

# Unser Wald im Klimastress: Was können wir tun?

Bitte beachten!

Dieser Präsentation sind Copyright geschützte Bilder entnommen.  
Auf dem Youtube-Kanal der Odenwald-Akademie liegt der Vortrag  
als bebildertes Audio/Video zur Verfügung.

© Dr. Christian Storm  
Fachbereich Biologie  
TU Darmstadt

Odenwald-Akademie  
22.2.2024

# Übersicht

1. Unser Wald – Was ist das?
2. Stressfaktoren – Was gefährdet den Wald?
3. Waldmanagement – Was können wir tun?

# 1. Unser Wald - Was ist das?



Wald: Bäume sind prägend für die Struktur,  
aber Wald ist mehr als Summe seiner Bäume.

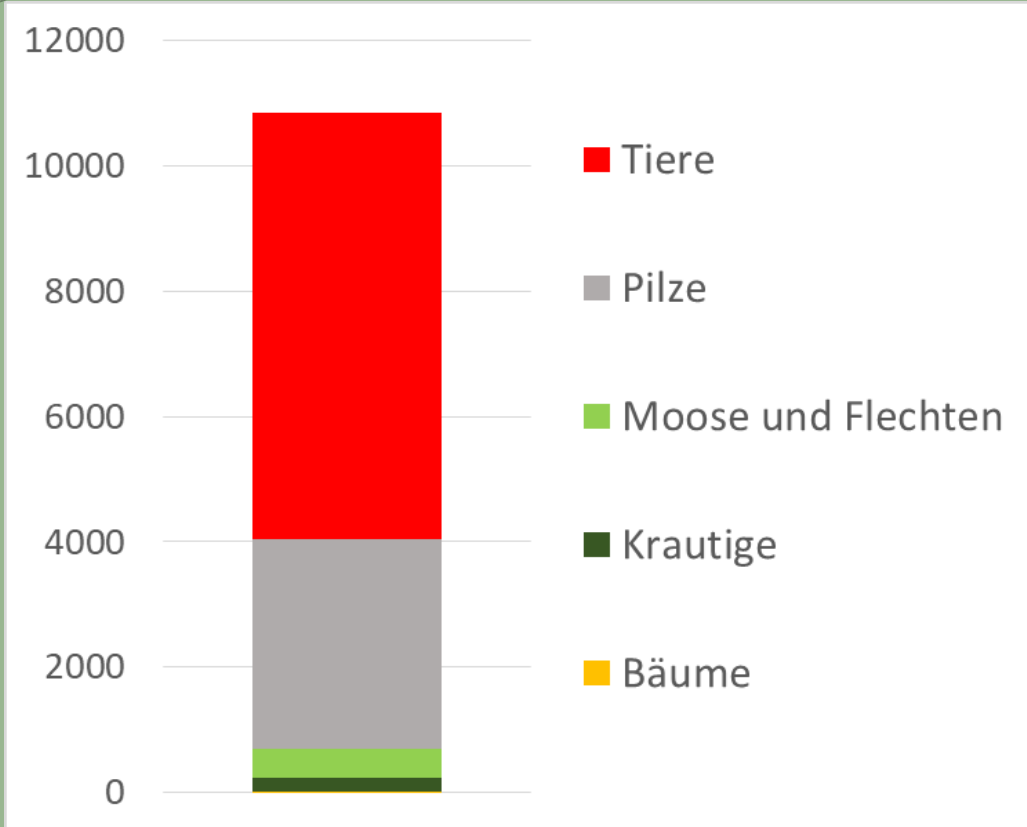
Bild: Stockwerksbau des Waldes

Bartsch & Röhrig (2016)

**Wälder sind Ökosysteme:** Beziehungsgefüge von **Lebewesen** miteinander (Biozönose) und mit ihrer **Umwelt** (Biotop).

# 1.1 Biologische Vielfalt im Wald

## Artenzahlen im mitteleuropäischen Buchenwald



(Bild: Bodenlebewesen)

+ Mikroorganismen

Ein großer Teil der Organismen lebt im Boden

Jeffery et al. (2010)

# Biodiversitätskrise auch im Wald

Forschungsergebnisse  
unter Beteiligung TU  
Darmstadt

(Bild: Rückgang der Insekten)

[https://www.reddit.com/r/BigAgro/comments/dpbkdm/arthropod\\_decline\\_in\\_grasslands\\_and\\_forests\\_is/](https://www.reddit.com/r/BigAgro/comments/dpbkdm/arthropod_decline_in_grasslands_and_forests_is/)

Der dramatische  
Insektenrückgang  
betrifft auch den  
deutschen Wald.

Entwicklung der Gamma-Diversität an Käfer- und Wanzenarten (Wald) bzw. Arthropodenarten (Grünland) über alle (jährlich) untersuchten Flächen der Biodiversitäts-Exploratorien (30 Waldflächen und 150 Grünlandflächen in den Regionen Hainich-Dün, Schorfheide-Chorin und Schwäbische Alb; verändert nach Seibold et al. 2019).

## 1.2 Ökosysteme als Beziehungsgefüge

(Bild: Ökosystem)

# Beispiel für Symbionten: Mycorrhiza (Pilz-Wurzel)

(Bilder)

WSL (2011)

Für Waldbäume sind diese Pilze unerlässlich zur Aufnahme von Nährstoffen und Wasser u. a.



(Bild: Gorzelak et al. 2020)

Bäume sind untereinander durch ein **Mycorrhiza-Netzwerk** verbunden. Bedeutung wird noch untersucht.

Birch et al. 2021,  
Figueiredo et al. 2021,  
Boyno & Demir 2022  
Tomao et al. 2020,  
Usman et al. 2021

Pilze sind für den Wald lebensnotwendig.  
Verlust an Pilzarten kann Bäume schwächen.

# 1.3 Funktion: Wasserhaushalt eines Laubwaldes

(Bild: Wasserhaushalt)

Bartsch & Röhrig (2016)

**Im Sommer: 81 %  
Verdunstung (ET)  
→ Luftfeuchtigkeit,  
Kühlung.**

**Im Winter: 77 %  
Versickerung (V)  
→ Auffüllen des  
Bodenspeichers (und  
Grundwasserbildung).**

## Eichenmischwald

N Freilandniederschlag,  
 $I_B$  Interzeption Baumschicht,  
 $I_K$  Interzeption Krautschicht,  
 $N_{Kr}$  Kronentraufe u. -durchlass,  
 $N_{St}$  Stammablauf,  
 $N_{Bo}$  Infiltration,  
ET ges. Evapotranspiration,  
 $E_{Bo}$  Evaporation Bodenoberfl.  
 $T_B$  Bestandstranspiration,  
V Versickerung  
 $\Delta W$  Wasservorrat gesamt,  
 $\Delta W_P$  Wasservorrat Phytomasse,  
 $\Delta W_{Bo}$  Wasservorrat Boden.

## 1.4 Funktion: Das Waldinnenklima

### Temperaturen

(Bild: Temperaturverlauf)

Otto (1994)

Der Wald schafft sich sein eigenes Mikroklima:  
**Waldinnenklima.**

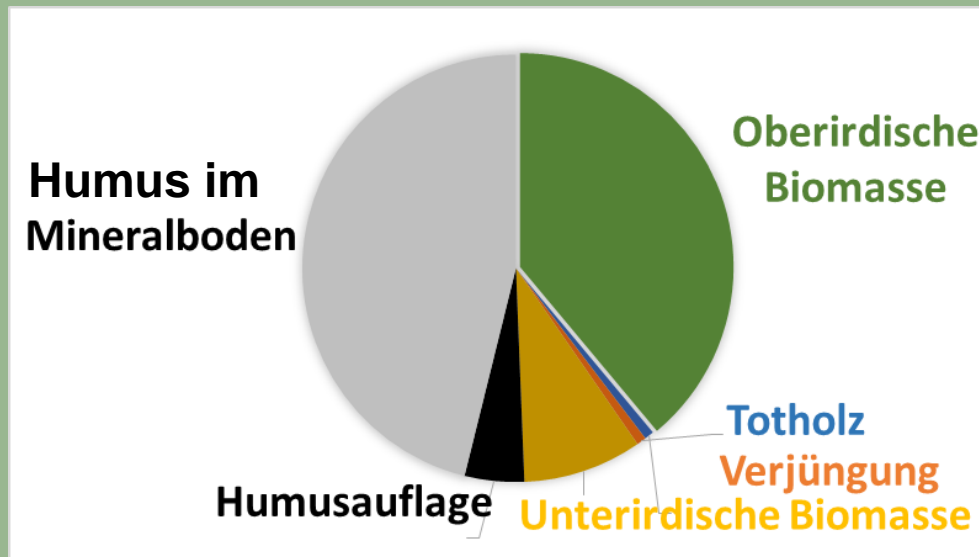
# Recycling

(Bild: Kreislauf)

Smith & Smith (2009)

## 1.6 Funktion: Humusbildung und Kohlenstoffbindung

### Wirtschaftswald



(Bild: Kohlenstoffspeicherung)

Luyssaert et al. (2008)

### Humus spielt zentrale Rolle in Waldökosystemen:

- speichert Wasser und Nährstoffe,
- bindet CO<sub>2</sub> (Kohlenstoff) langfristig (auch über Jahrhunderte).

## 1.7 Anpassungsfähigkeit

Waldökosysteme können sich veränderten Umweltbedingungen anpassen:

- Langfristig: **evolutiv** (genetische Veränderungen).
- Mittelfristig:
  - Viele Baumarten haben hohe genetische Variabilität (Thom et al. 2023) → **Auslese** angepasster Ökotypen.
  - **Epigenetik**: Weitergabe von Informationen an die nächste Generation außerhalb des Erbguts.
- Kurzfristig: **Modifikation**, z. B. Bildung tieferer Wurzeln.

# Fallbeispiel: Bedeutung von Ökotypen (Provenienzen)

(Bild: Tannen: lokale und südosteurop. Ökotypen)

Hussendörfer (2019)

Die lokalen Ökotypen sind meist am besten angepasst.

## Fazit

- Wald-Ökosysteme sind hochkomplexe Systeme.
- Sie bestehen aus vielen Lebewesen, die untereinander verwoben sind.
- Wälder prägen ihren eigenen Lebensraum (Waldinnenklima, Boden) und hängen von diesem ab.
- Naturnahe Wälder können sich bis zu einem gewissen Grad selbst regulieren und anpassen, sind daher stabil.
- Wir verstehen Wälder bisher nur in Ansätzen.

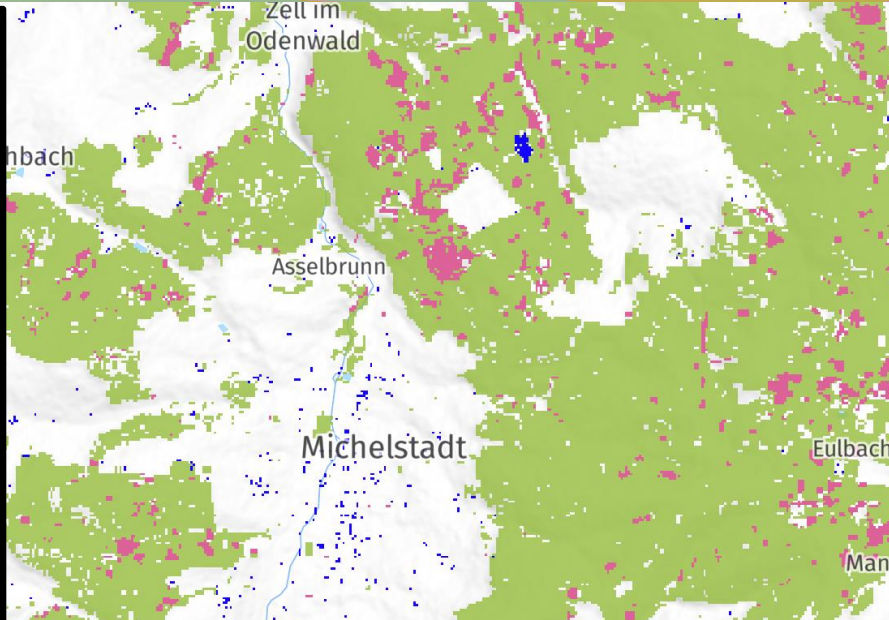


## 2. Stressfaktoren - Was gefährdet den Wald?



Geschädigte und abgestorbene Rotbuchen, Darmstadt

# Waldflächenverluste 2000 - 2022

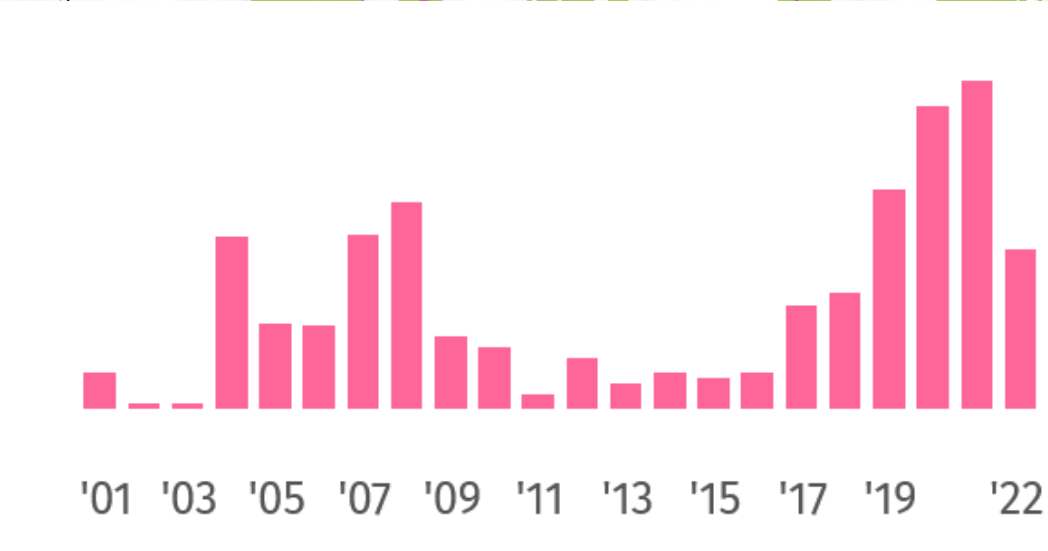


Tree cover gain - 2000-2020  
● Tree cover gain

Tree cover loss - 2001-2022  
● Tree cover loss  
Displaying Tree cover loss with > 10% canopy density

Tree cover - 2010  
● Tree cover  
Displaying Tree cover with > 75% canopy density

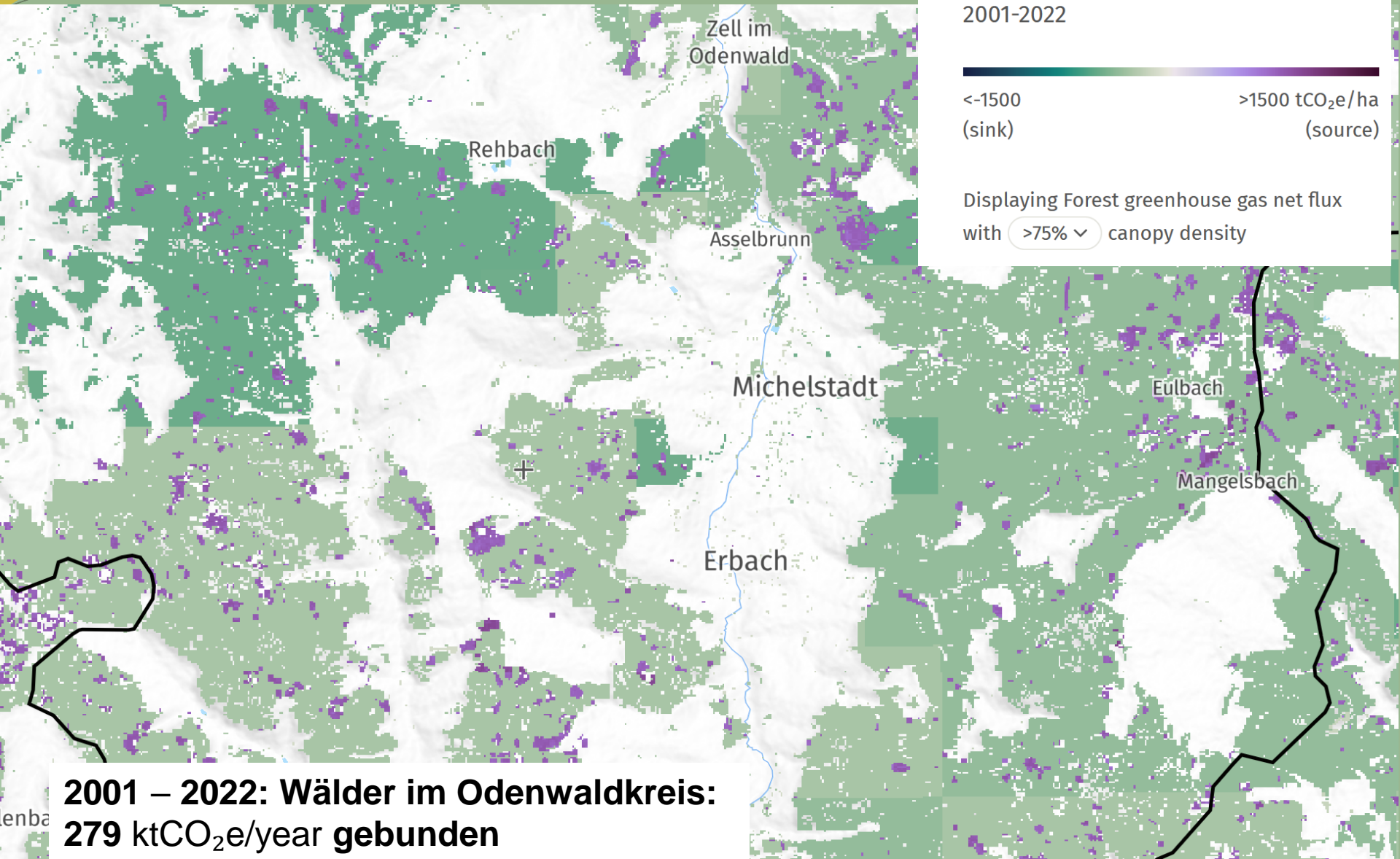
Tree cover loss is not always deforestation.



Odenwaldkreis: Verlust von 2.200 ha (5 %)

<https://www.globalforestwatch.org/>

# Beispiel: Flächen mit Waldverlusten werden zur Quelle für Treibhausgase



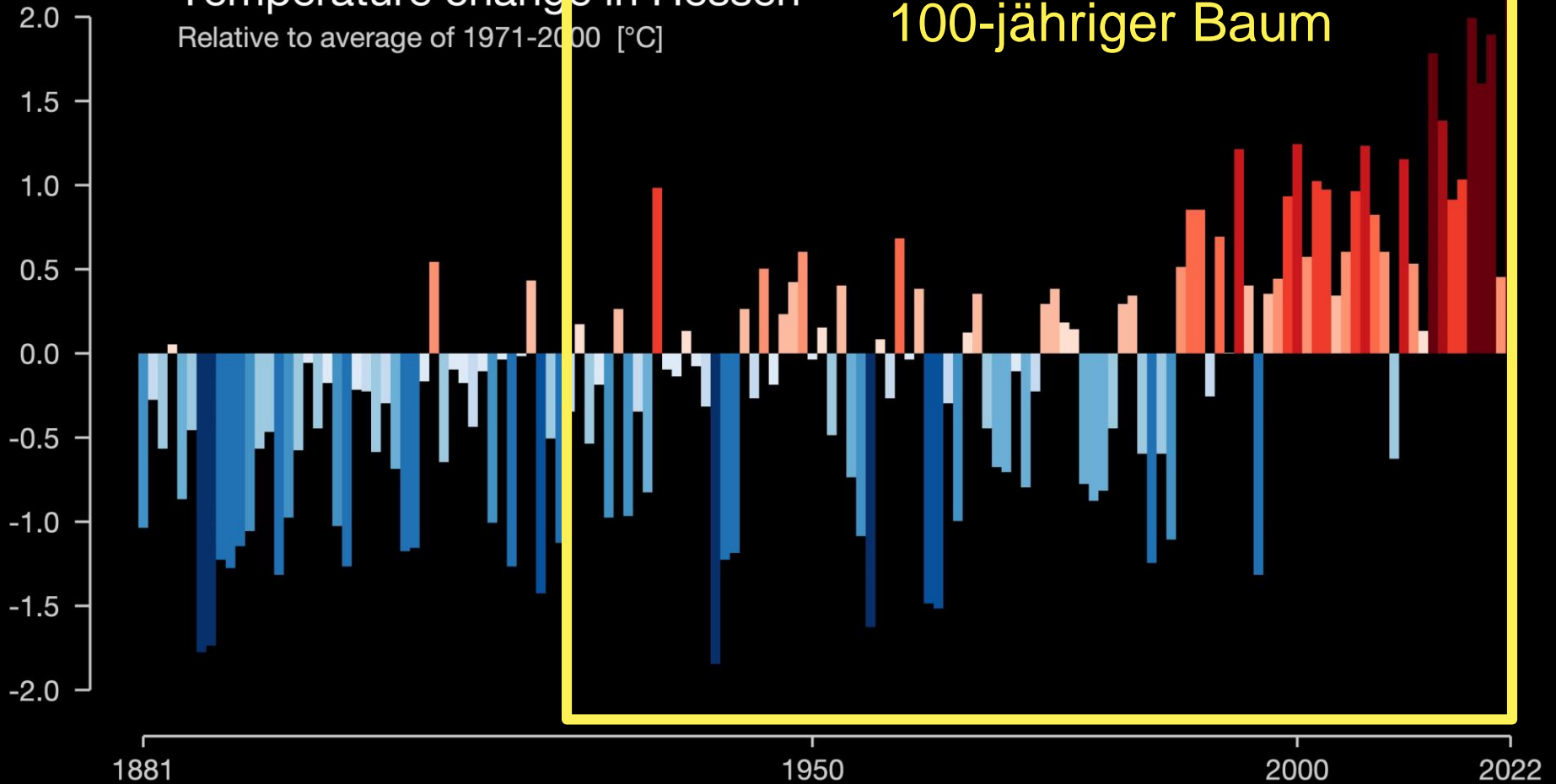
**2001 – 2022: Wälder im Odenwaldkreis:  
279 ktCO<sub>2</sub>e/year gebunden  
56 ktCO<sub>2</sub>e/year freigesetzt**

# Klimakrise

## Temperature change in Hessen

Relative to average of 1971-2000 [°C]

100-jähriger Baum



# Zukunftsaussichten

(Bild: Klimaprognosen)

**Waldschäden im Jahr 2019 –nur die ersten Vorboten des Klimawandels? Vortrag** Stefan Nowack, Leiter Abteilung Waldentwicklung und Umwelt, HessenForst. Frankfurt 25.11.2019

# Weitere äußere Stressfaktoren



Stressfaktoren verstärken sich gegenseitig in ihrer Wirkung.

# Fazit

- Waldökosysteme sind **schwerem Stress** ausgesetzt.
- Folgen: **Vitalitätsverluste, Kronenverlichtungen bis hin zum Absterben** von Bäumen. Regionen mit naturfernen Forsten sind großflächig betroffen.
- Bereits jetzt sind **Waldfunktionen reduziert**.
- **Bei anhaltendem/stärkerem Stress ist nicht gesichert,**
  - dass wir künftig noch überall genügend Wälder haben,
  - dass die verbliebenen Wälder die für uns (lebens)wichtigen (Schutz)funktionen erbringen können,
  - dass ein heute junger Baum alt wird.
- Alte Gewissheiten gelten nicht mehr.

# Wir stehen vor völlig neuen Herausforderungen

- Paradigmenwechsel:
  - Bisher: Der Wald tut viel für uns Menschen.
  - Jetzt: Was müssen wir tun, damit der Wald funktionsfähig bleibt?
- „Weiter so“ ist keine Option
  - Äußere Stressfaktoren müssen reduziert werden.
  - Waldfunktionen: Prioritäten setzen.
  - Oberste Priorität: Ökosystem funktions- und anpassungs-fähig halten.



### 3. Waldmanagement – Was können wir tun?



# Allgemeine Grundzüge des ökologischen Waldmanagements

1. **Ziel: Stärkung der Waldökosysteme:** Erhöhung der Widerstandskraft und Anpassungsfähigkeit.
2. **Schonung:** keine internen Stressfaktoren erzeugen.
3. **Ganzheitliche Betrachtung:** Wälder sind komplexe Ökosysteme.
4. **Respekt und Optimismus:** Wälder existieren seit 300 Millionen Jahren und verfügen über Selbstregulationsfähigkeiten.
5. **Primat der Naturnähe:** 4 gilt für naturnahe Wälder.
6. **Unterstützung** kann helfen, besonders bei naturfernen Wäldern.
7. **Vorsichts- und Vorsorgeprinzip:** Chancen und Risiken aller Maßnahmen abwägen. Vorschnelle, eindimensionale Aktionen sind risikobehaftet.
8. **Prinzip der Wissenschaftlichkeit:** umfassende Analyse, interdisziplinäre Impulse, Experimentieren, Lernen.

# 3.1 Biologische Vielfalt erhalten bzw. renaturieren



Jeffery et al. (2010)

Gorzalak et al. (2020)

- Wälder mit walddtypischer Biodiversität haben größte Stabilität (Übersicht in Rogers et al. 2022)
- Schlüsselemente:
  - Ausreichend **alte Bäume** (> 140 Jahre)
  - Ausreichend **Totholz** (Menge, Qualitäten)
  - Vorkommen aller **Waldentwicklungsphasen**
  - **Sonderstandorte** erhalten/renaturieren (Felsen, Moore, Auen...)
  - **Zurückdrängung waldduntypischer Arten** (besonders Neobiota), wo nötig und möglich
  - Mindestens **10 % Naturwaldanteil**
  - **Waldverbund.**

## 3.2 Wasserhaushalt erhalten bzw. renaturieren

- Erhöhung der **Wasserspeicherung**
  - Totholzanreicherung.
  - Humuserhaltung → Besonnung des Bodens und Erosion vermeiden.
- **Verhinderung von Wasserverlusten:**
  - Verbesserung des **Landschaftswasserhaushalts** (Wiedervernässung von Waldmooren, Rückbau von Entwässerungen).
  - **Vermeidung von Oberflächenabfluss** → keine Bodenverdichtung, Sicherung der Bodenrauigkeit z. B. durch Totholz.
  - **Verringerung der Interzeptionsverluste** → winterkahle Laubbäume statt immergrüner Nadelbäume.

# Fallbeispiel: Verminderung der Wasserversickerung durch Nadelbäume

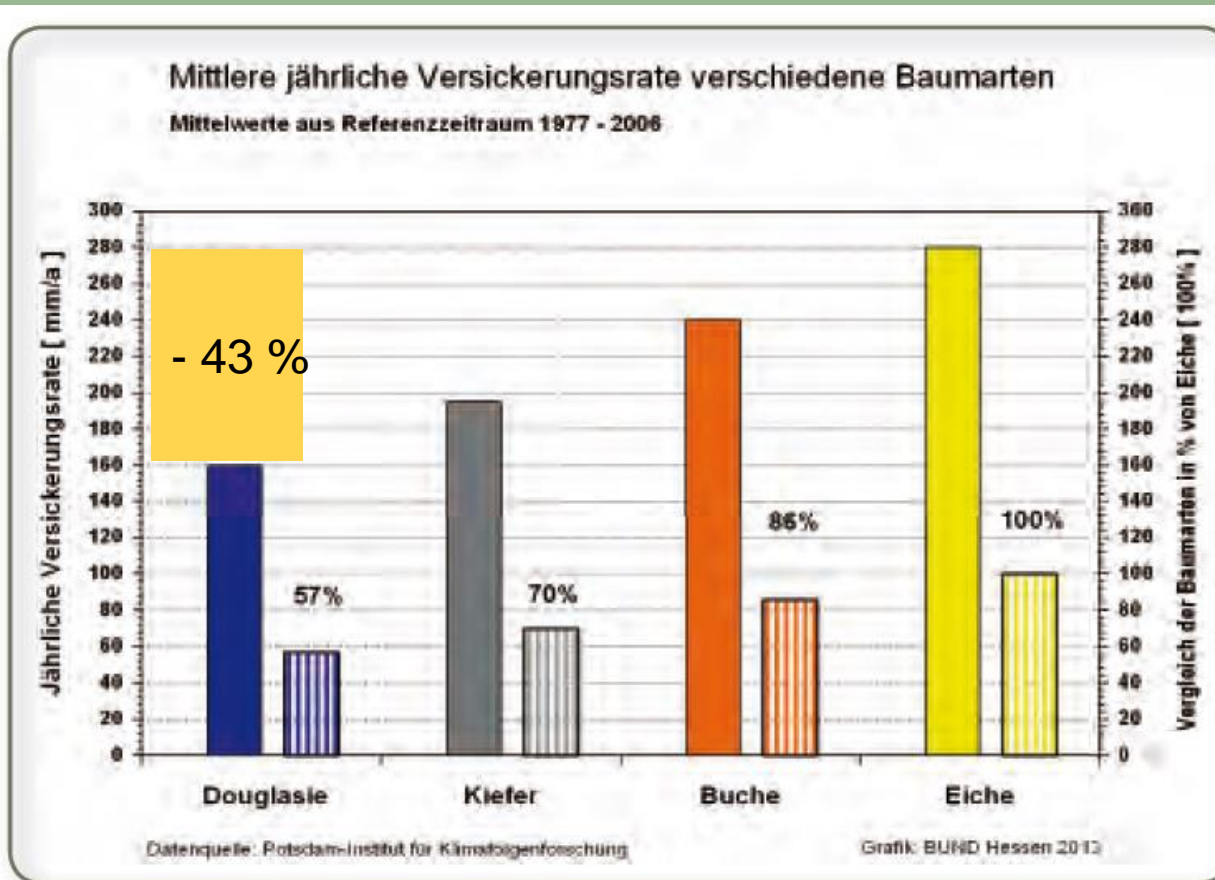


Abb. 34

Versickerungsraten des Niederschlags in den durchwurzelten Bodenbereich in Abhängigkeit von Baumarten

**Immergrüne Nadelbäume**  
→ höhere Interzeption von Regenwasser  
→ **Auffüllung der Wasserspeicher im Boden fehlt.**

## 3.3 Waldinnenklima erhalten bzw. renaturieren

Otto (1994)

- **Kronendach (weitgehend) geschlossen halten.**
- **Schadflächen: keine Räumung**, sondern Totholz, Sträucher und Pionierbaumarten belassen → Förderung der Regeneration (Marangon et al. 2022, Birch & Lutz 2023).
- **Waldränder** mit Sträuchern abdichten.
- **Wegenetz** auf Notwendigkeit prüfen und ggf. rückbauen.

Räumung von  
Schadflächen  
erzeugt  
Hitzeinseln.

(Bild)

Ibisch et al. (2021)

Oberflächen-  
temperaturen

## 3.4 Nährstoffkreislauf erhalten



Holzentnahme =  
Entzug von Ca, Mg, P

Smith & Smith (2009)

- Verminderung der Nährstoffentzüge, bes. auf basenarmen Standorten → „**Nährstoffnachhaltigkeit**“ beachten.
- Verhinderung von Nährstoffungleichgewichten und N-Überdüngung → Problematik der Nadelbäume.



# Fallbeispiel: Stickstoff-Eintrag

Nadelbäume  
verdoppeln  
die Stickstoff-  
Belastung.

## 3.5 Böden schützen

(Bild: Forstmaschinen)



Darmstädter Echo 22.11.17

(Bild: Wurzeldichten)

Kremers J. & M. Boosten (2018)

# Veränderung der Pilzpopulationen

grün: nehmen bei  
Verdichtung ab  
(v.a. Mycorrhiza)

rot: nehmen zu  
(v.a. Fäulnispilze)

(Bild: Pilze)

Frey (2015)

## 3.6 Anpassung unterstützen: Naturverjüngung

Waldökosysteme passen sich am besten durch Naturverjüngung an neue Umweltbedingungen an:

- lokal genetisch angepasste Ökotypen,
  - epigenetisch angepasst,
  - hohe genetische Vielfalt (Swanson et al. 2011),
  - Aufkommen in hohen Dichten (bis 100.000 Stk/ha)
- Ermöglichung der standortspezifischen Auslese.

Maßnahmen:

- Erhaltung von Samenbäumen in der Umgebung: die noch vitalen **Altbäume sind die Zukunftsversicherung.**
- Erhaltung der **genetischer Vielfalt.**
- Effektives **Wildtiermanagement zwingend notwendig** (notfalls aufwändiger Verbisschutz).

# Fallbeispiel: 178-fach größere Vielfalt in der Naturverjüngung

AB Altbestand  
NV Naturverjüngung  
KV Pflanzung.

(Bild genet. Vielfalt)

Vortrag E. Hussendörfer  
<https://media.video.taxi/embed/SwO4ByUC4Ucg>

## Kulturverjüngung hat weitere Nachteile:

- Pflanzware entwickelt kein natürliches Wurzelsystem → **dürreanfällig** (NW-FVA 2013, Mucha et al. 2018).
- **Auslese des Saatgutes** nach Holzproduktion statt Stresstoleranz,
- Pflanzware **schlecht angepasst** an lokale Pilzflora
- Mit Pflanzware können **Schädlinge** eingeschleppt werden.  
Samen von Waldbäumen sind z. B. nahezu ausnahmslos (96 %) mit Pilzsporen belastet, von denen einige phytopathogen sein können. Franić et al. (2019)
- Bei Pflanzung in dichten, großen Verbänden → strukturarmer **Altersklassenwald**, der wenig stresstolerant ist
- Pflanzflächen müssen oft vorbereitet werden (**Räumung**) → Schäden u.a. an der Pilzflora (Mayer, M.C. et al. 2022)

Budde et al. 2016, Seidling 2006, Janßen et al. 2008, Ennos 2015, Cavers & Cotrell 2014, Hussendörfer 2019, Thorn 2019

Pflanzung empfiehlt sich nur bei nachweislichem Ausfall der Naturverjüngung trotz Verbisschutz und nur in kleinen Trupps. Saat (z. B. Hähertische) oder Wildlinge besser als Pflanzware.

## 3.7 Entnahme von Bäumen

(Bild: Pflegeprinzip)

Nagel & Spellmann 2008

Klassische „Pflege“ zur Erzielung hoher Werterträge  
Freistellung der **Z-Bäume**.

# Neue Chancen der „Freistellung“ in der Klimakrise

- Weniger Bäume → weniger Konkurrenz um Wasser
- Weniger Interzeption → mehr Wasser gelangt auf den Boden  
→ Zuwachs steigt kurzfristig oft an.
- Außerdem: Förderung von erwünschten Arten.



## Naturwaldreservat

„Wald östlich von Oppershofen“ 2020  
240 m ü.NN, 140-160 Jahre, seit 32 Jahren nutzungsfrei,  
733 fm/ha

Harthun 2021

## Wirtschaftswald

363 fm/ha

Foto: NABU/H.-J. Herr, 7. Juli 2020



## 1. Beeinträchtigung des Waldinnenklimas

- Lichteinfall, Windzutritt → Temperatur steigt, Luftfeuchte sinkt → höhere **Verdunstung** (auch direkt vom Waldboden)
- Größere Krone → **erhöhter Wasserbedarf**,
- **Förderung der Bodenvegetation** → Konkurrenz für Bäume,
- speziell bei Rotbuche (Schattbaumart): **Gefahr von Rindenschäden, Sekundärinfektionen** (Brück-Dyckhoff 2017, NW-FVA 2019)
- In der Summe: **keine erhöhte Überlebensrate von Buchen** (Mayer et al. 2022).
- Kronendachöffnung kann **Pilz-Dichte und -Diversität** schädigen (Tomao et al. 2020)
- **Windwurfanfälligkeit** kann steigen (Georgi et al. 2018).

## 2. Genetische Problematik

Entnahme von Bäumen **vermindert genetische Vielfalt** und kann gerade **stressintolerante Ökotypen fördern**.

D'Amato et al. (2013), Mausolf et al. (2018), Bosela et al. (2021), Scharnweber et al. (2019), Ringgaard et al. (2012), Fichtner et al. (2015), Pommerening et al. (2018), Castagneri et al. (2021), Moreau et al. (2022), Faison et al. (2023), Fririon et al. 2023.

# Fallbeispiel



Foto: NABU/H.-J. Herr, 10. September 2020

Harthun (2021)

Hinten: Naturwald mit geschlossenem Kronendach  
Vorn: Wirtschaftswald mit Freistellung und toten Buchen

## 3.9 Einbringung von Baumarten

### A. Nicht-heimische Arten: „Assistierte Migration“

(Bild: Klimamodellierung für Baumarten)

Mette, T. (2020)

# Fallbeispiel: South Hesse Oak Project

Seit 10 Jahren laufende, umfassende Untersuchungen.

Bewertung von Eichen nach

- Tauglichkeit im Klimawandel
- Kosten-Nutzen-Relation
- Risiken z. B. Invasivität
- Sekundärrisiken z. B. Pathogene

Eine Fallstudie zur unterstützten Migration  
South Hesse Oak Project (SHOP)

**Begleitflora & Fauna**  
Senckenberg Frankfurt

**Frankfurt: Versuchspflanzung**

**Physiologie und Molekularbiologie**  
Goethe-Univ. Frankfurt  
U Firenze, I  
AIT Tulln, A  
INRA Nancy, F,  
DUTH, GR

**Forstwissenschaften**  
Nordwestdeutsche Forstliche  
Versuchsanstalt

**Rüsselsheim, Frankfurt: gelichteter  
Kiefernwald**

**Soziale Ökologie**  
Institut für sozial-ökologische  
Forschung

**Lampertheim: Trockengestresster  
Eichenwald**

**Bodenbiologie**  
Senckenberg Görlitz  
ECT-Ökotoxikologie GmbH

**Ecophysiology  
Frankfurt**  
25.11.2019

**HESSEN  
HESSEN-FORST**

**Grundwasser**  
Hessisches Landesamt für Umwelt  
und Geologie  
Hessenwasser GmbH

**SPADT FRANKFURT AM MAIN**

**ILUAG hessenwasser**

**Favorit:**

Flaum-Eiche (*Qu. pubescens*)

Als einzige in D heimisch.

# Chancen der Einbringung nicht-heimischer Arten: geringer als oft angenommen:

- Viele werde gar nicht mind. 80 Jahre alt (Huber et al. 2014).
- eine „*klimaresistente*“ Art müsste sowohl mit dem heutigen wie dem Klima in 80 Jahren zurechtkommen
- Künftiges Klima kann nicht genau vorausgesagt werden.
- Vernachlässigung der Böden und weiterer Biotopfaktoren.
- Nicht-heimische Arten sind nicht über Jahrtausende an unsere Ökosysteme angepasst → fehlende Beziehungen zu Symbionten wie Pilzen (Argüelles-Moyaoa & Galicia 2023), mögliche Schädlinge haben keinen Gegenspieler (Klein 2000)
- Wirkungen epigenetischer Effekte kaum einschätzbar.
- Untersuchungsergebnisse:
  - vielfach sind andere Arten aus der temperaten Klimazone nicht „*klimaresistenter*“ (z. B. Rot-Eiche, Tulpenbaum; Hauck 2023)
  - oft sind (sub)mediterrane Arten nicht ausreichend (spät)forsttolerant oder nicht an unser Lichtklima angepasst.

Zwischenfazit: „*Klimaresistente*“ Baumarten gibt es nicht.

Neuer Ansatz: ***Risikostreuung***:

4 - 5 Baumarten pflanzen, eine wird schon überleben.

# Risiken der Einbringung nicht-heimischer Baumarten

1. Nicht-heimische Arten können **Biotopeigenschaften verändern**, z. B. das Lichtklima, der Wasserhaushalt oder die Bodeneigenschaften (Aerts et al. 2017)  
→ mögliche Destabilisierungen.
2. **Einschleppung von Pathogenen/Parasiten** mit dem Saat-/Pflanzgut. Diese gefährden dann nicht nur die angepflanzte Art, sondern können auch auf heimische Arten übergreifen.
3. **Negativer Einfluss** auf heimische Arten. So vermindert die Beimischung von Douglasien die Stresstoleranz von Buchen (Rukh et al. 2023).
4. **Invasivität**: Verdrängung anderer Baumarten.  
Durch den Klimawandel besteht die Gefahr, dass auch bereits eingebrachte und bisher relativ unproblematische Arten doch noch invasiv werden.

## Fazit

- Statt der beabsichtigten *Risikostreuung* kann eine **Risikomultiplikation** die Konsequenz sein.
- Eine Baumarten-fokussierte Sichtweise wird dem Ökosystemcharakter des Waldes nicht gerecht.
- Nach dem Vorsichtsprinzip sollten Chancen und Risiken sehr sorgfältig abgewogen werden.

**B. Einbringung heimischer Baumarten, die natürlicherweise am Standort vorkämen, aber derzeit fehlen und sich nicht durch Naturverjüngung von allein ansiedeln.**

Diese haben oft größere Chancen und geringe Risiken  
→ Behebung von solchen Defiziten ist sinnvoll.

Einige heimische, relativ trockenheitstolerante Arten:

- Trauben-, Stiel-Eiche, Flaum-Eiche (in He nicht heimisch)
- Hainbuche
- Feld-Ahorn, Spitz-Ahorn
- Elsbeere
- Vogel-Kirsche
- Gewöhnliche Esche
- Winter-Linde
- Wildobst (Wild-Apfel, -Birne, Speierling).



Natürliche Dynamik

Waldinnenklima

Biologische Vielfalt

Genetische Vielfalt

## Komponenten des ökologischen Waldmanagements

Behebung von  
Baumartendefiziten

Unterstützung

Naturverjüngung

Humus- und  
Bodenschutz

Nährstoffkreislauf

Wasserhaushalt

**Fazit:** Wir können einiges tun (und sollten manches unterlassen), um unsere Wälder leistungs- und anpassungsfähig zu halten.

# Literaturangaben

- Aerts R, Ewald M, Nicolas M, Piat J, Skowronek S, Lenoir J, Hattab T, Garzón-López CX, Feilhauer H, Schmidtlein S, Rocchini D, Decocq G, Somers B, Van De Kerchove R, Deneff K and Honnay O (2017) Invasion by the Alien Tree *Prunus serotina* Alters Ecosystem Functions in a Temperate Deciduous Forest. *Front. Plant Sci.* 8:179. doi: 10.3389/fpls.2017.00179
- Argüelles-Moyao, A. & L. Galicia (2023): Assisted migration and plant invasion: importance of belowground ecology in conifer forest tree ecosystems *Canadian Journal of Forest Research*, DOI: 10.1139/cjfr-2023-0016
- Allman, M., Jankovský, M., Messingerová, V., Allmanová, Z., Ferenčík, M. (2015). Soil compaction of various Central European forest soils caused by traffic of forestry machines with various chassis. *Forest Systems*, Volume 24, <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2015243-07541>.
- Alt, F. et al. (2019): Experten, Waldbesitzer und Verbändevertreter fordern Abkehr von Aufforstung und Holzfabriken. *Offener Brief an Julia Klöckner*. [https://www.grueneliga.de/images/brief\\_kloeckner\\_waldkrise.pdf](https://www.grueneliga.de/images/brief_kloeckner_waldkrise.pdf) Zugriff 13.10.19
- Avon, C., Yann Dumas, Laurent Bergès (2013): Management practices increase the impact of roads on plant communities in forests. *Biological Conservation* 159: 24–31
- Bartsch, N. & E. Röhrig (2016): *Waldökologie. Einführung für Mitteleuropa*. Springer Spektrum.
- Beiler, K.J., Suzanne W. Simard & Daniel M. Durall (2015): Topology of tree–mycorrhizal fungus interaction networks in xeric and mesic Douglas-fir forests. *Journal of Ecology* 103, 616–628 doi: 10.1111/1365-2745.12387
- Berendt, Ferrel; Fortin, Mathieu; Jaeger, Dirk; & J. Schweier (2018): How Climate Change Will Affect Forest Composition and Forest Operations in Baden-Württemberg-A GIS-Based Case Study Approach. *Forests* 2017, 8, 298; doi:10.3390/f8080298
- BfN (Bundesamt für Naturschutz, Hrsg.) (2015): Fachinformation des BfN zur „Naturschutz-Offensive 2020“ des Bundesumweltministeriums. [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Naturschutz/naturschutz-offensive\\_2020\\_fachinformation.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/naturschutz-offensive_2020_fachinformation.pdf). Zugriff 28.9.19
- BfN (Bundesamt für Naturschutz, Hrsg.) (2019): *Wälder im Klimawandel: Steigerung von Anpassungsfähigkeit und Resilienz durch mehr Vielfalt und Heterogenität*. Ein Positionspapier des BfN.
- Bingham, M.A., Simard, S. Ectomycorrhizal Networks of *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca* Trees Facilitate Establishment of Conspecific Seedlings Under Drought. *Ecosystems* 15, 188–199 (2012). <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9502-2>
- Birch, JD & JA Lutz (2023): Spatial patterns of seedlings dominated by proximity to deadwood and adult trees for *Pinus flexilis* and *Pinus longaeva*. *Forest Ecology and Management* 540, 15 July 2023, 121049
- Birch JD, Simard SW, Beiler KJ, Karst J. (2021): Beyond seedlings: Ectomycorrhizal fungal networks and growth of mature *Pseudotsuga menziesii*. *J. Ecol.* 2021;109: 806–818. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13507>
- Boeraeve, M., O. Honnay & H. Jacquemyn (2019): Forest edge effects on the mycorrhizal communities of the dual-mycorrhizal tree species *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. *Science of The Total Environment* 666: 703-712
- Boyno, G., Demir, S. Plant-mycorrhiza communication and mycorrhizae in inter-plant communication. *Symbiosis* 86, 155–168 (2022). <https://doi.org/10.1007/s13199-022-00837-0>
- Bose, A. K.; et al. (2020): Memory of environmental conditions across generations affects the acclimation potential of scots pine, *Plant Cell Environ.* 2020, S. 1–12.
- BMU (2019): *Leitlinien für die Wiederbewaldung in Deutschland* <https://www.bmu.de/download/leitlinien-fuer-die-wiederbewaldung-in-deutschland/> Zugriff 21.9.19
- Bosela, M. et al. (2021): Thinning decreases above-ground biomass increment in central European beech forests but does not change individual tree resistance to climate events. – *Agr. Forst Manage.* 306: 108441

- Brundu G & DM Richardson (2016) Planted forests and invasive alien trees in Europe: A Code for managing existing and future plantings to mitigate the risk of negative impacts from invasions. In: Daehler CC, van Kleunen M, Pyšek P, Richardson DM (Eds) Proceedings of 13th International EMAPi conference, Waikoloa, Hawaii. *NeoBiota* 30: 5–47. doi: 10.3897/neobiota.30.7015
- Brück-Dyckhoff, C.E.M. (2017): Zur Beteiligung des Buchenprachtkäfers (*Agilus viridis* L.) an Vitalitätsverlusten älterer Rotbuchen (*Fagus sylvatica* L.). Diss. TU München. <https://mediatum.ub.tum.de/?id=1328476>
- Budde, K.B. & Lene Rostgaard Nielsen & Hans Peter Ravn & Erik Dahl Kjær (2016): The Natural Evolutionary Potential of Tree Populations to Cope with Newly Introduced Pests and Pathogens—Lessons learned From Forest Health Catastrophes in Recent Decades. *Curr Forestry Rep* (2016) 2:18–29
- BUND Hessen (2014): Chancen und Risiken der Waldentwicklung im Hessischen Ried.
- Burgess, S. S.; Adams, M. A.; Turner, N. C.; Ong, C. K. (1998): The redistribution of soil water by tree root systems. *Oecologia* 115: 306–311.
- Castagneri et al. (2021): Meta-analysis Reveals Different Competition Effects on Tree Growth Resistance and Resilience to Drought. *Ecosystems* <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00638-4>
- Cavers S. & J.E. Cottrell (2015): The basis of resilience in forest tree species and its use in adaptive forest management in Britain. Special issue: Evolution, ecology and tree health. *Forestry*, 88: 13-26.
- D'Amato, A.W., J.B. Bradford, S. Fraver & B.J. Palik (2013): Effects of thinning on drought vulnerability and climate response in north temperate forest ecosystems. *Ecol. Appl.* 23: 1735-42.
- Davis, K.T., Solomon Z. Dobrowski, Zachary A. Holden, Philip E. Higuera and John T. Abatzoglou (2019). Microclimatic buffering in forests of the future: the role of local water balance. *Ecography* 42: 1–11
- De Frenne, P., Francisco Rodríguez-Sánchez, David Anthony Coomes, Lander Baetena., Gorik Verstraeten, Mark Vellend, Markus Bernhardt-Römermann, Carissa D. Brown, Jörg Brunet, Johnny Cornelis, Guillaume M. Decocq, Hartmut Dierschke, Ove Eriksson, Frank S. Gilliam, Radim Hédli, Thilo Heinken, Martin Hermy, Patrick Hommel, Michael A. Jenkins, Daniel L. Kelly, Keith J. Kirby, Fraser J. G. Mitchell, Tobias Naaf, Miles Newman, George Peterken, Petr Petrik, Jan Schultz, Grégory Sonnier, Hans Van Calster, Donald M. Waller, Gian-Reto Walther, Peter S. White, Kerry D. Woods, Monika Wulf, Bente Jessen Graaen, and Kris Verheyen (2013): Microclimate moderates plant responses to macroclimate warming. [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1311190110](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1311190110) *PNAS* 110: 18561–18565
- Dyderski, M.K., S. Paz, L.E. Frelich & A.M. Jagodzinski (2018): How much does climate change threaten European forest tree species distributions? *Glob Change Biol.* 24:1150–1163. DOI: 10.1111/gcb.13925
- Dziedek C, Härdtle W, von Oheimb G and Fichtner A (2016) Nitrogen Addition Enhances Drought Sensitivity of Young Deciduous Tree Species. *Front. Plant Sci.* 7:1100. doi: 10.3389/fpls.2016.01100
- Ennos, R.A. (2015): Resilience of forests to pathogens: an evolutionary ecology perspective. *Forestry* 2015; 88, 41–52, doi:10.1093/forestry/cpu048
- Ennos, R., J. Cottrell, J. Hall & D. O'Brien (2019): Is the introduction of novel exotic forest tree species a rational response to rapid environmental change? – A British perspective. *Forest Ecology and Management* 432: 718-728. doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.018
- Faison, Edward & Masino, Susan & Moomaw, William. (2023). The importance of natural forest stewardship in adaptation planning in the United States. *Conservation Science and Practice*. 5. 10.1111/csp2.12935.
- Fichtner, A, K. Sturm, C. Rickert, W. Härdtle and J. Schrautzer (2012): Competition response of European beech *Fagus sylvatica* L. varies with tree size and abiotic stress: minimizing anthropogenic disturbances in forests. *Journal of Applied Ecology* 2012, 49, 1306–1315
- Fichtner, A., D. I. Forrester, W. Härdtle, K. Sturm & G. von Oheimb (2015): Facilitative-Competitive Interactions in an Old-Growth Forest: The Importance of Large-Diameter Trees as Benefactors and Stimulators for Forest Community Assembly. *PLoS One* 10(3): e0120335. doi: 10.1371/journal.pone.0120335
- Figueiredo AF, Boy J & Guggenberger G (2021): Common Mycorrhizae Network: A Review of the Theories and Mechanisms Behind Underground Interactions. *Front. Fungal Biol.* 2:735299. doi: 10.3389/ffunb.2021.735299
- Franić et al. (2019): Are traded forest tree seeds a potential source of nonnative pests? *Ecol. Appl.* First published: 13 July 2019. <https://doi.org/10.1002/eap.1971>

- Frey, B. (2015): Schutz der Boden-Biodiversität – Auswirkungen des Einsatzes von Holzerntemaschinen auf das Bodenmikrobiom. Beiträge Forum Boden – Gewässer – Altlasten, Heft 15 (2015): Bodenschutz im Wald. Herausgeber: Fakultät Agrarwissenschaften & Landschaftsarchitektur, Hochschule Osnabrück
- Fririon, V.; Davi, H.; Oddou-Muratorio, S.; Lebourgeois, F.; Lefèvre, F. Within and between population phenotypic variation in growth vigor and sensitivity to drought stress in five temperate tree species. *For. Ecol. Manag.* 2023, 531, 120754
- Georgi, L. M. Kunz, A. Fichtner, W. Härdtle, K.F. Reich, K. Sturm, T. Welle & G.von Oheimb (2018): Long-Term Abandonment of Forest Management Has a Strong Impact on Tree Morphology and Wood Volume Allocation Pattern of European Beech (*Fagus sylvatica* L.). *Forests* 9, 704; <https://doi.org/10.3390/f9110704>
- Gorzela MA, Asay AK, Pickles BJ, Simard SW. 2015. Inter-plant communication through mycorrhizal networks mediates complex adaptive behaviour in plant communities. *AoB PLANTS* 7: plv050; doi:10.1093/aobpla/plv050
- Gorzela, MA, BH Ellert & L. Tedersoos (2020): Mycorrhizas transfer carbon in a mature mixed forest. - *Molecular Ecology* 29: 2315–2317.
- Grüll, M. (2011): Den Waldboden schonen – Vorsorgender Bodenschutz beim Einsatz von Holzerntetechnik. In: Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft (MIL) des Landes Brandenburg Landesbetrieb Forst Brandenburg, Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (Hrsg.). Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 47: 44.
- Grundmann, V. (2012): Facetten des Waldes. Der hessische Wald in Zahlen, Grafiken und Text Vergleich 1994 und 2009. FENA-Skripte 2, Hrsg. Hessen-Forst.
- Harthun, M (2021): Bedeutung und Funktionalität hessischer Naturwälder im Klimawandel. – Vortrag Hess. Landesnaturschutztagung 16.11.2021. <https://www.hlnug.de/themen/naturschutz/veranstaltungen-und-ausstellungen/landesnaturschutztagung>. Aufgerufen 28.11.21
- HessenForst (2017): Waldbauliche Anpassung an den Klimawandel. [https://www.hessen-forst.de/wp-content/uploads/2021/01/V\\_KLIMWALD\\_Grundlagen\\_Waldbauliche\\_Anpassung.pdf](https://www.hessen-forst.de/wp-content/uploads/2021/01/V_KLIMWALD_Grundlagen_Waldbauliche_Anpassung.pdf) Aufruf 1.12.21
- Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.) (1999): Gefährdung der Wälder im Rhein-Main-Gebiet. Mitteilungen der Hessischen Landesforstverwaltung 35.
- Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.) (2019): Waldzustandsbericht 2019.
- Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.) (2021): Waldzustandsbericht 2021
- Hilmers, T., N Friess, C Bässler, M Heurich, R. Brandl, H Pretzsch, R Seidl & J Müller (2018): Biodiversity along temperate forest succession. – *J Appl Ecol.* 2018;00: 1–11. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13238>
- Hofmeister, J, Hosek, J, Brabec, M, Stralkova, R, Mylova, P, Bouda, M, Pettit JL, Rydval, M & Svoboda, M (2019): Microclimate edge effect in small fragments of temperate forests in the context of climate change. *Forest Ecology And Management* 448: 48-56. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.05.069
- Hussendörfer, E. (2019): Anbaurisiken und Empfehlungen für heimische und eingeführte Arten aus Sicht der ökologischen Genetik. Vortrag Fachsymposium „Baumarten im Hessischen Wald der Zukunft“ am 05. Dezember 2019 im Forstlichen Bildungszentrum Weilburg des Landesbetriebs Hessen-Forst. [https://umwelt.hessen.de/sites/default/files/media/hmuelv/4\\_vortrag\\_hussendoerfer.pdf](https://umwelt.hessen.de/sites/default/files/media/hmuelv/4_vortrag_hussendoerfer.pdf). Zugriff 26.2.20
- Ibisch, P, Peter R. Hobson & Catherine Norris (2013): Wie viel Biomasse braucht das Waldklima? Bedeutung der thermodynamischen Effizienz für die Klimaanpassungsfähigkeit von Waldökosystemen. Vortrag Berlin, 14.11.2013
- Ibisch, PL, C Gohr, D Mann & JS Blumröder (2021): Der Wald in Deutschland auf dem Weg in die Heißezeit - Vitalität und Schädigung in den Extremsommern 2018-2020. Centre for Ecnics and Ecosystem Management an der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde für Greenpeace. Eberswalde.
- Janßen, A., Karl Gebhardt und Wilfried Steiner (2008): Genetische Vielfalt nordwestdeutscher Buchenwälder. Beiträge aus der NW-FVA, Band 3, 2008

- Klein, H. (2000): Probleme beim Anbau standortsfremder Gehölze im Wald. [http://www.waldsterben-online.de/w-bau/exotenanbau\\_lang.pdf](http://www.waldsterben-online.de/w-bau/exotenanbau_lang.pdf). Zugriff 9.10.19
- Kremers J. & M. Boosten (2018): Soil compaction and deformation in forest exploitation. A literature review on causes and effects and guidelines on avoiding compaction and deformation. Stichting Probos, Wageningen.  
[https://www.starobv.nl/uploads/Rap2018\\_soil\\_compaction\\_and\\_deformation\\_in\\_forest\\_exploitation.pdf](https://www.starobv.nl/uploads/Rap2018_soil_compaction_and_deformation_in_forest_exploitation.pdf). Zugriff 13.10.19
- Leibl, F. (2019): Eine Chance für die Geburt neuer Wälder. <https://www.riffreporter.de/flugbegleiter-koralle/waldgipfel-nationalpark-borkenkaefer/> Zugriff 13.10.19
- Lindenmayer, D.B., William F. Laurance, Jerry F. Franklin, Gene E. Likens, Sam C. Banks, Wade Blanchard, Philip Gibbons, Karen Ikin, David Blair, Lachlan McBurney, Adrian D. Manning, & John A.R. Stein (2014): New Policies for Old Trees: Averting a Global Crisis in a Keystone Ecological Structure. *Conservation Letters*, January/February 2014, 61–69
- Marangon, D., N.O. Marchi, E. Lingua (2022): Windthrown elements: a key point improving microsite amelioration and browsing protection to transplanted seedlings. *For. Ecol. Manage.*, 508, [10.1016/j.foreco.2022.120050](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120050)
- Martin P, Newton AC, Cantarello E, Evans PM (2017) Analysis of ecological thresholds in a temperate forest undergoing dieback. *PLoS ONE* 12(12): e0189578. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189578>
- Mausolf, K., P. Wilma, W. Härdtle, K. Jansen, B. Schuldt, K. Sturm, G. Von Oheimb, D. Hertel, C. Leuschner & A. Fichtner (2018): Higher drought sensitivity of radial growth of European beech in managed than in unmanaged forests. *Science of The Total Environment* 642: 11201-1208.
- Mayer, M.C. Rosinger, M. Gorfer, H. Berger, E. Deltedesco, C. Bässler, J. Müller, L. Seifert, B. Rewald, D.L. Godbold (2022): Surviving trees and deadwood moderate changes in soil fungal communities and associated functioning after natural forest disturbance and salvage logging. *Soil Biol. Biochem.*, 166 (2022), Article 108558
- Mayer, P. et al. (2022): Management alters drought-induced mortality patterns in European beech (*Fagus sylvatica* L.) forests. – *Plant Biology*.
- Meesenburg, H., Uwe Klinck, Birte Scheler und Bernd Ahrends (2015): Schutz vor luftgetragenen Bodenbelastungen. *Beiträge Forum Boden – Gewässer – Altlasten*, Heft 15
- Mercier, Paula; Aas, Gregor; Dengler, Juergen (2019): Effects of skid trails on understory vegetation in forests: A case study from Northern Bavaria (Germany): *Forest Ecology And Management* 453: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117579>
- Mette, T. (2020): Vortrag beim Bingener Waldsymposium „Das neue Gleichgewicht im Wald“
- Moreau, G., Catherine Chagnon, Alexis Achim, John Caspersen, Loïc D’Orangeville, Martina Sánchez-Pinillos, Nelson Thiffault, (2022): Opportunities and limitations of thinning to increase resistance and resilience of trees and forests to global change, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, Volume 95, Issue 5, December 2022, Pages 595–615, <https://doi.org/10.1093/forestry/cpac010>
- Mucha, J. & Andrzej M. Jagodziński & Bartosz Bułaj & Piotr Łakomy & Adrian M. Talaśka & Jacek Oleksyn & Marcin Zadworny (2018): Functional response of *Quercus robur* L. to taproot pruning: a 5-year case study. *Annals of Forest Science* (2018) 75: 22
- Nagel, R-V. & H. Spellmann (2008): Wachstum, Behandlung und Ertrag von Reinbeständen der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) in Nordwestdeutschland. *Beiträge aus der NW-FVA*, Band 3
- Naturwaldakademie (2019): Beitrag zum Fachgespräch „Wald im Klimawandel“ - Wissenschaftliche Fakten und Lösungen. <https://naturwald-akademie.org/forschung/positionen/beitrag-zum-bmel-fachgespraech-wald-im-klimawandel/> Zugriff 22.9.19
- Nill, M., U. Kohnle & U.-H. Sauter (2014): Nehmen die Schäden eher ab oder zu? *AFZ-DerWald* 24/2014, S. 15-16.  
[https://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/fva\\_rindenschaeden\\_prozente/index\\_DE](https://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/fva_rindenschaeden_prozente/index_DE). Zugriff 11.10.19
- Norris, C., Peter Hobson and Pierre L. Ibisch (2012): Microclimate and vegetation function as indicators of forest thermodynamic efficiency. *Journal of Applied Ecology* 2012, 49, 562–570 doi: 10.1111/j.1365-2664.2011.02084.x
- NW-FVA (2013): Waldentwicklungsszenarien für das Hessische Ried. Entscheidungsunterstützung vor dem Hintergrund sich beschleunigt ändernder Wasserhaushalts- und Klimabedingungen und den Anforderungen aus dem europäischen Schutzgebietssystem Natura 2000. *Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt Band 10* .

- NW-FVA (2019): Komplexe Schäden an Rotbuche (*Fagus sylvatica*) und Auswirkungen des trockenen und heißen Sommers 2018 auf ältere Bestände. Waldschutzinfo Nr. 06 / 2019
- O'Donnell, L; Pickles, BJ; (...); Gorzelak, MA (2020): Native tree and shrub canopy facilitates oak seedling regeneration in semiarid woodland. *Ecosphere* 11, Article e03017. <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ecs2.3017>
- Ökologischer Jagdverband Deutschland (2019): Wald im Klimawandel: Zielführende Jagd ist unerlässlich. Pressemitteilung 12. September 2019. [https://www.oejv.org/app/download/5821656334/waldimklimawandel\\_9\\_19.pdf](https://www.oejv.org/app/download/5821656334/waldimklimawandel_9_19.pdf). Zugriff 25.9.19
- Otto, H.-J. (1994): Waldökologie. Ulmer
- Paar, U., J. Evers, I. Dammann, N. König, A. Schulze, M. Schmidt, E. Schönfelder, B. Scheler, T. Ullrich, J. Eichhorn (2016): Waldbodenzustandsbericht für Hessen. Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt 15.
- Panek, N. (2018): Hessens Wälder im Fokus der dritten Bundeswaldinventur aus naturschutzfachlicher Sicht. Herausgegeben vom Bund für Umwelt und Naturschutz in Deutschland (BUND) Landesverband Hessen e.V. Hessens Wälder
- Pfenninger, M., F Reuss, A Kiebler et al. (2021): Genomic basis for drought resistance in European beech forests threatened by climate change. *eLife* 2021;10:e65532. DOI: <https://doi.org/10.7554/eLife.65532>
- Pommerening, A. & A.J.Sanchez Meador (2018): Tamm review: Tree interactions between myth and reality. *Forest Ecology and management* 424: 164-176
- Piotrowska, M.J., Carolyn Riddell, Peter N. Høebe, Richard A. Ennos (2018): Planting exotic relatives has increased the threat posed by *Dothistroma septosporum* to the Caledonian pine populations of Scotland. *Evolutionary Applications* 11:350–363
- Reif, A., U. Brucker, R. Kratzer, A. Schmiedinger & J. Bauhus (o. J): Waldbau und Baumartenwahl in Zeiten des Klimawandels aus Sicht des Naturschutzes. Abschlussbericht eines F+E-Vorhabens im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz FKZ 3508 84 0200
- Reif, A., Gregor Aas und Franz Essl (2011): Braucht der Wald in Zeiten der Klimaveränderung neue, nicht heimische Baumarten? *Natur und Landschaft* 86 - Heft 6
- Reise, J., Cristina Urrutia, Hannes Böttcher, & Klaus Hennenberg, Öko-Institut e.V. (2020): Literaturstudie zum Thema Wasserhaushalt und Forstwirtschaft
- Riek, W. (2009): Quantifizierung des Risikos für Nitratverluste aus brandenburgischen Waldökosystemen auf der Grundlage chemischer Oberbodeneigenschaften. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 42.
- Ringgaard, Rasmus; Herbst, Mathias; Friborg, Thomas (2012): Partitioning of forest evapotranspiration. The impact of edge effects and canopy structure. In: *Agricultural and Forest Meteorology* 166-167, S. 86–97. DOI: 10.1016/j.agrformet.2012.07.001.
- Rogers, BM, Brendan G. Mackey, Tatiana A. Shestakova, Heather Keith, Virginia Young, Cyril Kormos, Dominick A. Dellasala, Richard Birdsey, Glenn Bush, Richard Houghton, William R. Moomaw (2022) Using ecosystem integrity to maximize climate mitigation and minimize risk in international forest policy. *Frontiers in Forests and Global Change*, doi: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.929281>
- Romeo, F. et al. (2020): Responses of soil quality indicators to innovative and traditional thinning in a beech forest. – *Forest Ecol. and Managem.* 465:118106
- Rukh, Shah, Tanja G. M. Sanders, Inken Krüger, Tobias Schad, and Andreas Bolte. 2023: Distinct Responses of European Beech (*Fagus sylvatica* L.) to Drought Intensity and Length—A Review of the Impacts of the 2003 and 2018–2019 Drought Events in Central Europe. - *Forests* 14, no. 2: 248. <https://doi.org/10.3390/f14020248>
- Schäffer, J., T. Gaertig & K v. Wilpert (FVA Baden-Württemberg) (o. J.): Bodenschäden durch Befahrung. [https://www.waldwissen.net/technik/holzernte/boden/fva\\_kavaliersdelikt/fva\\_kavaliersdelikt.pdf](https://www.waldwissen.net/technik/holzernte/boden/fva_kavaliersdelikt/fva_kavaliersdelikt.pdf). Zugriff 11.10.19

- Scharnweber, T. et al. (2019): Confessions of solitary oaks: we grow fast but we fear the drought. – *Dendrochronologia* 55:43-49
- Scherzinger, W. (1996): Naturschutz im Wald. Ulmer.
- Schmidt, M, Hubert Jochheim, Kurt-Christian Kersebaum, Gunnar Lischeid, Claas Nendel (2017): Gradients of microclimate, carbon and nitrogen in transition zones offragmented landscapes – a review. *Agricultural and Forest Meteorology* 232: 659–671.
- Schönwiese, C. D. (2007): Wird das Klima extremer? Eine statistische Perspektive. <https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/2628/60.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, Zugriff. 30.11.21
- Seibold, S., Gossner, M.M., Simons, N.K. et al. Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers. *Nature* 574, 671–674 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1684-3>
- Seidl, R. (2019): Climate Change and Forest Disturbances in Europe. – Vortrag 4. April 2019 Prague, Czech Republic
- Seidling, W. (2006): Auswirkungen von klimatischem Trockenstress auf den Waldzustand. Arbeitsbericht des Instituts für Waldökologie und Waldinventuren, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft 2006 / 4. [http://literatur.vti.bund.de/digbib\\_extern/dk039309.pdf](http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/dk039309.pdf)  
Zugriff 18.2.2020
- Sierota, Z. (2019): Is the introduction of covered root seedlings in every renewal reasonable - phytopathological point of view. *SYLWAN*: 163: 989-996
- Smith, TM & RL Smith (2009): Ökologie. – Perason.
- Spellmann, H. (2019): Klimarisiken und Folgen für die Baumartenwahl. - Vortrag Fachsymposium „Baumarten im Hessischen Wald der Zukunft“ am 05. Dezember 2019 im Forstlichen Bildungszentrum Weilburg des Landesbetriebs Hessen-Forst.
- Swanson, M. E., Franklin, J. F., Beschta, R. L., Crisafulli, C. M., DellaSala, D. A., Hutto, R. L., Lindenmayer, D. B., & Swanson, F. J. (2011). The forgotten stage of forest succession: Early-successional ecosystems on forest sites. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9, 117–125.
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen (2012a): Umweltgutachten 2012, Kapitel 6.  
[http://www.umweltrat.de/DE/Themen/Forstwirtschaft/forstwirtschaft\\_node.html](http://www.umweltrat.de/DE/Themen/Forstwirtschaft/forstwirtschaft_node.html)
- Thorn, S., J Müller & AB Leverkus (2019): Preventing European forest diebacks. DOI: 10.1126/science.aaz3476  
*Science* 365 (6460), 1388.
- Thorn, S. (2019): Vor der Wiederbewaldung - Alternativen im Umgang mit Störungsflächen. Vortrag Fachsymposium „Baumarten im Hessischen Wald der Zukunft“ am 05. Dezember 2019 im Forstlichen Bildungszentrum Weilburg des Landesbetriebs Hessen-Forst
- Tomao, Antonio; Antonio Bonet, Jose; Castano, Carles; & S. Sergio de-Miguel (2020): How does forest management affect fungal diversity and community composition? Current knowledge and future perspectives for the conservation of forest fungi. *Forest Ecology And Management* 457, Article Number: 117678
- Tschopp, T., R. Holderegger & K. Bollmann (2014): Auswirkungen der Douglasie auf die Waldbiodiversität: Eine Literaturübersicht. *WSL-Berichte* 20.
- Umweltbundesamt (o.J.): STICKSTOFF – ZUVIEL DES GUTEN?  
<http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4058.pdf> Zugriff 5.10.19
- Usman M, Ho-Plágaro T, Frank HER, Calvo-Polanco M, Gaillard I, Garcia K and Zimmermann SD (2021) Mycorrhizal Symbiosis for Better Adaptation of Trees to Abiotic Stress Caused by Climate Change in Temperate and Boreal Forests. *Front. For. Glob. Change* 4:742392. doi: 10.3389/ffgc.2021.742392
- WSL (2011): Mykorrhiza- Eine faszinierende Lebensgemeinschaft im Wald. Merkblatt für die Praxis 35



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!