. Interessanterweise nahm die Resistenz, d. h. das Maß, wie stark die Produktivität während und nach der Trockenheit in den Jahren 2018–2020 zurückging (vgl. Abb. 1), bei den Ektomykorrhizaarten mit zunehmender Baumartenzahl ab, während sich ein positiver Trend in der Resistenz zeigte, wenn eine größere Anzahl an Baumarten mit arbuskulärer und Ektomykorrhiza in Mischung angebaut war (Abb. 8a). Auch die Resilienz, d. h. das Maß, wie schnell die Produktivität nach der Trockenheit wieder zunahm, sank mit zunehmender Baumartenzahl bei den Ektomykorrhizaarten, stieg jedoch leicht (nicht signifikant) bei gemischten Beständen (Ekto- und arbuskuläre Mykorrhiza) mit mehr Baumarten (Abb. 8b, Sachsenmaier et al. 2024). Warum dies so ist, ist noch nicht abschließend geklärt.

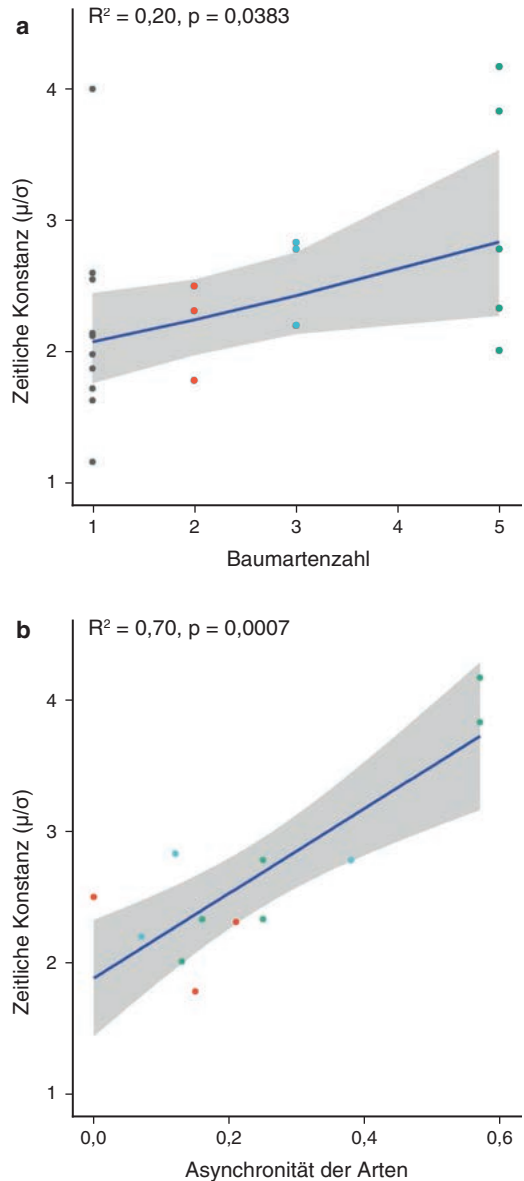


Abb. 5. Zeitliche Konstanz der Produktivität von Lebensgemeinschaften in Abhängigkeit vom Artenreichtum (a) und der Asynchronität der Arten (b); Artenzahl: ● 2, ● 3, ● 5 Arten. Lineare mixed-effects Modelle, grau: 95%-Konfidenzintervalle. – © Schnabel et al. (2019).

3 MyDIV (mycorrhiza in tree diversity effects on ecosystem functioning); <https://www.idiv.de/research/projects/mydiv/> [abgerufen 14.04.2026]; Deutsches Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung Halle-Jena-Leipzig – iDiv.

Auch hierzu gibt es einen Vergleich mit naturnahen Wäldern. Bai & Tang (2024) verglichen Bohrerkerndaten von über 4000 Flächen weltweit und ermittelten anhand der Jahrringbreite den Zu-

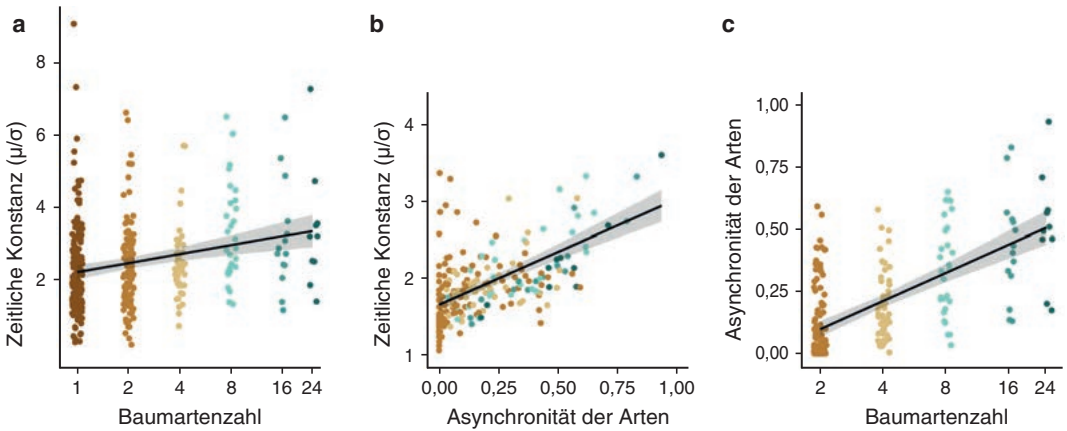


Abb. 6. Zeitliche Stabilität (Konstanz, in μ/σ , mit μ Mittelwert und σ Standardabweichung) der jährlichen Produktivität von Beständen, bestehend aus 24 Baumarten in Reinkultur (●) oder als Mischungen aus ● 2, ● 4, ● 8, ● 16 und ● 24 Arten, als Funktion des Artenreichtums (a) und der Asynchronität der Arten (b) sowie Zusammenhang zwischen Artenreichtum und Asynchronität (c); lineare mixed-effects Modelle, $p < 0,001$, grau: 95 %-Konfidenzintervalle. – © Schnabel et al. (2021).

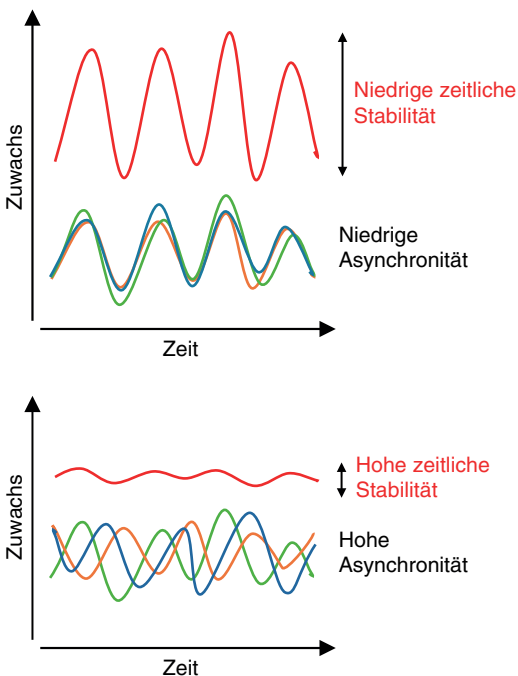


Abb. 7. Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Asynchronität von Arten und zeitlicher Stabilität (Konstanz) der Gemeinschaft z. B. für den Faktor Zuwachs; jeweils oben (rot): gesamte Lebensgemeinschaft, jeweils unten: Arten 1, 2 und 3. – Eigene Darstellung in Anlehnung an Rao et al. (2024).

wachs von Bäumen in Beständen verschiedener Diversität (1–80 Arten) unter hohem, mittlerem und geringem klimatisch bedingtem Wasserdefizit. Mit steigender Baumartenzahl nahm demnach die Resistenz gegenüber Dürre zu, umso stärker, je trockener es war und je intensiver die Dürre ausgeprägt war. Die Resilienz nahm dagegen mit der Diversität ab, d. h., für die Wiedererholungsfähigkeit des Systems war in diesem Fall eine hohe Baumartenzahl abträglich (Bai & Tang 2024).

Die steigende Resistenz unter trockenen Verhältnissen kann zum einen mit der höheren Asynchronität von diversen Beständen erklärt werden. Dazu kommt, dass in einer Mischung die verschiedenen Baumarten unterschiedliche Ressourcen nutzen können, z. B. können sie über eine unterschiedliche Wurzeltiefe den Bodenraum effizienter durchwurzeln und haben so einen größeren Zugang zu Wasser und Nährstoffen (Ressourcen-Komplementarität) bzw. können nachts Wasser aus tieferen, feuchteren Bodenschichten über ihre Wurzeln in trockenere obere Bodenschichten transportieren (hydraulic lift) (Grossiord 2019). Auch könnte ein diverserer Bestand in geringerem Ausmaß von Herbivoren und Pathogenen geschädigt werden und die Bäume könnten daher widerstandsfähiger gegen Trockenheit sein (Jactel et al. 2021).

Warum ist dies bei der Resilienz anders? Ein Grund könnte sein, dass artenarme Systeme

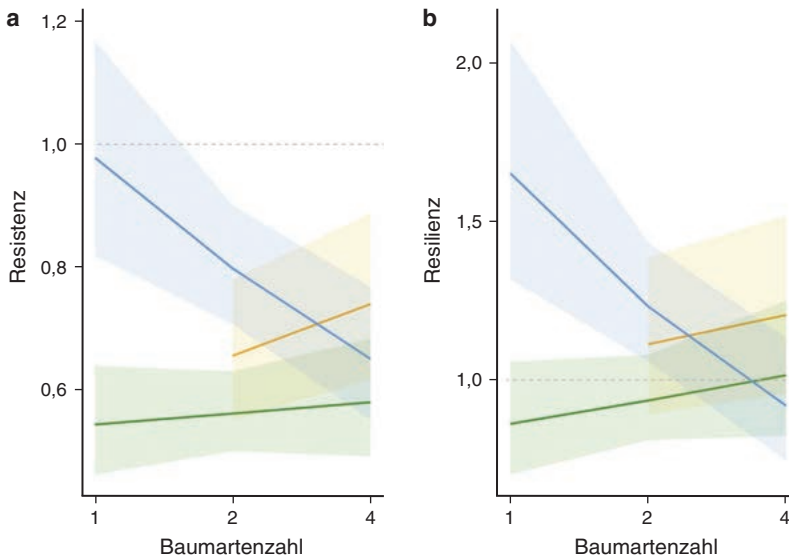


Abb. 8. Trockenresistenz (a) und frühe Resilienz (b) der Baumgemeinschaft in Abhängigkeit von der Baumartenvielfalt und der Art der Mykorrhiza-Assoziation der Parzelle (— Arbuskuläre Mykorrhiza [AM], — Ektomycorrhiza [EM], — AM + EM). Durchgezogene Linien: signifikante ($p \leq 0,05$) Anpassungen des linearen Mixed-Effects-Modells, schraffierte Bereiche: 95 % Konfidenzintervalle. Die gestrichelte horizontale Linie am Schnittpunkt mit $y = 1$ dient als visuelle Hilfestellung für die Interpretation: Die Werte auf dieser Linie entsprechen Gemeinschaften, die während der Dürre genauso stark wuchsen wie zuvor (Resistenz, a) oder die nach der Dürre genauso stark wuchsen wie zuvor (Resilienz, b); Werte oberhalb der Linie stehen für sehr hohe Resistenz und Resilienz, d. h., die Gemeinschaften wuchsen während der Dürre sogar noch stärker als zuvor (Resistenz, a) oder nach der Dürre stärker als zuvor (Resilienz, b). – © Sachsenmaier et al. (2024).

bei Störungen eine höhere Mortalität haben als artenreiche, z. B. nach Trockenheit-induziertem Borkenkäferbefall (Jactel et al. 2025, aber s. Searle et al. 2022), d. h., nach Ende der Störung ist viel totes Material und weniger Konkurrenz vorhanden. Aufgrund der geringeren Konkurrenz können dann artenarme Systeme schneller reagieren, d. h. eine höhere Resilienz haben als artenreiche Systeme. Ein anderes Argument ist, dass es evtl. auch bei den Baumarten eine Art Trade-off gibt, d. h. einen Kompromiss zwischen kontinuierlicher Wasseraufnahme (Resistenz gegenüber Trockenheit) und einer schnellen Wachstumsreaktion bei Freistellung, bei weniger Konkurrenz und bei Stress (Gazol et al. 2018). Dies sind allerdings noch nicht ausreichend getestete Hypothesen und es besteht noch erheblicher Forschungsbedarf bezüglich der Mechanismen für den negativen Effekt der Baumartendiversität auf die Resilienz.

Störungsanfälligkeit und Bereitstellung von Ökosystemleistungen

In den Baumdiversitätsexperimenten wurden neben Stabilitätsmaßen auch Nährstoffkreisläufe, Wasser, Biodiversität und vieles mehr erfasst. Generell zeigt sich nicht nur auf den Experimentierflächen, sondern auch in forstwirtschaftlichen Plantagen, wo solche Variablen relativ gut erfasst werden können, dass Monokulturen (Reinbestände) anfälliger gegenüber Störungen durch spezialisierte Krankheitserreger und Pathogene (hohe Evidenz) und auch anfälliger gegenüber Störungen durch Dürre, Feuer und Stürme sind (geringe Evidenz) als Mischkulturen (Abb. 9). Im Gegensatz dazu sind Mischkulturen nur gegenüber generalistischen Krankheitserregern und Pathogenen (hohe Evidenz) störungsanfälliger als Monokulturen. Mit Ausnahme der Bereitstellung von Stammholz in Monokulturen (geringe Evidenz), werden alle anderen Ökosystemleistungen dagegen in Mischkulturen in einem höheren

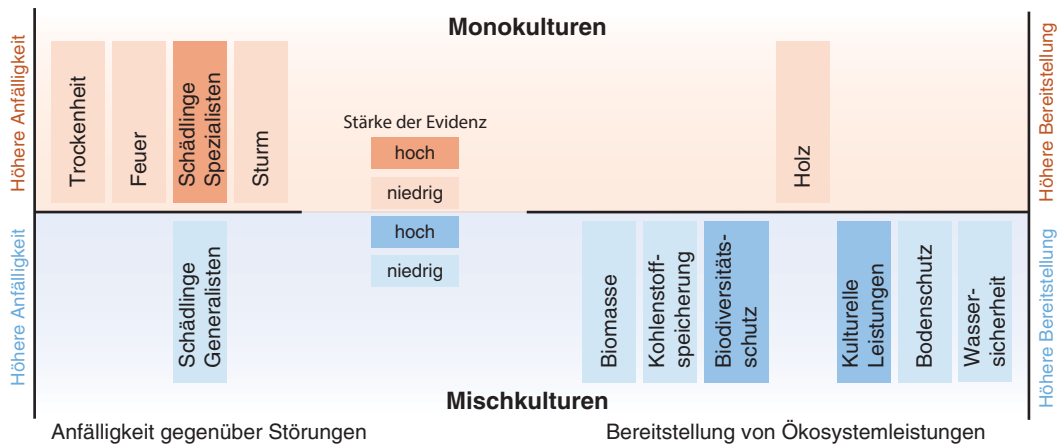


Abb. 9. Zusammenfassung des Vergleichs zwischen der Anfälligkeit gegenüber einigen der wichtigsten Störungen (links) und der Bereitstellung zentraler Ökosystemleistungen (rechts) in forstwirtschaftlichen Plantagen bei monospezifischen (oben) und artenreichen (unten) Pflanzungen. Farbintensitäten: Stärke der Evidenz, die die jeweilige Schlussfolgerung stützt (hohe oder geringe Sicherheit). – Nach © Messier et al. (2021).

Maße bereitgestellt: Biomasse, Kohlenstoffspeicherung, Schutz des Bodens und Sicherung der Wasserversorgung (geringe Evidenz) sowie Erhalt der Biodiversität und kulturelle Leistungen (hohe Evidenz) (Abb. 9, Messier et al. 2021).

Fazit und Ausblick

Artenreiche Bestände weisen im Mittel eine höhere zeitliche Stabilität (Konstanz) des Zuwachses aus. Der Grund hierfür ist asynchrones Wuchsverhalten verschiedener Arten aufgrund von unterschiedlichen Anpassungen an Umweltbedingungen (»Versicherungseffekt«). Sie sind weniger anfällig gegenüber Störungen (Resistenz), vor allem aufgrund von Komplementarität und positiven Interaktionen; auch bieten Reinbestände abundante Ressourcen für Schadorganismen. Zur Resilienz und deren Mechanismen besteht jedoch noch Forschungsbedarf. Artenreiche Bestände liefern vielfältigere Ökosystemleistungen (Multifunktionalität), sie sind »Alleskönner« (Ausnahme: Stammholzproduktion).

Biodiversität ist nicht nur ein »Gut«, das es zu überwachen, zu erhalten und zu bewirtschaften gilt, sondern sie kann als Instrument zur Erreichung bestimmter Bewirtschaftungsziele und als Bestandteil von Anpassungsstrategien angesichts globaler Veränderungen genutzt werden und könnte somit in Produktionswäldern integriert werden.

Danksagung

Ein großes Dankeschön geht an alle Mitglieder des globalen Netzwerkes der Baumdiversitätsexperimente (TreeDivNet) und des EU-Forschungsprojektes FunDivEUROPE, mit denen viele der hier vorgestellten Ideen und Konzepte diskutiert und untersucht wurden.

Literatur

- Bai, Y.-H. & Z. Tang. 2024. Enhanced effects of species richness on resistance and resilience of global tree growth to prolonged drought. – Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A., 121: e2410467121. DOI: [10.1073/pnas.2410467121](https://doi.org/10.1073/pnas.2410467121)
- Gazol, A., J. J. Camarero, S. M. Vicente-Serrano, R. Sánchez-Salguero, E. Gutiérrez, M. de Luis, G. Sangüesa-Barreda, K. Novak, V. Rozas, P. A. Tiscar, J. C. Linares, N. Martín-Hernández, E. Martínez del Castillo, M. Ribas, I. García-González, F. Silla, A. Camisón, M. Génova, J. M. Olano, L. A. Longares, A. Hevia, M. Tomás-Burguera & J. D. Galván. 2018. Forest resilience to drought varies across biomes. – Global Change Biology, 24: 2143–2158. DOI: [10.1111/gcb.14082](https://doi.org/10.1111/gcb.14082)
- Grimm, V. & C. Wissel. 1997. Babel, or the ecological stability discussions: an inventory and analysis of terminology and a guide for avoiding confusion. – Oecologia, 109: 323–334. DOI: [10.1007/s004420050090](https://doi.org/10.1007/s004420050090)
- Grossiord, C. 2019. Having the right neighbors: how tree species diversity modulates drought impacts on forests. – New Phytologist, 228: 42–49. DOI: [10.1111/nph.15667](https://doi.org/10.1111/nph.15667)

- Jactel, H., X. Moreira & B. Castagneyrol. 2021. Tree diversity and forest resistance to insect pests: patterns, mechanisms and prospects. – *Annual Review of Entomology*, 66: 277–296. DOI: [10.1146/annurev-ento-041720-075234](https://doi.org/10.1146/annurev-ento-041720-075234)
- Jactel, H., E. Pluchard, L. Schillé, N. Plat, S. Jouveau, J.-B. Rivoal, P. Hajek, J. Fründ & M. Scherer-Lorenzen. 2025. Experimental evidence of reduced *Ips typographus* damage in mixed spruce plantations. – *Journal of Pest Science*, 99: 32. DOI: [10.1007/s10340-025-01995-y](https://doi.org/10.1007/s10340-025-01995-y)
- Jucker, T., O. Bouriaud, D. Avacaritei & D. A. Coomes. 2014. Stabilizing effects of diversity on above-ground wood production in forest ecosystems: linking patterns and processes. – *Ecology Letters*, 17: 1560–1569. DOI: [10.1111/ele.12382](https://doi.org/10.1111/ele.12382)
- Kricher, J. 2009. The balance of nature: ecology's enduring myth. – Princeton University Press, Princeton, USA, 256 S.
- Messier, C., J. Bauhus, R. Sousa-Silva, H. Auge, L. Baeten, N. Barsoum, H. Bruelheide, B. Caldwell, J. Cavender-Bares, E. Dhiedt, N. Eisenhauer, G. Ganade, D. Gravel, J. Guillemot, J. S. Hall, A. Hector, B. Hérault, H. Jactel, J. Koricheva, H. Kreft, S. Mereu, B. Muys, C. A. Nock, A. Paquette, J. D. Parker, M. P. Perring, Q. Ponette, C. Potvin, P. B. Reich, M. Scherer-Lorenzen, F. Schnabel, K. Verheyen, M. Weih, M. Wollni & D. C. Zemp. 2021. For the sake of resilience and multifunctionality, let's diversify planted forests! – *Conservation Letters*, 15: e12829. DOI: [10.1111/conl.12829](https://doi.org/10.1111/conl.12829)
- Paquette, A., A. Hector, B. Castagneyrol, M. Vanhellemont, J. Koricheva, M. Scherer-Lorenzen, K. Verheyen & TreeDivNet. 2018. A million and more trees for science. – *Nature Ecology & Evolution*, 2: 763–766. DOI: [10.1038/s41559-018-0544-0](https://doi.org/10.1038/s41559-018-0544-0)
- Rao, X., J. Chen, S. Wang, H. Su, Q. Rao, W. Xia, J. Liu, X. Fan, X. Deng, H. Shen & P. Xie. 2024. Population asynchrony within and between trophic levels have contrasting effects on consumer community stability in a subtropical lake. – *Journal of Animal Ecology*, 93: 1593–1605. DOI: [10.1111/1365-2656.14176](https://doi.org/10.1111/1365-2656.14176)
- Sachsenmaier, L., F. Schnabel, P. Dietrich, N. Eisenhauer, O. Ferlian, J. Quosh, R. Richter & C. Wirth. 2024. Forest growth resistance and resilience to the 2018–2020 drought depend on tree diversity and mycorrhizal type. – *Journal of Ecology*, 112: 1787–1803. DOI: [10.1111/1365-2745.14360](https://doi.org/10.1111/1365-2745.14360)
- Scherer-Lorenzen, M., E.-D. Schulze, A. Don, J. Schumacher & E. Weller. 2007. Exploring the functional significance of forest diversity: A new long-term experiment with temperate tree species (BIOTREE). – *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 9: 53–70. DOI: [10.1016/j.ppees.2007.08.002](https://doi.org/10.1016/j.ppees.2007.08.002)
- Schnabel, F., J. A. Schwarz, A. Dănescu, A. Fichtner, C. A. Nock, J. Bauhus & C. Potvin. 2019. Drivers of productivity and its temporal stability in a tropical tree diversity experiment. – *Global Change Biology*, 25: 4257–4272. DOI: [10.1111/gcb.14792](https://doi.org/10.1111/gcb.14792)
- Schnabel, F., X. Liu, M. Kunz, K. E. Barry, F. J. Bongers, H. Bruelheide, A. Fichtner, W. Härdtle, S. Li, C.-T. Pfaff, B. Schmid, J. A. Schwarz, Z. Tang, B. Yang, J. Bauhus, G. von Oheimb, K. Ma & C. Wirth. 2021. Species richness stabilizes productivity via asynchrony and drought-tolerance diversity in a large-scale tree biodiversity experiment. – *Science Advances*, 7: eabk1643. DOI: [10.1126/sciadv.abk1643](https://doi.org/10.1126/sciadv.abk1643)
- Searle, E. B., H. Y. H. Chen & A. Paquette. 2022. Higher tree diversity is linked to higher tree mortality. – *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.*, 119: e2013171119. DOI: [10.1073/pnas.2013171119](https://doi.org/10.1073/pnas.2013171119)
- Verheyen, K., M. Vanhellemont, H. Auge, L. Baeten, C. Baraloto, N. Barsoum, S. Bilodeau-Gauthier, H. Bruelheide, B. Castagneyrol, D. Godbold, J. Haase, A. Hector, H. Jactel, J. Koricheva, M. Loreau, S. Mereu, C. Messier, B. Muys, P. Nolet, A. Paquette, J. Parker, M. Perring, Q. Ponette, C. Potvin, P. Reich, A. Smith, M. Weih & M. Scherer-Lorenzen. 2016. Contributions of a global network of tree diversity experiments to sustainable forest plantations. – *Ambio*, 45: 29–41. DOI: [10.1007/s13280-015-0685-1](https://doi.org/10.1007/s13280-015-0685-1)

Diskussion

F. Thonfeld: Gibt es Experimente, in denen Bestände künstlich durch Feuer gestört werden? Brände gehören ja zu den Störungen, die vermutlich künftig zunehmen werden.

M. Scherer-Lorenzen: Bei den Experimenten gibt es das nicht, aber es wurden bereits auch Daten zur Plantagenwirtschaft ausgewertet und da treten auch immer wieder einmal Feuer auf. Wenn ein Feuer in einen Reinbestand hineingeht, brennt es oftmals durch, während es in einem Mischbestand auch Baumarten gibt, die resistenter gegen Feuer sind. Sie können z.B. eine andere Borkenstruktur haben, die verhindert, dass Bodenfeuer zur Krone hochwandern.

J. Hamberger: Sie haben von Biodiversität gesprochen. Ich würde von Artenvielfalt sprechen, da zur Biodiversität neben der Vielfalt der Landschaften z.B. auch die genetische Vielfalt gehört. Wir haben in der letzten einen Million Jahre mehrere Eiszeiten gehabt, da gab es hier keinen Wald, aber im Mittelmeerraum durchgehend. Herr Seidl hat schon angedeutet, dass die Schwarzkiefer zwischen Spanien und der Türkei etwas ganz Unterschiedliches sein kann und so ist es auch mit der Buche, die unterscheidet sich in Südschweden und in Kalabrien. Wir haben im Mittelmeerraum ein hervorragend angepasstes genetisches Potenzial, man könnte von einem »genetischen Feinkostladen« sprechen, mit dem unsere Wälder im Klimawandel auch aufgebessert werden können. Es handelt sich nicht nur um angepasste Arten, sondern um viele angepasste Herkünfte innerhalb einer Art, so dass wir damit z.B. unsere Buchenwälder erhalten können. Wir müssen sie aber anreichern mit einer Genetik, die trocken- und hitzeresistent ist.

M. Scherer-Lorenzen: Da stimme ich in allen Punkten zu. Am Anfang meines Vortrags hatte ich daher auch explizit gesagt, dass ich unter Biodiversität im Folgenden die Baumartenzahl verstehe. Die genetische Ebene ist innerhalb des internationalen Netzwerkes TreeDivNet in einem finnischen Experiment integriert, mit unterschiedlichen Genotypen in Reinkultur und in Mischungen, und wir haben dasselbe auch in

Freiburg mit Arten aus Kurzumtriebsplantagen gemacht. Auch da zeigt sich, dass eine Mischung aus mehreren Genotypen produktiver ist im Vergleich zu einem Reinbestand mit nur einem Genotyp. Der Pool an genetischer Information, Variabilität und damit auch an Anpassungsmöglichkeiten ist natürlich auch bei heimischen Baumarten vorhanden; Provenienzen ist ja schon sehr lange ein Thema. Auch hier würde ich für eine Mischung plädieren.

A. Rothe: Warum arbeitet die Natur in Mitteleuropa auf großer Fläche mit Reinbeständen? Im Buchenurwald Semenici in Rumänien kann man zehn Kilometer laufen und findet nur Buchen, und auch der Fichten-Hochlagenwald oder der Schwarzerlen-Bruchwald sind natürliche Reinbestände.

M. Scherer-Lorenzen: Es gibt auch noch andere natürliche Monokulturen, wie zum Beispiel Schilfbestände. Aber niemand sagt, dass die Natur auf Multifunktionalität optimiert, das ist ja eine sehr anthropogene Sichtweise. Zum anderen ist auch der Buchenwaldbestand nur eine Phase, die uns stabil erscheint, die sich aber ändern wird. Heute spricht man nicht mehr über das Mosaik-Zyklus-Konzept von Hermann Remmert⁴, aber es gibt weiterhin die Ideen, dass auch in einem großflächigen Buchenwaldbestand ohne menschliches Zutun auch auf räumlicher Ebene unterschiedliche Sukzessionsstadien vorkommen. Hier kommt wieder die horizontale Heterogenität ins Spiel, wie sie Jörg Müller vorgestellt hat.⁵ Damit gibt es sehr unterschiedliche Systeme, in denen man auf der Patch-Ebene für bestimmte Zeiträume durchaus auch einmal einen Bestand mit nur einer dominierenden Baumart hat.

4 Remmert, H. 1991. Das Mosaik-Zyklus-Konzept und seine Bedeutung für den Naturschutz – eine Übersicht. – Laufener Seminarbeiträge, 5: 5–15.

5 Müller, J. 2026. Heterogenisierung von Wäldern – Lehren für Biodiversität und Multifunktionalität. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Wälder: Zustand, Gefährdung und Management. Pfeil, Günding: 71–80.

S. Höllerl: Sie hatten Monokultur und Mischung gegenübergestellt. Meinen Sie damit Monokultur im strengen Sinne, wo eine Baumart über mehrere Generationen immer wieder angebaut wurde, oder einen Reinbestand, ohne auf die Generationen zu sehen?

M. Scherer-Lorenzen: Die Experimentflächen und die Plantagen, die in den vorgestellten Untersuchungen genutzt wurden, sind vom Design her so angelegt worden, dass dort Monokultur »eine Art pro Fläche« zu dem aktuellen Zeitpunkt bedeutet. Auf den Flächen in den naturnahen Wäldern, von denen ich gesprochen habe, sind Monokulturen Reinbestände in dem Sinne, dass zum Zeitpunkt unserer Untersuchung in einem Bestand mehr als 85 Prozent aller Baumindividuen einer Art angehören mussten.

R. Mosandl: Wie haben Sie die Mischungen angelegt? Bei der gleichzeitigen Anpflanzung von mehreren Baumarten spielt die Konkurrenz zwischen den Pflanzen schnell eine Rolle, je nachdem, ob Sie eine frühsukzessionale Art, eine Pionierart, anpflanzen oder eine Klimaxbaumart. Das stelle ich mir schwierig vor bei Mischungen von sechs und mehr Arten. Ein Großteil der Effekte ist dann kein Mischungseffekt mehr, sondern lediglich darauf zurückzuführen, dass sich die Arten gegenseitig behindern. Wie berücksichtigen Sie die interne Konkurrenz bei den Experimenten?

M. Scherer-Lorenzen: In dem Tree Diversity Network wird genau das ermöglicht. In dem Experiment von Nico Eisenhauer in Sachsen-Anhalt sind zum Beispiel die Mischbestände so angepflanzt, dass Bäume in direkter Mischung gepflanzt worden sind, also in einer zufälligen Anordnung innerhalb einer Mischung. Das Experiment ist dann für vielleicht 20 Jahre angelegt. Auf unseren Versuchsflächen in Thüringen haben wir einen Gruppenpflanzverband gemacht, das heißt, wir haben schachbrettförmig auf Patches von 8 Meter mal 8 Meter Größe z.B. in einer Zwei-Artenmischung aus Buche und Douglasie dann immer eine »Mini-Monokultur« Buche neben einer »Mini-Monokultur« Douglasie nebeneinander gepflanzt. In 100 Jahren überlebt ein Baum pro Patch, so dass wir auf der Hektarfläche eine komplette Durchmischung haben, aber die langsam wüchsigen Arten nicht in der frühen Konkurrenz verlieren.

R. Mosandl: In Polen wurde das gemacht und als »Schachbrettkultur« bezeichnet, hat aber nicht funktioniert, weil Baumarten konkurrenzbedingt ausgefallen sind.

M. Scherer-Lorenzen: Ja, aber durch die Gruppenpflanzung, das Patch-planting, lässt sich die Konkurrenz zu Beginn etwas reduzieren.