

Das Projekt DIFENS

Eine Übersicht zu Methoden, Annahmen, Ergebnissen und
Schlussfolgerungen

Anke Benndorf¹, Viviann Bolte², Hannes Böttcher¹, Horst Fehrenbach², Klaus Hennenberg¹,
Susanne Köppen², Udo Mantau³, Mats Nieberg⁴, Mirjam Pfeiffer¹, Judith Reise¹

¹ Öko-Institut e.V.

² ifeu.

³ INFRO e.K.

⁴ PIK.

INHALT

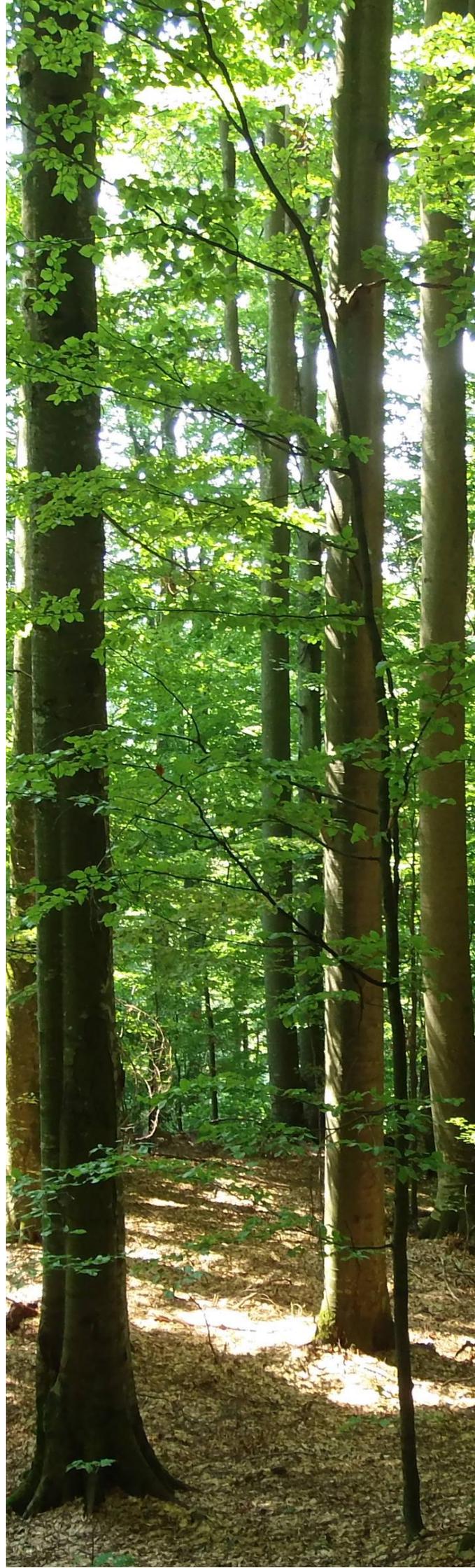
Das Projekt DIFENS 3

Holzverwendungsmodellierung:
Entwicklung der Holznachfrage 4

Waldmodellierung:
Auswirkungen der Änderung
von Klima, Bewirtschaftung
und Holzverwendung 5

Holzstoffstrom- und Ökobilanzmodell:
Treibhausgasemissionen der
Holzverwendung 6

Handlungsoptionen:
Schlussfolgerungen für verschiedene
Akteursgruppen 7



Das Projekt DIFENS

Extremereignisse wie Dürren und Stürme haben in den vergangenen Jahren erhebliche Schäden in unseren Wäldern verursacht. Besonders betroffen sind Wälder mit geringer Widerstandsfähigkeit, die sich nur schwer an Umweltveränderungen anpassen können.

Gleichzeitig steigen die Anforderungen an den Wald: nationale und internationale Vorgaben setzen auf seine Rolle als Rohstoffquelle, Kohlenstoffspeicher und als wertvollen Lebensraum für viele Arten. Um diesen Ansprüchen gerecht zu werden, müssen Wälder gezielt für das Erbringen dieser Leistungen bewirtschaftet werden.

Es ist zu erwarten, dass Extremereignisse in Zukunft häufiger auftreten und die Forstwirtschaft immer stärker beeinflussen. Dies stellt auch die Nutzung von Holz vor neue Herausforderungen, da das verfügbare Holzangebot künftig starken Schwankungen unterliegen wird.

Um die vielfältigen Leistungen des Waldes langfristig zu sichern, sind neue Bewirtschaftungsformen und ein gezielter Umbau der Wälder erforderlich. Dies wird auch zu Veränderungen in der Baumartenzusammensetzung führen.

Zahlreiche Studien haben bereits die Entwicklung von Waldbeständen, das Holzaufkommen und die Kohlenstoffspeicherung unter verschiedenen Bewirtschaftungsszenarien untersucht – meist auf Basis der Bundeswaldinventuren. Bisher fehlte jedoch eine integrierte Betrachtung, die Holznachfrage, Klimawandelfolgen und Waldbewirtschaftung gemeinsam in den Blick nimmt.

Das Projekt DIFENS schließt diese Forschungslücke durch die Entwicklung detaillierter Szenarien, die Endwarenspektoren, Halbwaren und Rohstoffe miteinander verknüpfen:

- Mit dem Modell TRAW wird der zukünftige **Holzbedarf** ermittelt. Langfristige Nachfrageindikatoren und eine Delphi-Befragung steuern die Nachfrage nach Endwaren. Halb- und Rohwaren werden anschließend über die Holzanteile in den Holzwaren abgeleitet.
- Die ermittelte Holznachfrage geht in das **Waldentwicklungsmodell** FABio-Forest ein, das durch eine Verknüpfung mit dem Waldwachstumsmodell 4C auf klimatische Änderungen reagieren kann.
- Das Modell HoLCA leitet schließlich aus den Ergebnissen der Holzverwendung **Treibhausgasemissionen** und **Ökobilanzierungen** entlang der Wertschöpfungskette ab.

DIFENS bietet damit neue Ansätze zur nachhaltigen Anpassung der Forst- und Holzwirtschaft an Klimawandel und Marktveränderungen. Im Mittelpunkt stehen dabei folgende zentrale Fragen:

- Wieviel Holz werden wir in Deutschland zukünftig benötigen?
- Wie entwickeln sich die Wälder in Deutschland im Zuge des Klimawandels?
- Können die Wälder unter den veränderten Bedingungen die zukünftigen Anforderungen erfüllen?
- Welche Folgen hat dies insbesondere für die Bilanzierung von Treibhausgasemissionen und anderen Umweltauswirkungen?



Holzverwendungsmodellierung

Entwicklung der Holznachfrage

Projektionen zur Holzverwendung

Die Modellierung zur Holzverwendung zeigt, dass die Nachfrage nach Holz für die stoffliche Nutzung, u.a. Schnittholzprodukte, Zellstoffe, neue biobasierte Halbwaren, kontinuierlich steigt. Während derzeit jährlich 64 Mio. m³swe (swe = solid wood equivalent, Rohwareneinsatz zur Produktion von Halbwaren) verwendet werden, wird für das Jahr 2050 ein Bedarf von 76 Mio. m³swe erwartet. Im Gegensatz dazu nimmt die Nachfrage nach Holz zur energetischen Nutzung in den nächsten Jahren deutlich ab und sinkt schließlich stetig weiter, bis sie sich im Jahr 2050 bei rund 46 Mio. m³swe 2050 stabilisiert.

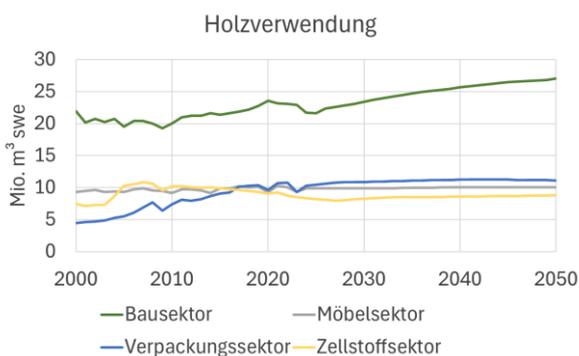


Abb. 1: Holzverwendung nach Sektor

Entwicklung nach Verwendungssektoren

Im **Bausektor** wird bis 2050 ein deutliches Wachstum erwartet, vor allem durch Modernisierung und Tiefbau. Mit einem Einsatz von 27 Mio. m³swe Holz übertrifft der Baubereich die anderen Sektoren deutlich. Der Rohstoffeinsatz im **Möbel- und Verpackungssektor** bleibt mit 10 Mio. m³swe weitgehend konstant. Auch der Rohstoffeinsatz in der **Zellstoffproduktion** stabilisiert sich bei etwa 9 Mio. m³swe.

Im Jahr 2050 werden 125 Mio. m³swe für die Holzverwendung nachgefragt. Nicht alles Holz stammt direkt aus dem Wald. Die Herkunft des Holzes teilt sich wie folgt auf:

- Stammholz (39,5 %),

- sonstiges Derbholz (21,7 %),
- Industrierestholz (19 %),
- Recyclingholz (10,7 %) und
- sonstige primäre Biomasse (9,2 %).

Vom entnommenen Derbholz entfallen 80 % auf Nadelholz und 20 % auf Laubholz.

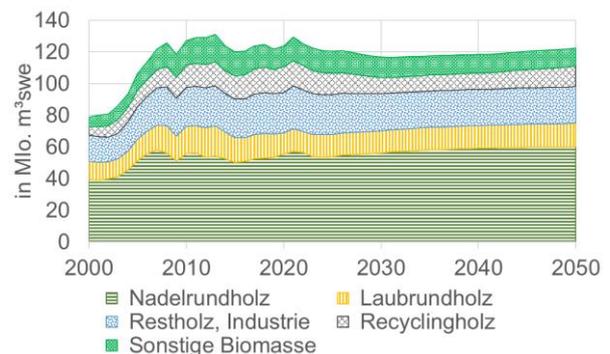


Abb. 2: Holzverwendung insgesamt nach Rohwarengruppen

Simulationen

In einer Simulation wurde der Effekt einer gesteigerten **Holzbauquote** untersucht. Trotz einer linearen Erhöhung der Holzbauquote zwischen 2024 und 2050 um 35 % steigt die Holzverwendung im Baubereich insgesamt nur um 3,5 %. Die Erklärung liegt in dem Anteil des Neubaus (2050 29,2 %), der Holzverwendung in Nicht-Holzbauten (50 %) und der Substitution von Nicht-Holzbauten durch Holzbau. Im Jahr 2050 beträgt die zusätzlich verwendete Menge an Rohwaren 0,9 Mio. m³swe.

Ein weiteres **Anpassungsszenario** analysierte die Auswirkungen von Maßnahmen zur Einsparung von Nadelholz. Durch weniger Verschnitt, vermehrten Einsatz von Altholz und verstärkter Nutzung von Laubholz könnte der notwendige Nadelholzeinschlag zwischen 2026 und 2050 jährlich im Schnitt um ca. 5,7 Mio. m³swe reduziert werden. Gleichzeitig würde der Laubholzeinschlag um 2,3 Mio. m³swe steigen. Dies könnte einer Verknappung von Nadelholz zeitweise entgegenwirken.

Waldmodellierung

Auswirkungen der Änderung von Klima, Bewirtschaftung und Holzverwendung

Waldentwicklung im Klimawandel

Durch das Modell konnte gezeigt werden, dass häufigere Extremereignisse wie Dürren, Stürme, etc. der **Zuwachs** vor allem im Nadelholz **erheblich reduzieren** können (s. Abb. 3a). Bei sehr häufigen Extremwetterereignissen könnte der Zuwachs um 35 % sinken im Vergleich zu weniger häufigeren Dürren und anderen Störungen. Dies würde auch den Vorrat deutlich reduzieren. Als Konsequenz wird der Wald bei häufigen Wetterextremen von einer **CO₂-Senke** zu einer **CO₂-Quelle** (Abb. 3b).

Unter den Annahmen des Basisszenarios ist damit zu rechnen, dass ab dem Jahr 2040 das inländische Nadelholzangebot die Nachfrage nicht decken kann (Abb. 3c). Die Lücke setzt sich auch weiter über den Simulationszeitraum fort.

Eine **optimierte Holzverwendung**, bei der weniger Verschnitt produziert, Altholz länger im Kreislauf gehalten und verstärkt Laub- statt Nadelholz verwendet wird, **entschärft das verringerte Nadelholzangebot**. Im Vergleich zum Basisszenario treten Angebotsdefizite im Nadelholz im Szenario „Optimierte Holzverwendung“ erst über ein Jahrzehnt später auf (Abb. 3d).

Untersucht wurden in Modellszenarien auch die Auswirkungen von **Waldumbau** hin zu mehr Laubholz bzw. mehr Douglasie. Weitere Szenarien stellen dar, inwieweit sich Änderungen bei der **Nutzung von abgestorbenen Bäumen** auf die Wälder auswirken (nicht abgebildet, weitere Ergebnisse auf <https://fabio-model.de/difens>).

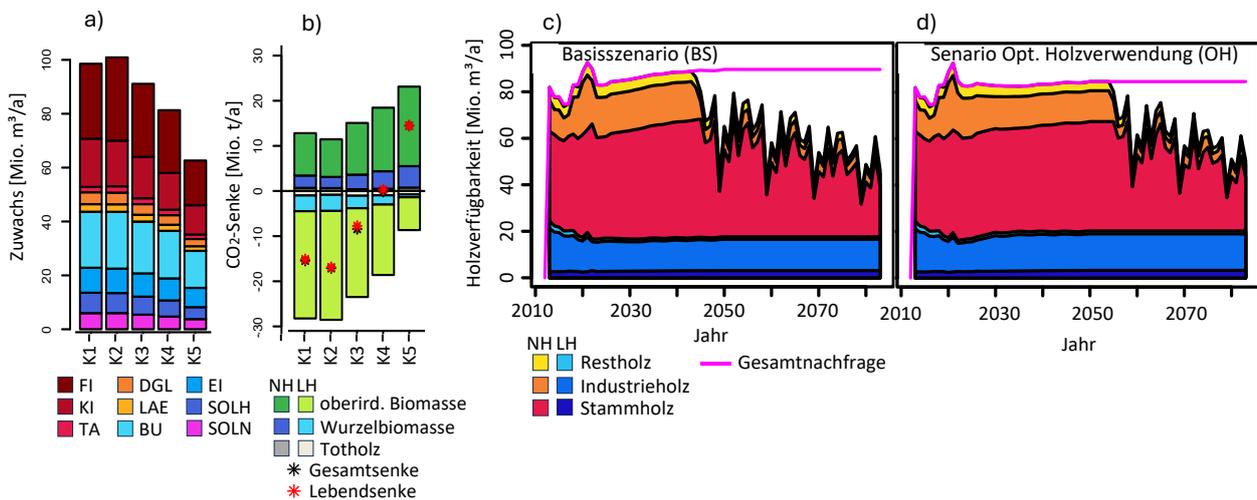


Abb. 3: Mittlerer a) Zuwachs und b) CO₂-Senkenleistung der lebenden Biomasse unter verschiedenen Annahmen der Klimaentwicklung (negative Werte = Senke, positive Werte = Quelle). Angenommen wurde die Fortsetzung der Klimabedingungen wie in den folgenden Zeiträumen beobachtet: K1=2013-2017, K2=2003-2017, K3=2003-2023, K4=2013-2022, K5=2018-2022. Entwicklung der Holzentnahme im c) Basisszenario und d) einem Anpassungsszenario, in dem eine optimierte Holzverwendung (weniger Verschnitt, Altholz länger im Kreislauf, verstärkte Laub- statt Nadelholznutzung) angenommen wird.

Holzstoffstrom- und Ökobilanzmodell

Treibhausgasemissionen der Holzverwendung

Entwicklung der Emissionen im Holzmarktssystem

In dem untersuchten Holzmarktssystem entstehen nach der hier durchgeführten Bilanzierung insgesamt 23 Mio. t CO₂-Äquivalente (CO₂-Äq) an **Treibhausgasen** an. Das entspricht etwa 3,5 % der gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland.

Treibhausgasemissionen nach Sektoren

Die **Papier- und Zellstoffindustrie** verursacht mit 62% den größten Anteil der Emissionen. Obwohl die Papier- und Zellstoffindustrie ein emissionsintensiver Sektor ist, trägt dieser durch sehr hohe Recyclingraten nur in geringem Maße zur Holznutzung bei. Der zweitgrößte Emissionsanteil entfällt auf die **Holzwerkstoffproduktion**, v.a. aufgrund des Einsatzes von Bindemitteln.

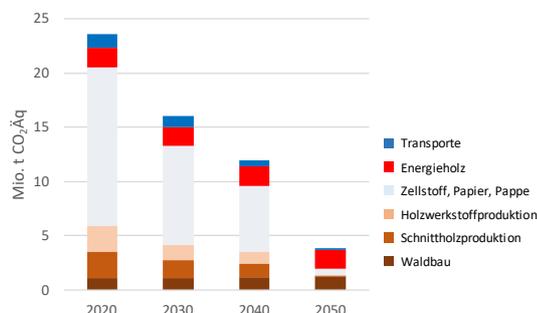


Abb. 4: Treibhausgasemissionen der Holzwirtschaft

Prognose bis 2050

Bei erfolgreicher Umsetzung der Energiewende und einer weitgehenden Abkehr von fossilen Rohstoffen sinken die Gesamtemissionen bis 2050 auf etwa ein Zehntel des heutigen Werts.

Nicht-CO₂-Emissionen aus der Energienutzung (Methan, Lachgas) bleiben jedoch auch

bis 2050 bestehen, sodass künftig der Energieeinsatz den höchsten Emissionsanteil ausmachen wird.

Auch **andere Umweltbelastungen** wie Feinstaubemission und Versauerung werden sich bis 2050 deutlich reduzieren. Die Menge an versauernden bzw. partikelbildenden Emissionen könnte sich von ca. 110.000 t im Jahr 2020 um 40 % bis 2050 verringern.

Potentielle Substitutionseffekte

Die Bilanzierung wurde auch genutzt, um die Potenziale alternativer Materialien zur Ersetzung von Holz zu analysieren. Ein vollständiger Ersatz aller holzbasierten Produkte durch andere Materialien würde zu **Mehremissionen von knapp 80 Mio. t CO₂-Äq** führen. Dies ist allerdings eine eher theoretische Annahme.

Einfluss einer verbesserten Kreislaufwirtschaft

Die jährliche **CO₂-Speicherung in Holzprodukten** zeigt ein wachsendes Potenzial. Durch eine zunehmende stoffliche Nutzung kann dieses von 25 Mio. t in 2020 bis 29 Mio. t CO₂Äq in 2050 steigen.

Demgegenüber werden durch die energetische Nutzung von Holz insgesamt 43 Mio. t im Jahr 2020 und 36 Mio.t CO₂Äq.in 2050 emittiert.

Wichtige Prämissen für diese Studie:

Sollte die Transformation zur Erreichung der Klimaschutzziele nicht erfolgreich sein, bleiben die Emissionen aus der Holzwirtschaft hoch. Gleichzeitig würden in diesem Fall auch die Substitutionseffekte größer ausfallen.

Handlungsoptionen

Schlussfolgerungen für verschiedene Akteursgruppen

Wissenschaft

Die Ergebnisse zeigen, dass in der Verknüpfung der Holznachfragemodellierung mit sowohl empirischen als auch prozessbasierten Waldwachstumsmodellen ein vielversprechender Ansatz für zukünftige Szenarienanalysen ist.

Modellvergleiche tragen wesentlich zum besseren Verständnis der zugrunde liegenden Prozesse bei. Durch den Vergleich unterschiedlicher Modellansätze lassen sich wertvolle Erkenntnisse über deren Verhalten und Aussagekraft gewinnen.

Anstelle einzelner Szenarien sollten wissenschaftlich fundierte **Korridore** verwendet werden, um die Unsicherheiten und Spannbreiten zukünftiger Entwicklungen besser darzustellen. Diese sind jedoch für Entscheidungsträger:innen oft schwerer zu kommunizieren. Eine effektive **Wissenschaftskommunikation** sollte daher auf die Darstellung von Korridoren und Wahrscheinlichkeiten setzen.

Holzwirtschaft

Unter den getroffenen Annahmen zeigt sich, dass die Nachfrage nach Nadelholz je nach Szenario zwischen 2040 und 2050 möglicherweise nicht mehr vollständig gedeckt werden kann.

Eine **optimierte Nutzung von Holz** – etwa durch die Reduktion von Verschnitt, eine verstärkte Nutzung von Altholz sowie einen

erhöhten Einsatz von Laubholz – kann das verringerte Angebot an Nadelholz über mehrere Jahre hinweg abmildern. Damit wurden die Ergebnisse einer qualitativen Expertenbefragung durch die Modellierung weitgehend in quantitative Resultate umgesetzt.

Im Hinblick auf die Klimawirkung zeigte der Vergleich von Holzverwendung und Altholzaufkommen ein großes Potential der Kohlenstoffspeicherung in der stofflichen Holzverwendung.

Forstwirtschaft

Die **Klimawirkungen auf die Holzproduktion und die Kohlenstoffspeicherung** im Wald sind erheblich und stellen eine zentrale Herausforderung für die zukünftige Waldbewirtschaftung dar.

Um diesen Entwicklungen angemessen zu begegnen, sind **klimasensitive Projektionen** der Waldentwicklung erforderlich. Dabei sollte nicht nur das Wachstum, sondern auch die Mortalität der Bäume in Abhängigkeit vom Klima modelliert werden.

Ein besonderes Augenmerk liegt auf den **Wechselwirkungen zwischen der Holzversorgung und naturschutzfachlichen Aspekten**, insbesondere im Spannungsfeld zwischen der Nutzung von Laub- und Nadelholz. Die relative Abnahme alter Laubbäume könnte dabei sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Konsequenzen nach sich ziehen.



Impressum

Version 1.0, Stand 05.09.2025

Zitieren als: Benndorf, A., Bolte, V., Böttcher, H., Fehrenbach, H., Hennenberg, K., Köppen, S., Mantau, U., Nieberg, M., Pfeiffer, M., Reise, J. (2025): Das Projekt DIFENS. Eine Übersicht zu Methoden, Annahmen, Ergebnissen und Schlussfolgerungen DIFENS. Broschüre erstellt im Rahmen des Projekts DIFENS, Öko-Institut, <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/DIFENS-Projektbeschreibung.pdf>

Die Inhalte dieser Broschüre wurden erstellt durch: Benndorf, A., Bolte, V., Böttcher, H., Fehrenbach, H., Hennenberg, K., Köppen, S., Mantau, U., Nieberg, M., Pfeiffer, M., Reise, J.

Öko-Institut e.V.
Rheinstraße 95
64295 Darmstadt
www.oeko.de

Die Broschüre ist ein Produkt des Projektes Waldentwicklung als Folge von Veränderung der Holz- nachfrage, Klimaveränderung, natürlichen Störungen und Politikanforderungen - Eine Analyse der Reaktionsmöglichkeiten von Forst- und Holzwirtschaft (DIFENS).

DIFENS wurde gefördert unter den, Förderkennzeichen 2220WK32A4, 2220WK32B4; 2220WK32C4, 2220WK32D4 aus Mitteln des Waldklimafonds in dem Zeitraum vom 01.12.2021 bis 31.05.2025. Der Projektträger ist die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR).

Ausführliche Broschüren der einzelnen Teilvorhaben: DIFENS – [Holzverwendung](#), DIFENS – [Waldmodellierung](#) und DIFENS - [Ökobilanzierung](#)
Broschüre auf Englisch: [The DIFENS project](#)

Die Projektpartner sind:



Bildernachweis in der Reihenfolge

www.pixabay.com (1), Judith Reise (2,3), Udo Mantau (5)

