

Positionspapier der IG gesunder Boden e. V.

„Gesunde Wälder brauchen gesunde Böden“



Unser Wald bedeckt in Deutschland ca. 30% der Fläche¹ und wird erst von den Menschen wahrgenommen, wenn es diesem schlecht geht. So geschehen und gesehen in den Dürreereignissen von 2018-2020, als über 501.000 Hektar abstarben², was der doppelten Fläche des Saarlandes entspricht. Doch unsere Wälder erfüllen wichtige ökologische, soziale und ökonomische Funktionen für unsere Gesellschaft. Besonders letztere ist für die meisten Menschen die offensichtlichste, denn unser Wald wird vor allem als **Holzproduzent** für Konstruktionsholz, Energie sowie Faserstoffe wahrgenommen. Bei nachhaltiger Nutzung wird, ohne Abzug der Erntekosten, ein Erlöspotential von 7,1 Milliarden € angenommen³. Dazu kommt die Wirtschaftsleistung der vor- und nachgelagerten Industriezweige, wie beispielsweise Forsttechnik und Holzverarbeitung. Doch

Wälder können so viel mehr! Sie sind unser **kulturelles Erbe** und leisten einen wichtigen identitäts- sowie kulturstiftenden Beitrag, der für den Zusammenhalt unserer Gesellschaft essentiell ist^{4,5}. **Erholung und Gesundheit** bieten Wälder als Orte vieler Freizeitaktivitäten⁶, haben luftreinigende Wirkung⁷ und sind ein wichtiger wirtschaftlicher Faktor der Tourismusbranche. Im Spiegel des Klimawandels, der vielmehr eine Klimakrise ist^{8,9}, nehmen jedoch die Ökosystemdienstleistungen eine zunehmend wichtigere Rolle ein. Denn unsere Wälder haben erheblichen Einfluss auf den Wasserkreislauf, die Landschaftskühlung und sind zudem Stabilisator vieler Ökosysteme. Der Wald ist ein **Wasserspeicher**, da dieser durch die Pflanzenbedeckung Erosion verhindert¹⁰ und damit Wasser hält, aber auch durch die Porigkeit der Böden Wasserinfiltration ermöglicht, welche 200-500% der Infiltrationsleistung eines Ackers beträgt¹¹. So trägt der Wald durch die erhöhte Versickerungsleistung des Bodens¹² zum **Hochwasserschutz** sowie zur Verlangsamung des Wasserstroms von Flüssen¹³ bei. Unser Wald ist ein **Trinkwasserproduzent** für die Gesellschaft, da die Filterfunktion der Waldböden eine große Menge sauberes Trinkwasser¹⁴ erzeugt. Wälder sind auch **Regenmacher**, da sie einen starken Einfluss auf lokale und regionale Niederschläge ausüben. Durch die Verdunstung von Wasser über das Blattwerk wird die Wolkenbildung angeregt, was in Regen erzeugt¹⁵. Dazu bremsen Bäume die Windgeschwindigkeit¹⁶, so dass Wasser, statt ungenutzt aus dem Boden zu verdunsten, besser von Pflanzen genutzt und transpiriert werden kann. Die Transpiration, das Verdunsten aus der Blattoberfläche durch Wälder, führt zu einer **Kühlung auf Landschaftsebene**¹⁷. Zusätzlich wird der Effekt verstärkt durch die Beschattung der Bäume¹⁸ und den Albedo Effekt¹⁹, d.h. die Pflanzenbedeckung absorbiert die Wärmeenergie der Strahlung. Hingegen speichert offener Boden die Wärme und gibt sie langsam ab, wodurch sich die umgebende Landschaft erhitzt. Unsere Wälder fungieren als **klimawirksamer Kohlenstoffspeicher** durch Kohlenstoffsequestrierung und der Bindung des Kohlenstoffs in Biomasse: So befindet sich weniger CO₂ in der Atmosphäre, was langfristig die Erderwärmung verlangsamt²⁰. Wälder gehören, nur bei angepasster Nutzung²¹, zu den artenreichsten Lebensräumen der Landschaft und beherbergen eine immense Vielfalt an Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen²². Die Wechselwirkungen zwischen diesen verschiedenen Arten und ihrer Umgebung schaffen komplexe und verschlungene ökologische Netzwerke, die zur allgemeinen Gesundheit und Stabilität des Ökosystems Wald beitragen¹¹, so dass die genannten Ökosystemdienstleistungen nachhaltig und für lange Zeit erhalten bleiben können. Durch ihre großen Blattoberflächen wirken Wälder als **Feinstaubfilter**²³ und können bis zu 76%²⁴ der enthaltenen Feinstaubpartikel aus der Luft binden, was insbesondere stadtnah die Luftqualität verbessert. Unsere Böden beherbergen etwa 2/3 der **Artenvielfalt**²⁵ unserer Natur. Gesunde Wälder nehmen hierbei eine besondere Rolle ein, da die Netzwerkdichte am höchsten und der Kohlenstoffkreislauf am effizientesten ist²⁶. Diese Artenvielfalt wird im Wesentlichen von der Bewirtschaftung bestimmt und ist Voraussetzung für die Stabilität des Ökosystems Wald²⁷. Die Wälder in Mitteleuropa erbringen regulierende als auch erhaltende **Ökosystemleistungen im Wert von etwa 2.800\$ (± 2600€) pro Jahr und Hektar**.²⁸

Im Spiegel der Klimakrise stellen

Wälder eine immer wichtiger werdende Lebensgrundlage

unserer Zivilisation und der kommenden Generationen dar²⁹.



Unsere Wälder werden bedroht durch Infrastruktur und Gesellschaft, klimatische Einflüsse, die Nutzung und den politischen Rahmen. Diese Gefahren haben insbesondere in ihrer Kombination erhebliche Auswirkungen auf das ökosystemare Gefüge unserer Wälder¹¹:

Der **respektlose Umgang**, der sich durch Vandalismus, Vermüllung³⁰ und Flächenversiegelung durch Autobahnenbau³¹ oder dem Landhunger der Städte³² ausdrückt, gefährden unseren Wald. Ebenso die **Luftverschmutzung**, die in den 90er Jahren durch das Fichtensterben prominent illustriert wurde. Saurer Regen, durch Schwefeldioxid- und Stickoxidemissionen verursacht, führte zu Blattschäden und Wachstumsverzögerungen bei Bäumen³³ sowie einer Nährstoffungleichgewichte im Boden³⁴. Die Ozonbelastung beeinträchtigt durch die Reaktion von Stickstoffoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen zudem die Blattgesundheit und Photosynthese³⁵. Hinzu kommen die Stickstoffeinträge durch Stickstoffoxide und Ammoniak aus Industrie und Massentierhaltung, die das Nährstoffgleichgewicht im Boden stören³⁶. Auch **Landnutzungsänderungen** bedrohen unseren Wald. So z.B. die Abholzung des Waldes für den Ausbau von Infrastruktur wie z.B. Autobahnenbau³¹ oder kommerzieller Interessen wie dem Kohleabbau³⁷. Viel stärker aber nimmt der Mensch durch sein **Wald-Management** einen negativen Einfluss auf die Resilienz des Waldes. Zum Beispiel durch eine schlecht an den Standort adaptierte und wenig diverse Baumartenzusammensetzung und Reinbestände^{38,39}, übermäßige Entnahme und schlechtes Timing bei der Holzernte⁴⁰; fehlendes Bodenfruchtbarkeitsmanagement⁴¹, aber auch zu schwere Maschinen und Fahrzeuge^{42,43}. Diese sind vom Waldbesitzer oder -pächter zu verantworten. Dessen Handlungsspielräume werden jedoch durch ökonomischen Druck²⁷, fehlendes Wissen und Informationen⁴⁴ und fehlende förderpolitische Maßnahmen mitbestimmt⁴⁵. Unbewachsene und damit ungeschützte Bodenoberfläche durch Rodung oder klimawandelbedingt, steigert das **Erosionsrisiko**⁴⁶ bei unangepassten Wäldern⁴⁷: Erhöhte Jahresdurchschnittstemperaturen, veränderte Niederschlagsmuster und extreme Wetterereignisse werden dann umso gefährlicher. Diese reduzieren die Waldregeneration und die Samenverbreitung. Höhere Temperaturen im Winter werden statt Schnee mehr Regen bedingen⁴⁸, zu einer Zeit mit wenig Vegetation. Des Weiteren führt die erhöhte Wahrscheinlichkeit von Extremwetterereignissen⁴⁹ wie Stürmen und Dürren zu großen Schäden mit einhergehender Auswirkungen auf die Biodiversität⁵⁰. Mehr Trockenperioden in der Zukunft führen zu trockenerem Holz und Unterholz, was die Gefahr eines **Waldbrandes**^{51,52}, auch in Deutschland, erhöhen wird. Durch **Stresssituationen**, bedingt durch den Klimaveränderungen wird die Ausbreitung von **Schädlingen und Krankheiten** begünstigt⁵³, aber auch die klimatische Basis für neue Schaderreger sind⁵³ oder alte Bekannte fördern, so z.B. Borkenkäfer⁵⁴, Eichenprozessionsspinner, Lärchenwickler oder das durch Pilze verursachte Ulmensterben sowie Eschentriebsterben⁵⁵. Die Schwächung durch die Schaderreger reduziert wiederum die Naturverjüngung⁵⁶, den Aufwuchs jüngerer Bäume aus dem alten Bestand.

Denn:

Schaderreger sind Schwächeanzeiger gestresster Baumbestände.^{57–59}



Die Fichtenbestand im Laubwald wurde durch Sommertrockenheit geschwächt und durch Borkenkäfer und Schadpilze bis zum Absterben geschädigt.



Die zukünftige **Waldwirtschaft** sollte **neben der Holzproduktion auch** auf der **Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen** basieren, um das ökologische Gleichgewicht im Wald zu gewährleisten, Wasser zu speichern und die Landschaft zu kühlen.

Dafür braucht es **Schlüsselstrategien für gesunde Dauerwälder⁶⁰**:



Stetigkeit des Waldorganismus^{61–63}: Im Wald muss die Ökosystemfunktion erhalten bleiben, um stabil bei klimatischen Extremen zu funktionieren. Holz sollte selektiv und einzelstammweise entnommen werden, um die natürliche Regeneration sowie eine diversifizierte Altersstruktur im Wald zu fördern.



Lebendigkeit des Bodens⁶⁴: Ein humusreicher Boden kann durch eine erhöhte Porosität mehr Wasser infiltrieren und schützt vor Dürre. Regenwurmfreundliches Laub, beispielsweise von Edellaubhölzern, halbschattige Bedingungen und geringere Bodenverdichtung fördern das dafür benötigte Bodenleben.



Mischbestockung⁶⁵: Eine Baumartenvielfalt erhöht die ökologische Resilienz des Waldes gegenüber Schädlingen, Krankheiten und abiotischen Stressfaktoren wie Trockenheit. Verschiedene Baum- und Straucharten tragen zur Erhöhung der Biodiversität bei und verteilen das Risiko bei Schadereignissen.



Ungleichaltrigkeit oder Stufigkeit⁶⁶: Regelmäßige, moderate Entnahme von Holz unterstützt diese strukturelle Vielfalt durch ungleichaltrige Bäume²⁷. Nach Störungen werden Lücken schneller geschlossen. Dies trägt zu einer kontinuierlichen Bedeckung und damit zum Bodenschutz bei und schützt vor Schäden durch Stürme.



Holzwerterzeugung⁶⁷: Hochwertiges Holz und die Entwicklung von starken, gesunden Bäumen über die gesamte Fläche hinweg ist das Ziel. Durch Einzelbaumentnahme entsteht eine ungleichmäßige Bestandsentwicklungen, welche die ökologischen und ökonomischen Werte des Waldes maximiert.



Ein vielfältiger Wald wird durch einen Mischbestand alter und junger Bäume, verschiedener Arten, einem stufigen Aufbau und einer funktionierenden Naturverjüngung gekennzeichnet.

Der Umbau muss durch eine Kombination aus fachlichem Know-how, politischer Unterstützung und finanziellen Anreizen erreicht werden. Dafür sind Bewertungsgrundlagen für die Anpassung nötig, aber auch Wälder, die jetzt schon demonstrieren, wie solch ein Wald aussieht und funktioniert. Mehr Informationen, Grundlagen und Details zur Umsetzung beinhaltet das Handbuch für nachhaltigen Waldumbau.



Handbuch Wald

www.bit.ly/4aZ6Eyw



Ein vielfältiger Mischwald trotz Wetterextremen und Schädlingen, infiltriert Wasser, kühlt die Landschaft und bindet CO₂.

Der klimagerechte Waldumbau macht nicht nur unsere Holzproduktion zukunftsfähig, sondern auch die Umwelt zukünftiger Generationen lebenswerter.



Literatur

- (1) DESTATIS. Flächengröße Des Waldes Nach Bundesländern; 2023. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Wald-Holz/Tabellen/waldflaeche-bundeslaender.html> (accessed 2024-03-17).
- (2) Thonfeld, F.; Gessner, U.; Holzwarth, S.; Kriesie, J.; Da Ponte, E.; Huth, J.; Kuenzer, C. A First Assessment of Canopy Cover Loss in Germany's Forests after the 2018–2020 Drought Years. *Remote Sens.* 2022, 14 (3), 562. <https://doi.org/10.3390/rs14030562>.
- (3) Elsäßer, P.; Altenbrunn, K.; Köthke, M. Regionalisierte Bewertung der Waldeleistungen in Deutschland; Johann Heinrich von Thünen-Institut: DE, 2020.
- (4) Bürgi, M.; Cevasco, G.; Demeter, L.; Fescenko, A.; Gabellieri, N.; Marull, J.; Östlund, L.; Šantr/lučková, M.; Wohlgemuth, T. Where Do We Come from? Cultural Heritage in Forests and Forest Management. *How to Balance Forestry and Biodiversity Conservation. A View Across Europe*, 2020, 46–61.
- (5) Forestry and Our Cultural Heritage: Proceedings of the Seminar, 13–15 June, 2005 Sunne, Sweden; Joint FAO/FCE/ILE Experts Network to Implement Sustainable Forest Management, Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, Skogsstyrelsen, Eds.; Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe. Liaison Unit: Warsaw, 2006.
- (6) Wilkes-Allemann, J.; Hanewinkel, M.; Pütz, M. Forest Recreation as a Governance Problem: Four Case Studies from Switzerland. *Eur. J. For. Res.* 2017, 136 (3), <https://doi.org/10.1007/s10342-017-1049-0>.
- (7) Jim, C. Y.; Chen, W. Y. Assessing the Ecosystem Service of Air Pollutant Removal by Urban Trees in Guangzhou (China). *J. Environ. Manage.* 2008, 88 (4), 665–676. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.035>.
- (8) Klingenberg, E.; Araos, M.; Koslov, L. Sociology and the Climate Crisis. *Annu. Rev. Sociol.* 2020, 46 (1), 649–669. <https://doi.org/10.1146/annurev-soc-121919-054750>.
- (9) Meyer-Ohlendorf, N. Framing-Check: Klimawandel! Dieser Begriff Ist Ein Sieg Für Alle, Die Nichts Verändern Wollen. *Süddeutsche Zeitung*, 2018. www.sz.de/14252824 (accessed 2023-08-03).
- (10) Sidle, R. C.; Ziegler, A. D.; Negishi, J. N.; Nik, A. R.; Siew, R.; Turkelboom, F. Erosion Processes in Steep Terrain—Truths, Myths, and Uncertainties Related to Forest Management in Southeast Asia. *For. Ecol. Manage.* 2006, 224 (1–2), 199–225. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.12.019>.
- (11) Wilpert, K. V. Forest Soils—What's Their Peculiarity? *Soil Syst.* 2022, 6 (1), 5. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6010005>.
- (12) Filoso, S.; Bezerra, M. O.; Weiss, K. C. B.; Palmer, M. A. Impacts of Forest Restoration on Water Yield: A Systematic Review. *PLOS ONE* 2017, 12 (8), e0183210. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183210>.
- (13) Dietze, M.; Bell, R.; Öztürk, U.; Cook, K. C. B.; Andermann, C.; Beer, A. R.; Damm, B.; Lucia, A.; Fauer, F. S.; Nissen, K. M.; Sieg, T.; Thieken, A. H. More than Heavy Rain Turning into Fast-Flowing Water – a Landscape Perspective on the 2021 Eifel Floods. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2022, 22 (6), 1845–1856. <https://doi.org/10.5194/nhess-22-1845-2022>.
- (14) Neany, D. G.; Ico, G. J.; Jackson, C. R. Linkages between Forest Soils and Water Quality and Quantity. *For. Ecol. Manage.* 2009, 258 (10), 2269–2281. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.05.027>.
- (15) Ellison, D.; Morris, C. E.; Locatelli, B.; Shell, D.; Cohen, J.; Murtidjarsa, D.; Gutierrez, V.; Noordwijk, M. V.; Creed, I. F.; Pokorny, J.; Gaveau, D.; Spracklen, D. V.; Tobella, A. B.; Istedt, U.; Teuling, A. J.; Gebrehiwot, S. G.; Sands, D. C.; Muys, B.; Verbiest, B.; Springgay, E.; Sugandi, Y.; Sullivan, C. A. Trees, Forests and Water: Cool Insights for a Hot World. *Glob. Environ. Change* 2017, 43, 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>.
- (16) Peri, P. L.; Bloomberg, M. Windbreaks in Southern Patagonia, Argentina: A Review of Research on Growth Models, Windspeed Reduction, and Effects On crops [No Title Found]. *Agrofor. Syst.* 2002, 56 (2), 129–144. <https://doi.org/10.1023/A:1021314927209>.
- (17) Li, Y.; Zhao, M.; Motesharrei, S.; Mu, Q.; Kalnay, E.; Li, S. Local Cooling and Warming Effects of Forests Based on Satellite Observations. *Nat. Commun.* 2015, 6 (1), 6603. <https://doi.org/10.1038/ncomms7603>.
- (18) Rahman, M. A.; Stratopoulos, L. M. F.; Moser-Reischl, A.; Zölch, T.; Häberle, K.-H.; Rötzer, T.; Pretsch, H.; Paulitz, S. Traits of Trees for Cooling Urban Heat Islands: A Meta-Analysis. *Build. Environ.* 2020, 170, 106606. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106606>.
- (19) Bonan, G. B. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. *Science* 2008, 320 (5882), 1444–1449. <https://doi.org/10.1126/science.1155121>.
- (20) Wang, W.; Huang, W.; Fang, Y. Forest Management Plan Based on Forest Carbon Sequestration. *Highlights Sci. Eng. Technol.* 2022, 25, 153–159. <https://doi.org/10.54097/hset.v25i.3457>.
- (21) Bengtsson, J.; Nilsson, S. G.; Franc, A.; Menozzi, P. Biodiversity, Disturbances, Ecosystem Function and Management of European Forests. *For. Ecol. Manage.* 2000, 132 (1), 39–50. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00378-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00378-9).
- (22) Härdtle, W.; Von Oheimb, G.; Westphal, C. The Effects of Light and Soil Conditions on the Species Richness of the Ground Vegetation of Deciduous Forests in Northern Germany (Schleswig-Holstein). *For. Ecol. Manage.* 2003, 182 (1–3), 327–338. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00091-4](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00091-4).
- (23) Zhang, Z.; Liu, J.; Wu, Y.; Yan, G.; Zhu, L.; Yu, X. Multi-Scale Comparison of the Fine Particle Removal Capacity of Urban Forests and Wetlands. *Sci. Rep.* 2017, 7 (1), 46214. <https://doi.org/10.1038/srep46214>.
- (24) Schaubrock, T.; Deckmyn, G.; Neynckx, J.; Staelens, J.; Adriaenssens, S.; Dewulf, J.; Muys, B.; Verheyen, K. Multilayered Modeling of Particulate Matter Removal by a Growing Forest over Time, From Plant Surface Deposition to Washoff by Rainfall. *Environ. Sci. Technol.* 2014, 48 (18), 10785–10794. <https://doi.org/10.1021/es5019724>.
- (25) Anthony, M. A.; Bender, S. F.; Van Der Heijden, M. G. A. Enumerating Soil Biodiversity. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2023, 120 (33), e2304663120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2304663120>.
- (26) Creamer, R. E.; Hannula, S. E.; Leeuwen, J. P. V.; Stone, D.; Rutgers, M.; Schmelz, R. M.; Ruiters, P. C. de; Hendriksen, N. B.; Bolger, T.; Bouffaud, M. L.; Buee, M.; Carvalho, F.; Costa, D.; Dirigen, T.; Francisco, R.; Griffiths, B. S.; Griffiths, R.; Martin, F.; Silva, P. M. D.; Mendes, S.; Morais, P. V.; Pereira, C.; Philippot, L.; Plassart, P.; Redeker, D.; Römke, J.; Sousa, J. P.; Wouterse, M.; Lemanceau, P. Ecological Network Analysis Reveals the Inter-Connection between Soil Biodiversity and Ecosystem Function as Affected by Land Use across Europe. *Appl. Soil Ecol.* 2016, 97, 112–124. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.08.006>.
- (27) Chaudhary, A.; Burivalova, Z.; Koh, L. P.; Hellweg, S. Impact of Forest Management on Species Richness: Global Meta-Analysis and Economic Trade-Offs. *Sci. Rep.* 2016, 6 (1), 23954. <https://doi.org/10.1038/srep23954>.
- (28) Grammatikopoulou, I.; Vačkářová, D. The Value of Forest Ecosystem Services: A Meta-Analysis at the European Scale and Application to National Ecosystem Accounting. *Ecosyst. Serv.* 2021, 48, 101262. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101262>.
- (29) Millar, C. I.; Stephenson, N. L.; Stephens, S. L. CLIMATE CHANGE AND FORESTS OF THE FUTURE: MANAGING IN THE FACE OF UNCERTAINTY. *Ecol. Appl.* 2007, 17 (8), 2145–2151. <https://doi.org/10.1890/07-1715.1>.
- (30) Referowska-Chodak, E. Pressures and Threats to Nature Related to Human Activities in European Urban and Suburban Forests. *Forests* 2019, 10 (9), 765. <https://doi.org/10.3390/10090765>.
- (31) Gohr, C.; Blumröder, J. S.; Ibsch, P. L.; Stoppel, J.; e V, G. Thermische Wirkungen von Waldökosystemen Und Autobahnen Unter Den Bedingungen Des Klimawandels: Beurteilung Der Mikro- Und Mesoklimatischen Effekte Des Geplanten Baus Des Autobahnabschnittes Der A 49 Auf Den Dannenröder Forst, Hessen; Greenpeace e. V., 2020.
- (32) Ehrhardt, D.; Eichhorn, S.; Behnisch, M.; Jehling, M.; Münter, A.; Schünemann, C.; Siedentop, S. Stadtrationen Im Spannungsfeld Zwischen Wohnungsfrage Und Flächensparen. *Trends, Strategien Und Lösungsansätze In Kernstädten Und ihrem Umland. Raumforsch. Raumordn. Spat. Res. Plan.* 2022, 80 (5), 522–541. <https://doi.org/10.14512/rur.216>.
- (33) Irvine, I. C.; Greaver, T.; Phelan, J.; Sabo, R. D.; Van Houtven, G. Terrestrial Acidification and Ecosystem Services: Effects of Acid Rain on Bunnies, Baseball, and Christmas Trees. *Ecosphere* 2017, 8 (6), e01857. <https://doi.org/10.1002/ecsc.1857>.
- (34) Watmough, S. A.; Hutchinson, C. T.; Sager, E. P. S. The Impact of Simulated Acid Rain on Soil Leachate and Xylem Chemistry in a Jack Pine (*Pinus Banksiana* Lamb.) Stand in Northern Ontario, Canada. *Water, Air, Soil Pollut.* 1999, 111 (1/4), 89–108. <https://doi.org/10.1023/A:1005007518586>.
- (35) Dean, T. J.; Johnson, J. D. Growth Response of Young Slash Pine Trees to Simulated Acid Rain and Ozone Stress. *Can. J. For. Res.* 1992, 22 (6), 839–848. <https://doi.org/10.1139/x92-113>.
- (36) De Witte, L. C.; Rosenstock, N. P.; Van Der Linde, S.; Braun, S. Nitrogen Deposition Changes Ectomycorrhizal Communities in Swiss Beech Forests. *Sci. Total Environ.* 2017, 605–606, 1083–1096. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.142>.
- (37) Henseleit, M.; Venghaus, S.; Kuckshinrichs, W. The Hambach Forest in the German Debate on Climate Protection: Is There a Symbolic Value beyond the Environmental Value? In *Sustainable Rural Development Perspective and Global Challenges*; Özalpbalas, O., Ed.; IntechOpen, 2023. <https://doi.org/10.5772/intechopen.101597>.
- (38) Wang, B.; Tian, C.; Liang, Y. Mixed Effects of Landscape Structure, Tree Diversity and Stand's Relative Position on Insect and Pathogen Damage in Riparian Poplar Forests. *For. Ecol. Manage.* 2021, 479, 118555. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118555>.
- (39) Pretsch, H.; Schütze, G.; Uhl, E. Resistance of European Tree Species to Drought Stress in Mixed versus Pure Forests: Evidence of Stress Release by Inter-specific Facilitation. *Plant Biol.* 2013, 15 (3), 483–495. <https://doi.org/10.1111/1438-8677.2012.00670.x>.
- (40) Zamora-Pereira, J. C.; Yousefpour, R.; Cailliet, M.; Bugmann, H.; Hanewinkel, M. Magnitude and Timing of Density Reduction Are Key for the Resilience to Severe Drought in Conifer-Broadleaf Mixed Forests in Central Europe. *Ann. For. Sci.* 2021, 78 (3), 68. <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01085-w>.
- (41) Nambiar, E. K. S. Sustained Productivity of Forests Is a Continuing Challenge to Soil Science. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1996, 60 (6), 1629–1642. <https://doi.org/10.2136/sssai1996.03615995006000060006x>.
- (42) Hildebrand, E. E.; Schack-Kirchner, H. The Influence of Compaction on Soil Structure and Functions in Forest Sites. In *Modern Trends in Applied Terrestrial Ecology*; Ambashit, R. S., Ambashit, N. K., Eds.; Springer US: Boston, MA, 2002; pp 1–11. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0223-4_1.
- (43) Amptoor, E.; De Schrijver, A.; Van Nevel, L.; Hermy, M.; Verheyen, K. Impact of Mechanized Harvesting on Compaction of Sandy and Clayey Forest Soils: Results of a Meta-Analysis. *Ann. For. Sci.* 2012, 69 (5), 533–542. <https://doi.org/10.1007/s13595-012-0199-y>.
- (44) Sousa-Silva, R.; Verbiest, B.; Lomba, A.; Valent, P.; Suškevics, M.; Picard, O.; Hoogstra-Klein, M. A.; Cossofret, V.-C.; Bouriaud, L.; Ponette, Q.; Verheyen, K.; Muys, B. Adapting Forest Management to Climate Change in Europe: Linking Perceptions to Adaptive Responses. *For. Policy Econ.* 2018, 90, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.01.004>.
- (45) Referowska-Chodak, E. Management and Social Problems Linked to the Human Use of European Urban and Suburban Forests. *Forests* 2019, 10 (11), 964. <https://doi.org/10.3390/10110964>.
- (46) Pimentel, D.; Kounang, N. Ecology of Soil Erosion in Ecosystems. *Ecosystems* 1998, 1 (5), 416–426. <https://doi.org/10.1007/s100219900035>.
- (47) Holzwarth, S.; Thonfeld, F.; Abdullahi, S.; Asam, S.; Da Ponte Canova, E.; Gessner, U.; Huth, J.; Kraus, T.; Kuentner, B.; Kuenzer, C. Earth Observation Based Monitoring of Forests in Germany: A Review. *Remote Sens.* 2020, 12 (21), 3570. <https://doi.org/10.3390/rs12213570>.
- (48) Neukum, C.; Azzam, R. Impact of Climate Change on Groundwater Recharge in a Small Catchment in the Black Forest, Germany. *Hydrogeol. J.* 2012, 20 (3), 547–560. <https://doi.org/10.1007/s10040-011-0827-x>.
- (49) Ma, F.; Yuan, X.; Jiao, Y.; Ji, P. Unprecedented Europe Heat in June–July 2019: Risk in the Historical and Future Context. *Geophys. Res. Lett.* 2020, 47 (11), e2020GL087809. <https://doi.org/10.1029/2020GL087809>.
- (50) Kamp, J.; Trappe, J.; Döbbers, L.; Funke, S. Impacts of Windstorm-Induced Forest Loss and Variable Reforestation on Bird Communities. *For. Ecol. Manage.* 2020, 478, 118504. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118504>.
- (51) Lasch-Born, P.; Suckow, F.; Gutsch, M.; Reyer, C.; Hauf, Y.; Murawski, A.; Pilz, T. Forests under Climate Change: Potential Risks and Opportunities. *Meteorol. Z.* 2015, 24 (2), 157–172. <https://doi.org/10.1127/metz/2014/0526>.
- (52) Holsten, A.; Dominic, A. R.; Costa, L.; Kropp, J. P. Evaluation of the Performance of Meteorological Forest Fire Indices for German Federal States. *For. Ecol. Manage.* 2013, 287, 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.08.035>.
- (53) La Porta, N.; Capretti, P.; Thomsen, I. M.; Kananen, R.; Hietala, A. M.; Von Weissenberg, K. Forest Pathogens with Higher Damage Potential Due to Climate Change in Europe. *Can. J. Plant Pathol.* 2008, 30 (2), 177–195. <https://doi.org/10.1080/07060661.2008.10540534>.
- (54) Jakob, O.; Lischke, H.; Wermelinger, B. Climate Change Alters Elevational Phenology Patterns of the European Spruce Bark Beetle (*Ips typographus*). *Glob. Change Biol.* 2019, 25 (12), 4048–4063. <https://doi.org/10.1111/gcb.14766>.
- (55) Ghelardini, L.; Pepori, A. L.; Luchi, N.; Capretti, P.; Santini, A. Drivers of Emerging Fungal Diseases of Forest Trees. *For. Ecol. Manage.* 2016, 381, 235–246. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.09.032>.
- (56) Demeter, L.; Molnar, A. P.; Öllner, K.; Csóka, G.; Kis, A.; Vadász, C.; Horváth, F.; Molnár, Z. Rethinking the Natural Regeneration Failure of Pedunculate Oak: The Pathogen Mildew Hypothesis. *Biol. Conserv.* 2021, 253, 108928. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108928>.
- (57) Waring, R. H. Characteristics of Trees Predisposed to Die. *BioScience* 1987, 37 (8), 569–574. <https://doi.org/10.2307/1310667>.
- (58) Kelsey, R. G.; Joseph, G. Attraction of Scolytus Unispinosus Bark Beetles to Ethanol in Water-Stressed Douglas-Fir Branches. *For. Ecol. Manage.* 2001, 144 (1–3), 229–238. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00387-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00387-X).
- (59) Hossain, M.; Veneklaas, E. J.; Hardy, G. E. S. J.; Poot, P. Tree Host-Pathogen Interactions as Influenced by Drought Timing: Linking Physiological Performance, Biochemical Defence and Disease Severity. *Tree Physiol.* 2019, 39 (1), 6–18. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv113>.
- (60) Bode, W. Alfred Möllers Dauerwaldbeispiel: Mit Den Reprints Sämtlicher Beiträge Alfred Möllers Zur Dauerwaldliebe 1920-1922, Erste Auflage.; Matthes & Seitz Berlin: Berlin, 2021.
- (61) Schiess, P.; Krogstad, F. Forest Harvest and Transportation. In *Fishes and Forestry*; Northcot, T. G., Hartman, G. F., Eds.; Wiley, 2004; pp 193–215. <https://doi.org/10.1002/9780470995242.ch10>.
- (62) Dymond, C. C.; Tedder, S.; Spittlehouse, D. L.; Raymer, B.; Hopkins, K.; McCallion, K.; Sandland, J. Diversifying Managed Forests to Increase Resilience. *Can. J. For. Res.* 2014, 44 (10), 1196–1205. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0146>.
- (63) Bauhus, J. Stand Structure and Tree Growth in Uneven-Aged Spotted Gum (*Corymbia Maculata*) Forests: Some Implications for Management. *Forestry* 2002, 75 (4), 451–456. <https://doi.org/10.1093/forestry/75.4.451>.
- (64) Zangerle, A.; Hissler, C.; Lavelle, P. Effects of Earthworms and Plants on the Soil Structure, the Physical Stabilization of Soil Organic Matter and Diversity in Soil Aggregates in a Long Term Study. 2014, 16293.
- (65) Hof, A. R.; Dymond, C. C.; Mladenoff, D. J. Climate Change Mitigation through Adaptation: The Effectiveness of Forest Diversification by Novel Tree Planting Regimes. *Ecosphere* 2017, 8 (11), e01981. <https://doi.org/10.1002/ecsc.1981>.
- (66) Morin, X.; Fahse, L.; Scherer-Lorenzen, M.; Bugmann, H. Tree Species Richness Promotes Productivity in Temperate Forests through Strong Complementarity between Species: Species Richness Promotes Forest Productivity. *Ecol. Lett.* 2011, 14 (12), 1211–1219. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01691.x>.
- (67) Norden, B.; Rørstad, P. K.; Magner, J.; Götzmark, F.; Löf, M. The Economy of Selective Cutting in Recent Mixed Stands during Restoration of Temperate Deciduous Forest. *Scand. J. For. Res.* 2019, 34 (8), 709–717. <https://doi.org/10.1080/02827581.2019.1679876>.

