

Störung und Resilienz von Waldökosystemen

Rupert Seidl

Zusammenfassung

Störungen, das sind Wellen des Baumsterbens z.B. durch Waldbrand, Dürre, Windwurf und Borkenkäfer, haben in Europas Wäldern in den letzten Jahren stark zugenommen. Die Dürre- und Borkenkäfer-Jahre 2018–2020 waren die größte Störungswelle in Europa seit mindestens 170 Jahren. Europas Wälder haben jedoch eine hohe Resilienz gegenüber diesen Störungen. Der Wald verjüngt sich in Mitteleuropa rasch und stammzahlreich und 3–5 Jahre nach Störung stehen im Mittel bereits wieder mehr als 7000 Bäumchen pro Hektar auf gestörten Flächen. Ein Großteil dieser Verjüngung (zwischen 64 % und 86 %) ist jedoch nicht gut an den zukünftigen Klimawandel angepasst. Die katalysierende Wirkung von Störungen in der Reorganisation von Ökosystemen kann sich aktuell in Mitteleuropa nicht ausreichend entfalten. Hier besteht also akuter Bedarf für aktiven Waldbau. Störungen werden auch im bestmöglichen Zukunftsszenario weiter ansteigen. Bei einer weitgehend ungebremsen Erwärmung bis zum Ende des 21. Jahrhunderts könnten sich Störungen vom aktuellen Niveau ausgehend nochmals verdoppeln. Weiterhin steigende Störungen stellen eine große Herausforderung für die Forstwirtschaft dar, bieten aber auch Chancen für die Biodiversität, da sich gestörte Flächen in Mitteleuropa durch hohen Artenreichtum auszeichnen. Störung und Resilienz sind zentrale Elemente für den Waldbau der Zukunft.

Summary

Disturbance and resilience of forest ecosystems

Disturbances – waves of tree mortality caused, for example, by wildfires, drought, windthrow, and bark beetles – have increased significantly in Europe's forests in recent years. The drought and bark beetle years of 2018–2020 constituted the largest wave of tree mortality in Europe in at least 170 years. However, Europe's forests have high resilience to these disturbances. In Central Europe, forests regenerate rapidly and with high stem densities after disturbance; on average, more than 7000 saplings per hectare are already growing on disturbed sites 3–5 years after disturbance. However, a large portion of this regeneration (between 64% and 86%) is not well adapted to projected future climate conditions. Disturbances are catalysts of change in forest ecosystems; yet the current rate of post-disturbance reorganization is not sufficient for Central European forests to cope with climate change. Therefore, adaptive forest management is urgently needed. Disturbances will continue to increase even under the most optimistic future climate scenario. Under a continuation of unabated warming, disturbances could double again from current levels by the end of the century. The continued rise in disturbances poses a major challenge for forest management, but also offers opportunities for biodiversity, as disturbed areas in Central Europe are particularly species-rich habitats. Disturbance and resilience are central elements of future silviculture.

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

✉ Prof. Dr. Rupert Seidl, Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökosystemdynamik und Waldmanagement in Gebirgslandschaften, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2, 85354 Freising; rupert.seidl@tum.de

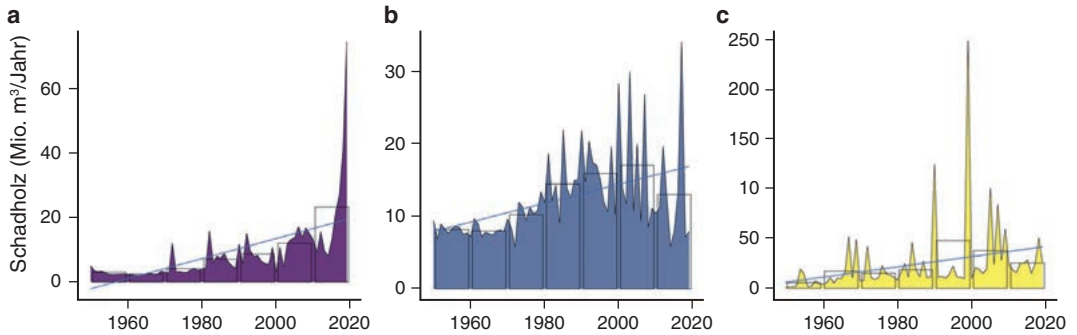


Abb. 1. Durch Borkenkäferbefall (a), Waldbrände (b) und Windwürfe (c) verursachte Schadholzmengen (in Millionen m^3 pro Jahr) im Zeitraum 1950–2019 in 34 europäischen Ländern. Säulen: durchschnittliche Werte per Dekade; Linien: lineare Regression über die Dekaden. – © Patacca et al. (2023).

Störung

Störungen sind zeitlich und räumlich diskrete Ereignisse, die zum Verlust von lebender Biomasse führen und die Verfügbarkeit von Ressourcen in Ökosystemen verändern (White & Jentsch 2001, Jentsch et al. 2019). Zu ihnen gehören z. B. Waldbrände, großflächige Windwürfe und Borkenkäferbefall, also Faktoren, die wir in der Waldbewirtschaftung mit dem Begriff Waldschäden umschreiben. Ihre Häufigkeit und Auswirkungen haben sich in den letzten Jahrzehnten in Europa deutlich verändert (Abb. 1, Patacca et al. 2023). Bei den abiotischen Ereignissen gibt es eine große Variabilität zwischen den Jahren, es zeigt sich jedoch ein klar ansteigender Trend auf europäischer Ebene. Schäden durch Borkenkäferbefall sind noch deutlich stärker angestiegen und haben sich auf europäischer Ebene in weniger als 20 Jah-

ren verdoppelt. In der jüngeren Vergangenheit häufen sich auch extreme Episoden, in welchen mehrere Störungsursachen zusammenwirken: So hat die Dürre der Jahre 2018–2020 eine große Borkenkäferwelle ausgelöst. Die Übersterblichkeit im Wald lag in diesen Jahren in einigen Regionen Europas bei weit über 500 % im Vergleich zur durchschnittlichen Mortalität der Jahre 1986–2015 (Abb. 2, Senf & Seidl 2021). Nach unseren Berechnungen war dies die größte Welle der Baummortalität in Europa in den letzten 170 Jahren.

Resilienz

Steigende Störungen sind eine große Herausforderung für die Waldbewirtschaftung. Sie sind jedoch ein natürlicher Prozess der Waldynamik und werden für das Ökosystem erst dann zum Problem, wenn sie das System an

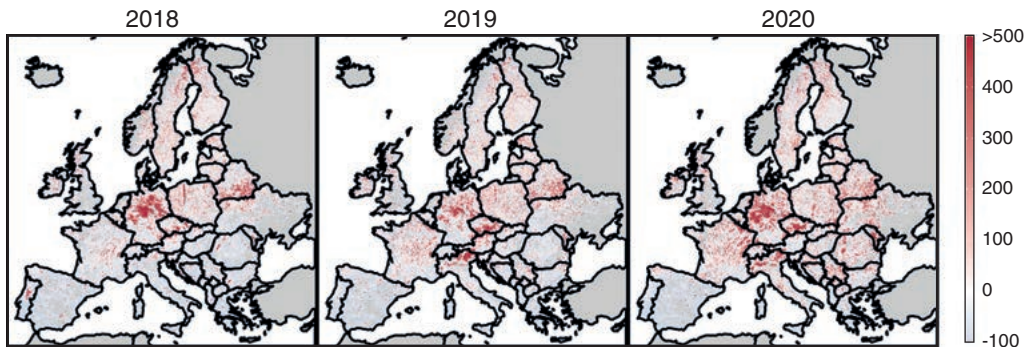


Abb. 2. Übersterblichkeit (in %; 100 % bedeutet eine Verdopplung der gestörten Fläche) in Europas Wäldern im Zeitraum 2018–2020, ausgedrückt als Anomalie der Waldstörungen gegenüber 1986–2015. Daten basierend auf satellitengestützten Störungskarten. – © Senf & Seidl (2021).

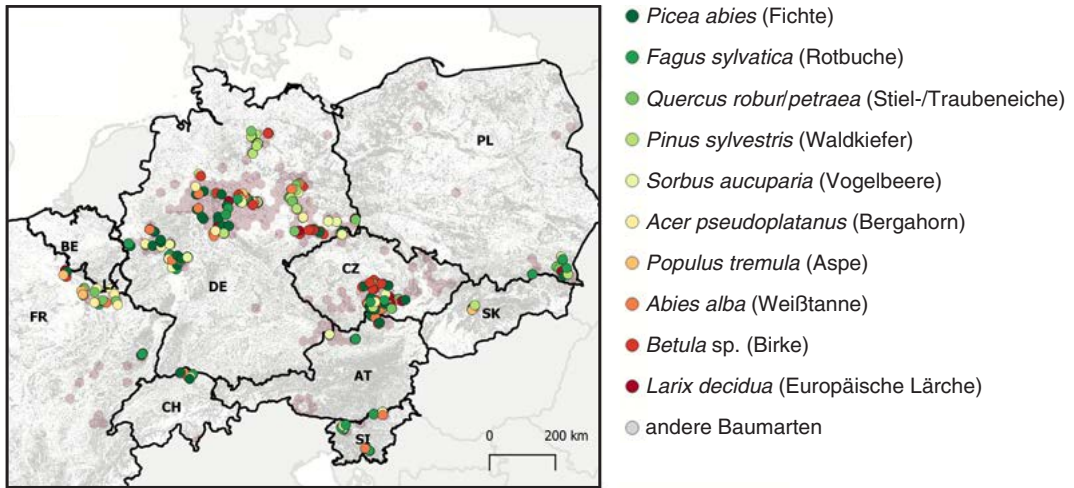


Abb. 3. Lage der untersuchten Probeflächen (bunte Kreise, $n = 849$) in Hotspots der Baummortalität 2018–2020 (■ Störungs-Anomalien $\geq 300\%$, vgl. Abb. 2). Die Farben der Kreise geben die im Untersuchungszeitraum (3–5 Jahre nach der Störung) vorherrschende Baumart an. – © Potterf et al. (2026).

die Grenzen seiner Resilienz bringen. Resilienz beschreibt hier die Fähigkeit eines Systems, sich rasch von Störungen zu erholen, ohne in einen anderen, von unterschiedlichen Prozessen und Rückkoppelungen geprägten Zustand zu wechseln (Holling & Gunderson 2002, Seidl et al. 2016). Diese Eigenschaft von Ökosystemen wird oftmals durch die sogenannte »ball and cup heuristic« (»Ball-und-Becher-Heuristik«) veranschaulicht: Ein Ball repräsentiert den aktuellen Zustand oder die aktuelle Konfiguration eines Systems. Er befindet sich in einem Becher (stabiler Zustand), dessen Form bestimmt, wie leicht das System durch Störungen aus diesem Zustand gebracht werden kann. Neben dem aktuellen Attraktor¹ des Systems (repräsentiert durch den Becher, in dem sich der Ball aktuell befindet) kann es auch weitere Attraktoren geben. Eine hohe Resilienz entspricht einem tiefen Becher mit steilen Flanken; es erfordert eine große Störung, um den Ball über den Rand in einen anderen Becher (einen anderen Attraktor) zu befördern. Eine niedrige Resilienz entspricht einem flachen Becher, bei dem schon kleine Störungen ausreichen, um den Ball in einen

neuen Zustand rollen zu lassen. Überwindet der Ball den »Hügel« zwischen zwei Bechern, spricht man von einem Regimewechsel (Kippunkt), wie ihn große Störungen hervorrufen können, z. B. der Übergang von Wald zu Offenland oder die Etablierung eines dauerhaften Buschlandes (z. B. Macchia) nach Wald (Seidl et al. 2016).

Um zu beurteilen, wie resilient Mitteleuropas Wälder gegenüber den großflächigen Störungen der Jahre 2018–2020 sind, müssen wir also die Walderholung in den Blick nehmen. Wir haben dazu drei bis fünf Jahre nach dem Ereignis an 849 Probepunkten in 10 Ländern die Struktur und Baumartenzusammensetzung nach Störung untersucht (Abb. 3, Potterf et al. 2026). Nur 7 % der untersuchten Flächen hatte 3–5 Jahre nach Störung noch keine Baumverjüngung (dies v. a. in trockenen Gebieten). Die Stammzahl der Verjüngung (Bäumchen > 20 cm Höhe und < 10 cm Brusthöhendurchmesser) lag im Mittel bei 7262 Bäumen pro Hektar, das 10. Perzentil lag immer noch bei 500 Bäumchen pro Hektar² (Potterf et al. 2026). Zum Vergleich: Bei einer

¹ Attraktor: Zustand oder typisches Muster, auf das sich ein dynamisches System im Laufe der Zeit hinbewegt, z. B. die für einen Wald typische Waldstruktur und Baumartenzusammensetzung.

² Medianwert: 50 % der Werte sind kleiner oder gleich, 50 % sind größer oder gleich dem Median. Mittelwert (arithmetisches Mittel oder Durchschnitt): durchschnittlichen Wert eines Datensatzes. 10. Perzentil (P10): 10 % der Datenpunkte unterhalb dieses Wertes und 90 % darüber.



Abb. 4. Fichtenwald nach einer Störung (Dürre mit anschließendem Borkenkäferbefall, 2018–2020). In der Wiederverjüngung sind Fichten die häufigste Baumart. – Foto: 21.07.2023, Rupert Seidl.

klassischen Aufforstung auf einer Freifläche werden je nach Baumart pro Hektar zwischen 2000 und 2500 Bäume gepflanzt. Wir konnten also bereits 3–5 Jahre nach Störungen eine starke Baumverjüngung und keine Anzeichen von Waldverlust und Regimewechsel hin zu Offenland feststellen – Mitteleuropas Wälder haben eine hohe Resilienz gegenüber Störungen. Einen wichtigen Beitrag zu dieser Resilienz leistet die Vorausverjüngung, also Bäume, die sich bereits vor dem Störungsereignis etabliert haben. Konkret stockten auf 26 % der Flächen mehr als 1000 Bäume pro Hektar mit einer Höhe von über 2 Meter, die klar der Vorausverjüngung zuzuordnen sind (Potterf et al. 2026). Dies unterstreicht die große Bedeutung von waldbaulichen Entscheidungen bereits vor der Störung (wie z. B. die Einleitung einer Vorausverjüngung) für die Resilienz von Wäldern.

Reorganisation

Während unsere Wälder also aktuell eine hohe Resilienz aufweisen, bleibt die Frage, wie sich die Resilienz langfristig entwickeln wird. Nach Holling und Gunderson (2002) entwickeln sich Systeme in einem adaptiven Kreislauf. Diese Heuristik beschreibt, wie sich Ökosysteme nach einer Aufbau- und Stabilitätsphase durch Störung reorganisieren, um langfristig resilient zu bleiben. In Bezug auf Waldökosysteme bedeutet dies: Der Wald wächst, wird alt, es kommt zu einer Störung, welcher eine Reorganisationsphase folgt, in der sich das Ökosystem an neue Rahmenbedingungen, wie z. B. neue klimatische Bedingungen, anpasst (Seidl & Turner 2022). Wir haben daher untersucht, ob auf den 2018–2020 gestörten Flächen tatsächlich die notwendige Reorganisation stattfindet, damit der Wald auch an die künftig zu erwartenden Bedingungen angepasst ist. Dies ist jedoch nur in geringem Ausmaß der Fall. Die häufigste Baumart in der Verjüngung der gestörten Flächen ist die

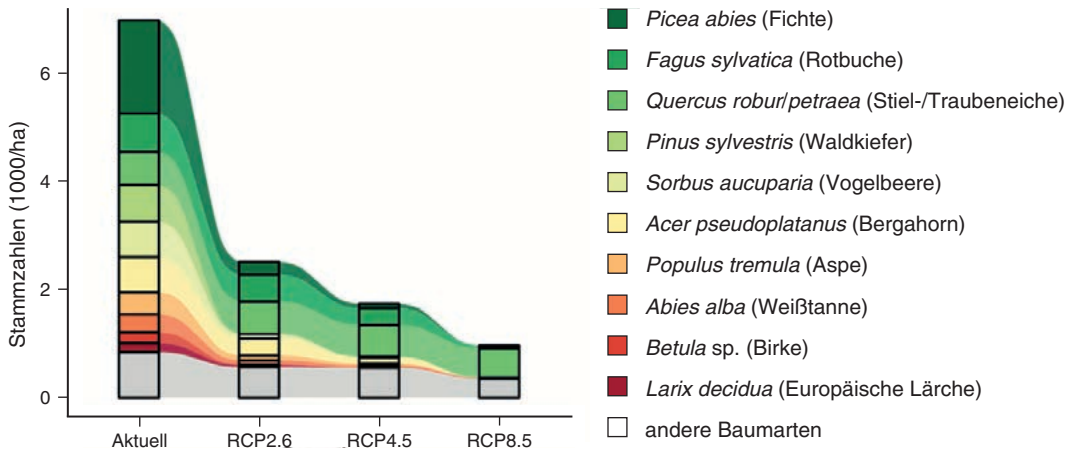


Abb. 5. Aktuelle Stammzahlen (in 1000 Stämmen > 20 cm Höhe je Hektar) auf den in Abb. 3 gezeigten Verjüngungsfläche in Europa für die 10 häufigsten dort vorkommenden Baumarten. Die Abbildung zeigt jenen Anteil der Stammzahl, der voraussichtlich auch unter Szenarien eines milden (RCP2.6), moderaten (RCP4.5) und starken (RCP8.5) Klimawandels bis zum Ende des 21. Jahrhunderts geeignet bleibt. – © Potterf et al. (2026).

Fichte, also jene Baumart, die bereits unter den heutigen klimatischen Bedingungen an ihre Grenzen stößt (Abb. 4). Nur 36 % der aktuell stockenden Verjüngung wird auch bis zum Ende des 21. Jahrhunderts an die am jeweiligen Standort erwarteten klimatischen Bedingungen angepasst sein (mildes Klimaszenario RCP2.6); unter einem starken Klimaszenario (RCP8.5) sind es sogar nur 14 % (Abb. 5, Potterf et al. 2026). Dies bedeutet, dass die aktuelle Verjüngung auf Störungsflächen nicht an zukünftige Klimabedingungen angepasst ist und die Reorganisation nach Störung aktuell nicht im notwendigen Ausmaß stattfindet. Zwar verlieren wir den Wald nicht, aber die Störung kann ihre Rolle als Motor des Wandels im Wald nicht im ausreichenden Maß entfalten (McDowell et al. 2020, Seidl & Turner 2022). Detaillierte Untersuchungen in Nordbayern haben gezeigt, dass der Baumartenwechsel auf aktiv bewirtschafteten Flächen deutlich schneller abläuft als auf unbewirtschafteten Flächen (Seidl et al. 2024). Dies unterstreicht, dass ein vorausschauendes Waldmanagement notwendig ist, um Wälder an den rasch fortschreitenden Klimawandel anzupassen.

Ausblick

Um den Wald der Zukunft zu fördern, müssen wir antizipieren, was auf den Wald zukommen könnte, um seine Resilienz entsprechend zu fördern. Dazu entwickeln wir Simulationsmodelle, mit welchen zukünftige Szenarien analysiert und mögliche Auswirkungen abgeschätzt werden können. Ein Ansatz zur Abschätzung möglicher zukünftiger Störungen wurde von Grünig et al. (2026) vorgestellt und verbindet in einem KI-basierten Ansatz Störungsdaten aus Fernerkundung mit Ergebnissen aus prozessbasierter Modellierung. Die Verbindung dieser unterschiedlichen Ansätze ermöglicht ein dynamisches Wald- und Störungsmodell, das in sehr hoher Auflösung (100 m) Interaktionen und Rückkopplungen zwischen Störung und Vegetation für ganz Europa (187 Mill. Hektar) simuliert.

Diese Simulationen ergaben, dass es bis zum Ende des 21. Jahrhunderts unter weitgehend ungebremst fortschreitendem Klimawandel (Szenario RCP8.5) zu einer Verdoppelung der gestörten Waldfläche in Europa kommen könnte, ausgehend vom Niveau von 2001–2020. Auch unter dem positivsten Zukunftsszenario mit nur moderater Erwärmung (RCP2.6) bleibt die gestörte Waldfläche auf höherem Niveau als aktuell beobachtet, allerdings ist hier ab ca. Mitte des Jahrhunderts ein leichter Rückgang der

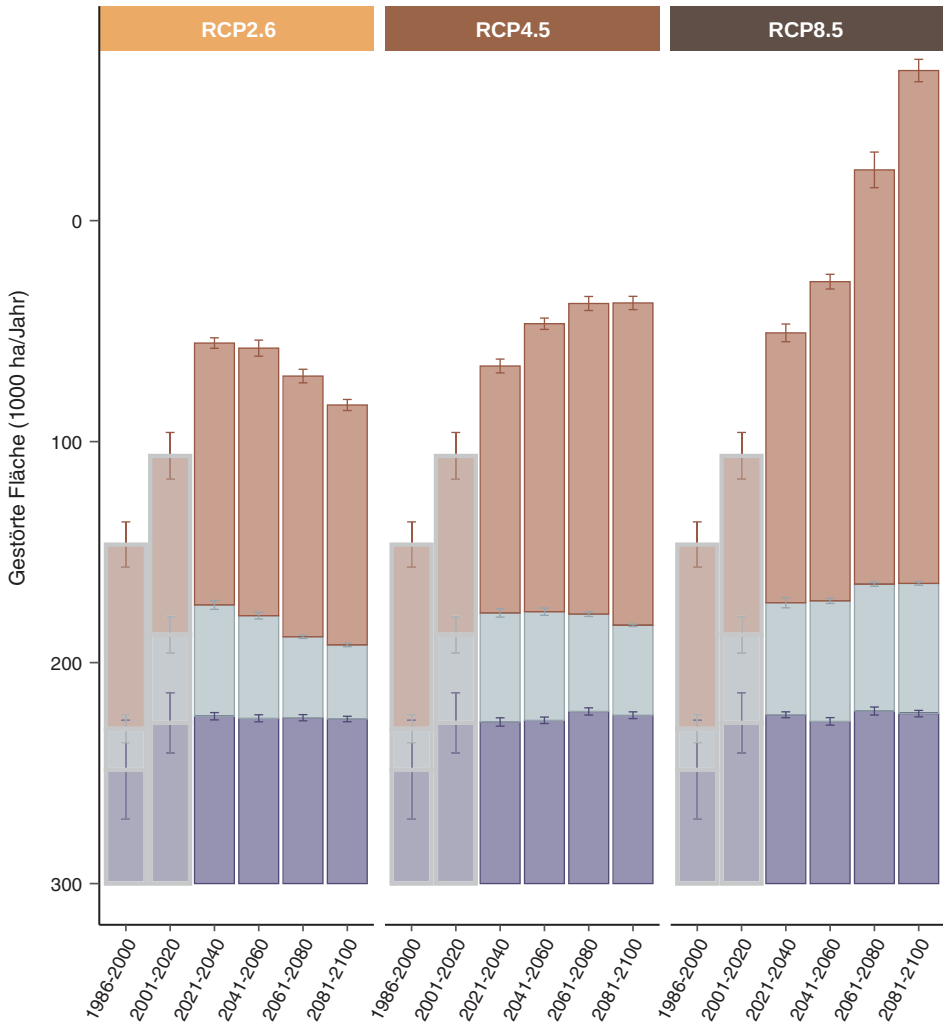


Abb. 6. Aktuelle (grau) und simulierte zukünftige Störungsflächen (in 1000 Hektar pro Jahr) in Europas Wäldern, die jährlich durch Brände (■), Borkenkäferbefall (■) und Windwürfe (■) unter mildem (Szenario RCP2.6), moderatem (RCP4.5) und starkem (RCP8.5) Klimawandel entstehen. – © Grünig et al. (2026), mit Genehmigung von Science.

Störungsaktivität zu erwarten (Abb. 6, Grünig et al. 2026).

Diese Ergebnisse lassen zwei wichtige Schlüsse für Waldpolitik und Waldbewirtschaftung zu: Zum einen zeigen sie, dass in Zukunft mit weiter steigenden Störungen zu rechnen ist, unabhängig vom Klimaszenario. Wir müssen uns also auf weitere Waldschäden vorbereiten – nach der Störung ist vor der Störung! Zum anderen unterstreichen die Ergebnisse, dass

aktiver Klimaschutz den Wald deutlich entlasten kann. Klimaschutz ist also auch Waldschutz, und verstärkte politische Anstrengungen zur Eindämmung der klimaschädlichen Emissionen haben direkte positive Auswirkungen für alle Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer in Mitteleuropa. Und diese Maßnahmen rechnen sich auch ökonomisch: Störungen kosten der Forstwirtschaft in Europa aktuell 115 Mrd. Euro. Um diese Summe reduziert sich durch Störun-

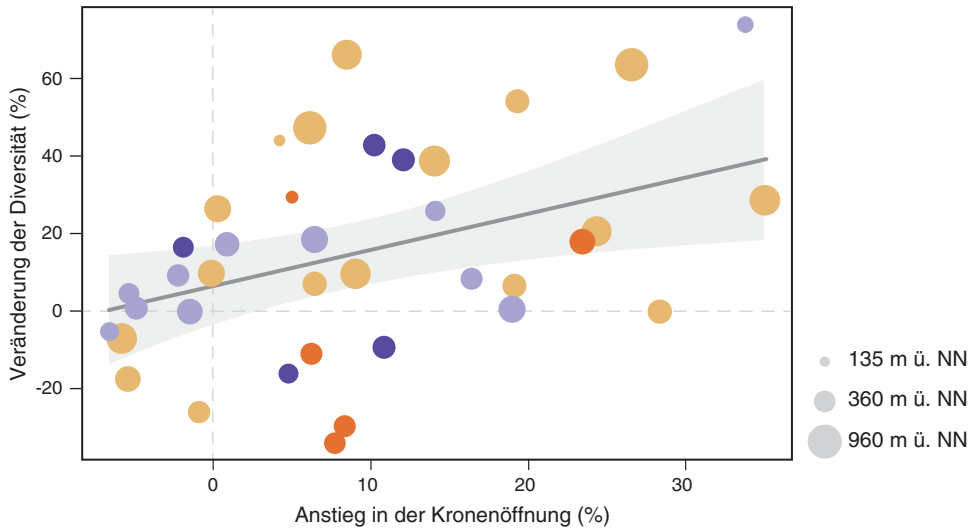


Abb. 7. Zusammenhang zwischen der Veränderung der Insektendiversität (in Prozent) und Anstieg der Kronenöffnung (in Prozent) im Vergleich von gestörten zu ungestörten Buchen- (■), Eichen- (■), Kiefern- (■) und Fichtenwäldern (■); die Größe der Kreise gibt die Meereshöhe ü. NN an. Ausgleichsgerade mit Konfidenzbe-
reich: $p < 0,05$. – © Kortmann et al. (2026).

gen der Waldwert im Vergleich zu einem Wald ohne Störung, wobei hier nur Kosten für die Holzproduktion, nicht aber Auswirkungen auf andere Waldleistungen wie Erholung, Wasserfilterung und Schutz vor Naturgefahren berücksichtigt sind. In einem starken Klimaszenario (Szenario RCP8.5) könnte sich dieser Wert bis 2100 mehr als verdoppeln, auf 247 Mrd. Euro (Mohr et al. 2025). Für viele Betriebe wird es durch solche Kosten zunehmend unmöglich, geordnete Waldwirtschaft zu betreiben und die nachhaltige Bereitstellung von Waldleistungen sicherzustellen.

Störungen bieten aber auch Chancen, zum Beispiel für die Artenvielfalt. Auf den bereits erwähnten Probepunkten in Nordbayern zeigt sich, dass unabhängig vom Bestandstyp (Buchen-, Eichen-, Kiefern- oder Fichtenwälder) die Öffnung des Kronendachs durch Störungen 2018–2020 positive Effekte auf die Artenvielfalt hatte (Abb. 7, Kortmann et al. 2026). Gestörte Flächen sind in Europa spezielle artenreiche Wälder und bieten somit auch eine Chance, dem aktuell fortschreitenden Artenverlust entgegenzuwirken.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Störung und Resilienz zentrale Elemente des Waldbaus der Zukunft sind.

Literatur

- Grünig, M., W. Rammer, C. Senf, K. Albrich, F. André, A. L. D. Augustynczyk, M. Baumann, F. J. Bohn, M. Bouwman, H. Bugman, A. Collalti, I. Cristal, D. Dalmonech, F. De Coligny, L. Dobor, C. Dollinger, J. M. Espelta, D. I. Forrester, J. Garcia-Gonzalo, J. R. González-Olabarria, U. Hiltner, T. Hlásny, J. Honkaniemi, N. Huber, M. Jonard, A. M. Jönsson, G. Kunstler, F. Lagergren, M. Lindner, M. Mina, C. Moos, X. Morin, B. Muys, G.-J. Nabuurs, M. Nieberg, M. Patacca, M. Peltoniemi, C. P. O. Reyer, M.-J. Schelhaas, I. Storms, D. Thom, M. Toïgo & R. Seidl. 2026. Climate change will increase forest disturbances in Europe throughout the 21st century. – *Science*, 391 (6789): eadx6329. DOI: [10.1126/science.adx6329](https://doi.org/10.1126/science.adx6329)
- Holling, C. S. & L. H. Gunderson. 2002. Resilience and adaptive cycles. – In: Gunderson, L. H. & C. S. Holling (eds.): *Panarchy. Understanding Transformations in Human and Natural Systems*. Island Press: Washington, D.C., USA: 25–62.
- Jentsch, A., R. Seidl & T. Wohlgemut. 2019. Störungen und Störungsregime. – In: Wohlgemut, T., A. Jentsch & R. Seidl (Hrsg.): *Störungsökologie*. UTB 5018, Haupt, Stuttgart: 21–44.
- Kortmann, M., R. Seidl, N. Jaggy, P. Kacic, J. Morinière & J. Müller. 2026. The positive effects of canopy openness across post-disturbance management on insect diversity. – *Biological Conservation*, 313: 111647. DOI: [10.1016/j.biocon.2025.111647](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2025.111647)
- McDowell, N. G., C. D. Allen, K. Anderson-Teixeira, B. H. Aukema, B. Bond-Lamberty, L. Chini, J. S. Clark,

- M. Dietze, C. Grossiord, A. Hanbury-Brown, G. C. Hurtt, R. B. Jackson, D. J. Johnson, L. Kueppers, J. W. Lichstein, K. Ogi, B. Poulter, T. A. M. Pugh, R. Seidl, M. G. Turner, M. Uriarte, A. P. Walker & C. Xu. 2020. Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. – *Science*, 368: eaaz9463. DOI: [10.1126/science.aaz9463](https://doi.org/10.1126/science.aaz9463)
- Mohr, J. S., F. Bastit, M. Grünig, T. Knoke, W. Rammer, C. Senf, D. Thom & R. Seidl. 2025. Rising cost of disturbances for forestry in Europe under climate change. – *Nature Climate Change*, 15: 1078–1083. DOI: [10.1038/s41558-025-02408-9](https://doi.org/10.1038/s41558-025-02408-9)
- Patacca, M., M. Lindner, M. E. Lucas-Borja, T. Cordonnier, G. Fidej, B. Gardiner, Y. Hauf, G. Jasinevičius, S. Labonne, E. Linkevičius, M. Mahnken, S. Milanovic, G. J. Nabuurs, T. A. Nagel, L. Nikinmaa, M. Panyatov, R. Bercak, R. Seidl, M. Z. Ostrogović Sever, J. Socha, D. Thom, D. Vuletic, S. Zudin & M. J. Schelhaas. 2023. Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950. – *Global Change Biology*, 29: 1359–1376. DOI: [10.1111/gcb.16531](https://doi.org/10.1111/gcb.16531)
- Potterf, M., C. Schattenberg, K. Krüger, K. Hochholzer, W. Rammer, M. Grünig, K. H. Braziunas, C. Dörlinger, A. Erhardt, J.-C. Gégout, L. Geres, S. Greiner, T. Hlásny, A. Huber, J. Kerber, J. Lecina-Díaz, L. Mandl, R. Modlinger, J. S. Mohr, J. Müller, M. Muñoz Mazón, P. E. Pinto, T. Richter, S. Seibold, C. Senf, J. M. Serra-Díaz, A. Stritih, D. Thom, A. Viana-Soto, J. Zou & R. Seidl. 2026. Tree regeneration after unprecedented forest disturbances in Central Europe is robust but maladapted to future climate change. – *Global Change Biology*, 32: e70734. DOI: [10.1111/gcb.70734](https://doi.org/10.1111/gcb.70734)
- Seidl, R. & M. G. Turner. 2022. Post-disturbance reorganization of forest ecosystems in a changing world. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.*, 119 (28): e2202190119. DOI: [10.1073/pnas.2202190119](https://doi.org/10.1073/pnas.2202190119)
- Seidl, R., T. A. Spies, D. L. Peterson, S. L. Stephens & J. A. Hicke. 2016. Searching for resilience: addressing the impacts of changing disturbance regimes on forest ecosystem services. – *Journal of Applied Ecology*, 53: 120–129. DOI: [10.1111/1365-2664.12511](https://doi.org/10.1111/1365-2664.12511)
- Seidl, R., M. Potterf, J. Müller, M. G. Turner & W. Rammer. 2024. Patterns of early post-disturbance reorganization in Central European forests. – *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 291 (2031): 20240625. DOI: [10.1098/rspb.2024.0625](https://doi.org/10.1098/rspb.2024.0625)
- Senf, C. & R. Seidl. 2021. Persistent impacts of the 2018 drought on forest disturbance regimes in Europe. – *Biogeosciences*, 18: 5223–5230. DOI: [10.5194/bg-18-5223-2021](https://doi.org/10.5194/bg-18-5223-2021)
- White, P. S. & A. Jentsch. 2001. The search for generality in studies of disturbance and ecosystem dynamics. – *Progress in Botany*, 62: 399–450. DOI: [10.1007/978-3-642-56849-7_17](https://doi.org/10.1007/978-3-642-56849-7_17)

Diskussion

S. Renner: Könnten Sie die fünf Baumarten nennen, die in 80 Jahren in dem schlimmsten Szenario noch am besten zurechtkommen?

R. Seidl: Es gibt hier leider kein »one size fits all«, da wir in Mitteleuropa eine hohe standörtliche Heterogenität haben. Wir haben die Baumarteneignung in der angesprochenen Studie für jeden Standort spezifisch ausgerechnet und wenn ich mich auf eine Baumart festlegen müsste, die in großen Teilen Mitteleuropas auch in Zukunft klimafit sein wird, dann ist das die Eiche. Wo wir heute in der Verjüngung Eichen haben, sind diese mit relativ hoher Wahrscheinlichkeit auch in Zukunft noch immer in ihrer klimatischen Nische. In Bayern wird es sicher in weiten Teilen auch immer noch Gebiete mit Nadelholzkomponente geben, z. B. im Bergwald; da ist die Frage, ob wir sukzessive auch andere Baumarten einmischen müssen.

R. Mosandl: Andererseits gibt es keine Baumart, an der es mehr Schadinsekten gibt als die Eiche.

R. Seidl: Das stimmt, aber das kann man auch als Vorteil sehen. Die Eiche bietet einen sehr guten Lebensraum für ganz viele Arten und wir müssen uns – denke ich – verabschieden von der Idee, dass wir unsere biotischen Probleme dadurch lösen, dass wir eine Baumart durch eine andere ersetzen.

J. Jacob: Ich denke, es ist schon wichtig, dass wir eine Nadelbaumkomponente auf den Störungs- bzw. Verjüngungsflächen behalten. Wenn das die Fichte ist – wie es zum Beispiel unser waldbauliches Konzept in Rheinland-Pfalz durchaus zulässt –, ist das auch überhaupt kein Problem. Sie wird als Zeitmischung immer mitwachsen können. Die Fichte bekommt ihre Probleme mit dem Borkenkäfer und mit dem Sturm, wenn sie ein gewisses Alter und eine gewisse Höhe hat, aber physiologisch kommt sie durchaus mit Trockenheit zurecht. Wenn sie in Mischung mit anderen Komponenten auf der Fläche bis zur Stärkeklasse 2a, das heißt einem mittleren Durchmesser des Stammholzes ohne Rinde von 20 bis 24 cm, durchhält, freuen wir

uns auch auf den Störungsflächen über diese Verjüngung.

Ich habe aber noch eine andere Bemerkung. Am Oberrheingraben haben wir das Problem, dass viele Standorte aus der Vegetationsform Wald herauszufallen drohen und diese somit dort verschwindet. Eine solche Entwicklung beobachten wir räumlich im Oberrheingraben, sie wird sich bei den RCP-Szenarien für die Zukunft aber sicher nicht auf diesen beschränken. Die Bilder sind sehr erschreckend und haben mit der Baumart Fichte, die dort nicht vorkommt, dementsprechend überhaupt nichts zu tun. Wir sind als Förster dort in manchen Situationen bereits vor die schwierige Aufgabe gestellt, zu versuchen, in irgendeiner Form überhaupt noch wald- oder zumindest walddartige (quasi »savannenähnliche«) Bilder gegen die andersgerichteten Einflüsse von Neophyten, Klimawandel oder Grundwasserabsenkung usw. zu erhalten. Ich fürchte, das ist erst der Anfang einer Entwicklung, die wir in nicht allzu ferner Zeit auch außerhalb des Oberrheingrabens erleben werden.

R. Seidl: Was die Nadelholzkomponente angeht, stimme ich Ihnen vollinhaltlich zu. Wenn wir an einem Standort Fichten in der Verjüngung haben, wo sonst nichts nachwächst, bin ich froh über die Fichten. Ein zentrales waldbauliches Konzept, das Sie ansprechen, ist die Zeitmischung, das heißt, die Mischung von Baumarten, die unterschiedliche Zeiträume benötigen, um ihre Hiebsreife zu erreichen oder ihre waldbauliche Funktion zu erfüllen. Da sehe ich aber nicht nur die Fichte, sondern auch viele der Pionierbaumarten wie Birke und Aspe, die wir waldbaulich in den letzten Jahrzehnten ignoriert haben, die aber in Zukunft eine größere Rolle spielen werden. Trotzdem bin ich mir nicht so sicher, ob wir ultimativ wirklich zwingend eine Nadelholzkomponente brauchen. Diese wird ja immer über den Markt argumentiert. Der aktuelle Holzmarkt funktioniert in der Tat v.a. über Nadelholz-Massensortimente, da ist das Laubholz mengenmäßig noch sekundär. Aber wenn ich mit Sägewerksbetreibern spreche, so haben diese deutlich schnellere Zyklen, in denen sie ihre Anlagen anpassen und verändern können, als wir sie im Wald haben. Ich denke

daher, die Industrie wird sich an die Bereitstellungen und Leistungen des Waldes anpassen müssen und nicht wir uns an das, was sich die Industrie aktuell wünscht. Wir haben noch genügend Fichten und Kiefern in Deutschland und es wird für die jetzigen Industrieanlagen noch lange keine Versorgungsprobleme geben, aber die langfristige Zukunft, die wir jetzt auf den gestörten Flächen initiieren, muss besser an ein wärmeres Klima angepasst sein und das bedeutet v. a. Laubholz.

Mit der zweiten Perspektive, die Sie genannt haben, werden auch wir immer wieder konfrontiert. Es gibt natürlich physiologische Limits, und wenn diese überschritten sind, wird es punktuell künftig keine geschlossenen Wälder geben. Ich kenne aber auch Gebiete, zum Beispiel in Ungarn, wo unter sehr trockenen Bedingungen und auf sehr sandigen Böden immer noch Wald im weiteren Sinne stockt. Da ist dann die Frage, ob wir eine Baumart wie die Robinie, die wir grundsätzlich aufgrund ihrer invasiven Eigenschaften zu vermeiden versuchen, nicht doch tolerieren werden müssen, bevor wir gar nichts mehr haben.

J. Jacob: Aber auch diese hat ihre Probleme, wie mitunter selbst bereits auch die Traubenkirsche.

R. Seidl: Ja, und das ist sicher auch ein Feld, auf dem wir noch mehr forschen müssen. Wir sehen, jetzt ist die Resilienz da, aber die Frage ist, wie es in der Zukunft aussehen wird. Ich forsche auch in Gebieten, wo wir schon dabei sind, den Wald zu verlieren, und das sieht deutlich anders aus als alles, was ich aktuell und auch in der mittelfristigen Zukunft für Deutschland sehe. Aber wo hier Grenzen und mögliche Kipppunkte für den Wald sind, das ist tatsächlich ein wichtiges Feld, mit dem wir uns beschäftigen müssen.

A. Bastos: Inwieweit kann natürliche Selektion und Plastizität zu einer höheren Resilienz beitragen? Ich finde es sehr spannend, dass die Bäume, die ein Schadereignis überlebt haben, schon auf der Fläche vorhanden waren. Werden sie evtl. resilienter, weil sie bereits in einem trockeneren Klima aufgewachsen sind?

R. Seidl: In dem Bereich sind wir erst dabei, mit neuen Methoden der Genetik und Genomik zu lernen, wie diese Anpassungsprozesse funk-

tionieren. Wir fokussieren historisch stark auf Baumarten, berücksichtigen aber noch gar nicht die sehr große genetische Bandbreite innerhalb einer Baumart, z. B. in unseren Modellen. Wenn eine Baumart wie die Waldkiefer von Spanien bis Finnland vorkommt, steckt eine viel größere genetische Vielfalt in ihr, als wir aktuell in unseren Modellen berücksichtigen. Viele zentralen Mechanismen der Resilienz, wie auch die genetische Vielfalt und Anpassungsfähigkeit, verstehen wir aktuell nur sehr rudimentär, hier gibt es noch vieles zu entdecken. Der Vorteil von Naturverjüngung ist auch immer, dass die Bäume deutlich besser an Kleinstandorte angepasst sind und dort Bereiche finden, wo z. B. die Bodenbedingungen vielleicht noch etwas besser sind, die Wurzeln tiefer gehen können etc. Naturverjüngung fördert auch die genetische Vielfalt – wir müssen sie aber punktuell durch Pflanzung ergänzen, und zwar dort, wo wir neue Baumarten einbringen wollen. Wir werden also in Zukunft sicher beide Verjüngungsarten – Naturverjüngung und Kunstverjüngung – brauchen.

A. Rothe: Seit ich mein forstlichen Berufsleben 1989 begonnen habe, begleitet mich das Thema Waldumbau. 1975 trat das Waldgesetz für Bayern in Kraft, 1982 wurde die vorbildliche Bewirtschaftung des Staatswaldes mit den Waldbau-grundsätzen konkretisiert und der Waldumbau als Ziel festgeschrieben. Seitdem betreiben wir Waldumbau und die Zahlen zeigen, dass es zwar ein langsamer, aber erfolgreicher Prozess ist. Auch mit Störungen haben wir viel Erfahrungen, die Stürme Vivian und Wiebke haben Anfang 1990 in Bayern große Schäden im Wald angerichtet. Über eine natürliche Sukzession sind wieder Fichte und Weichlaubhölzer (Birke, Aspe, Vogelbeere) nachgewachsen und über einen aktiven Waldumbau lassen sich klimaresilientere Baumarten einbringen wie die Eiche, was aber sehr teuer ist. Die größte damalige Schadfläche in Eichstätt, 30 Hektar am Stück, ist heute ein 35-jähriger Eichenjungbestand, der sehr gut dasteht. Die entscheidende Frage für uns ist dabei: Wo pflanzen wir mit viel Geld und wo lassen wir die Sukzession laufen? Das müssen sinnvolle Konzepte sein, das ist das entscheidende forstliche Knowhow. Ich möchte auch noch einmal unterstreichen, was Frau Bastos gesagt hat.³ Wenn wir den Klimawandel, der momentan in der Politik außen vor ist, nicht bekämpfen,

können wir eine nette forstliche Ablenkdiskussion führen, aber das wird nichts helfen, weil wir mit dem Klimaszenario RCP8.5 in großen Teilen aus dem Waldbereich herauskommen; in Spanien wird dann Wüste sein. Die Aktivitäten müssen in Richtung Klimaschutz und Emissionsreduzierung gehen und wir Förster müssen dazu beitragen, dass das Thema wieder auf Platz 1 der Schlagzeilen kommt.

R. Seidl: Dem stimme ich komplett zu. Was ich unterstreichen möchte, ist, dass die Störungsflächen auch die Chance bieten, die Heterogenität zu erhöhen. Wenn z. B. einmal eine Teilfläche für einige Jahre nicht bestockt ist, so fördert das die strukturelle Vielfalt im Folgebestand. In der Durchforstung versuchen wir oft mit großer Kraftanstrengung, die Strukturdiversität in einem Bestand zu erhöhen. Diese Strukturdiversität wird uns jetzt durch die Störung gegeben, wenn wir z. B. punktuell die Pionierbaumarten mitnehmen, die eine andere Wuchsdynamik aufweisen, wenn wir punktuell auch einmal etwas Neues pflanzen, oder aber auch punktuell einmal die Fichte noch mitlaufen lassen. Beim Zurückgehen auf die alten Sturmflächen der 1990er-Jahre fasziniert mich oft die Vielfalt, die aus diesem Gradienten von starken Managementmaßnahmen bis gar keinen Maßnahmen entstanden ist. Diese Heterogenität und Vielfalt ist ein wichtiges Rezept für die Zukunft und die Störung liefert uns schon viele entsprechenden Ansätze für eine derartige Strukturvielfalt.

S. Höllerl: Nachdem der Frankenwald angesprochen worden ist, möchte ich kurz erwähnen,

welche drei Schlussfolgerungen wir aus der Situation im Frankenwald gezogen haben. Die Situation war ja im ganz Kleinen eine ähnliche wie im Harz. Bei einer Auswertung des DLR zum Verlust der Baumkronenbedeckung haben wir festgestellt, dass auf den Flächen der Bayerischen Staatsforsten der Verlust deutlich geringer war als außenherum im Privatwald oder in den angrenzenden Bundesländern. Ich sage das nicht, um uns selbst auf die Schulter zu klopfen, sondern weil wir aufgrund der gegenüber dem Privatwald zentraleren Organisation in der Lage waren, Hunderte von Arbeitskräften dorthin zur Aushilfe zu schicken. Die Botschaft für uns war: Borkenkäfermanagement kann funktionieren und man kann Borkenkäferstörungen ein Stück weit verlangsamen und zurückhalten. Die zweite Schlussfolgerung war aber auch die, dass wir sie nicht komplett aufhalten können. In der zweiten Hälfte 2023 sind auch im Staatswald die Schäden flächiger geworden. Die dritte Schlussfolgerung ergibt sich ganz logisch daraus: Wir müssen sehen, dass wir den Waldbau in solchen Regionen vorantreiben. Da wäre auch ich etwas vorsichtig mit der Empfehlung aus dem vorherigen Vortrag, die Erntemengen zu reduzieren. Wir haben vielmehr das Umgekehrte gesehen: Dort, wo wir vorausschauend Eingriffe getätigt haben, um Mischbaumarten einzubringen, haben wir jetzt überhaupt kein Problem, da stand die zweite Schicht schon bereit. Wir brauchen aber auch eine vernünftige Bejagung, damit diese Baumarten durchkommen können und nicht wieder nur Fichte hochkommt.

3 Bastos, A. 2026. Klimatische und menschliche Risikofaktoren für Waldökosysteme. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Wälder: Zustand, Gefährdung und Management. Pfeil, Günding: 37–46.