



Forstliche Versuchs-  
und Forschungsanstalt  
Baden-Württemberg



# Wald – Forstwirtschaft – Klimaschutz

Eine Argumentationshilfe



29.11.2023

## **Autoren**

Christian Vonderach

unter Mitarbeit von Philipp Eisnecker, Peter Hartmann, Gregor Lanz, Hans-Gerhard Michiels,  
Mattias Rupp, Elisabeth Schüler, Lucia Seebach, Anne Wevell von Krüger, Katarzyna Zielewska-Büttner  
(alphabetisch)

Vorwort .....	5
1. Wie viel Wald und Holz gibt es in Deutschland eigentlich? .....	6
2. Ist das aktuelle Holzvolumen in Deutschland hoch? .....	6
3. Wie hoch ist der Holzvorrat in nutzungsfreien Wäldern? .....	7
4. Je mehr Holzvorrat im Wald desto besser für den Klimaschutz?.....	7
5. Welche Rolle spielt der Boden als Kohlenstoffspeicher? .....	8
6. Wäre es für den Klimaschutz nicht besser, den Wald wachsen zu lassen anstatt Holz zu entnehmen?.....	8
7. Holz soll „in Kaskade genutzt werden“. Was ist das? .....	9
8. Ist energetische Holznutzung klimaneutral? .....	10
9. Auch für die Erzeugung von Brennholz muss für Maschinen Diesel und Öl eingesetzt werden. Damit kann das doch nicht CO <sub>2</sub> -neutral sein! .....	10
10. Wie steht Holzenergie bei den Emissionen im Vergleich zu anderen Wärmequellen da? .....	11
11. Die Holznutzung erzeugt doch eine Kohlenstoffschuld („Carbon Debt“) – wird das berücksichtigt? .....	12
12. Verbranntes Öl oder Kohle emittieren pro erzeugter kWh weniger CO <sub>2</sub> als Holz – sollten daher nicht vorrangig Öl und Kohle genutzt werden, um den Energiebedarf zu decken? .....	13
13. Was sind CO <sub>2</sub> -Substitutionseffekte? .....	13
14. Werden hiesige Wälder nur für Energieholz „plattgemacht“?.....	14
15. Es gibt einen Appell an die USA, die EU, Japan und Südkorea die energetische Holznutzung zu stoppen. Was steckt dahinter?.....	15
16. Wieso gibt es im Wald immer noch „Monokulturen“? .....	15
Literatur .....	17

## Vorwort

Klimaschutz ist die zentrale Herausforderung unserer Zeit. Dies gilt für die Akteure, die sich um die Zukunft des Waldes sorgen oder für seine Entwicklung persönliche Verantwortung tragen, in besonderer Weise. Die inzwischen sprichwörtlich gewordene Aussage, Wald sei in der Klimakrise Opfer und Retter zugleich, macht dies plakativ deutlich und ist inzwischen täglich bei der Waldarbeit oder einem Waldbesuch erlebbar. Die Betroffenheit geht jedoch weit über die engere Waldcommunity hinaus. Wälder spielen im Klimaschutz eine besondere Rolle, denn sie sind bislang auch in Deutschland *die* wichtigste, aktive Kohlenstoffsenke. Wachsende Bäume entziehen der Atmosphäre CO<sub>2</sub> und speichern sie in Holz, Wurzeln und Blättern. Kohlenstoffreiche Waldböden ergänzen die oberirdischen Speicher mit ihren Wirkungen ebenso wie der gezielte Aufbau von Holzspeichern durch eine möglichst langfristige Verwendung des geernteten Rohstoffs.

Klimaschutz durch Waldmanagement ist daher auch ein wichtiges politisches Ziel geworden, das sich in vielen politischen Debatten sowie politischen Initiativen und Instrumenten widerspiegelt. In den Betrieben wirft dies ganz konkrete Fragen auf: welches Waldmanagement hilft dem Klimaschutz und mit welchen Maßnahmen lässt sich die nötige Klimaanpassung der Wälder erreichen? Die Antworten, die Gemeinderäte, interessierte Bürgerinnen und private Waldbesitzer auf diese Fragen finden, sind jedoch teilweise widersprüchlich. Jene, die die drängenden Fragen am Lautesten beantworten, sind nicht immer jene, die sie im Einklang mit vorhandenen Forschungsergebnissen adressieren.

In dieser Situation will die FVA jene Fragen, die besonders häufig an unsere Fachleute herangetragen werden, aufgreifen und vor dem Hintergrund eigener Untersuchung sowie mit dem Stand der wissenschaftlichen Literatur beantworten. Dies soll in der Beratung von Waldbesitzenden sowie in der Diskussion mit Engagierten Orientierung und Argumentationshilfe liefern. Dazu fließt Expertise aus mehreren Abteilungen ein.

Der hier vorgestellte Fragenkatalog mit seinen Antworten kann nie abschließend sein. Es gilt das Papier kontinuierlich um neue Erkenntnisse zu ergänzen und an die Bedürfnisse unserer Leser und Leserinnen anzupassen. Ihre Rückmeldung ist daher höchst willkommen. Reden Sie mit uns.

Prof. Dr. Ulrich Schraml,

Direktor der FVA Baden-Württemberg

## 1. Wie viel Wald und Holz gibt es in Deutschland eigentlich?

Der Wald in Deutschland erstreckt sich über 11.419.124 ha (Stand BWI 2012) und damit ca. 30% der Landesfläche. In Baden-Württemberg liegt der Anteil noch etwas höher mit 1.371.847 ha und 38% der Landesfläche. Die Holzvorräte, gemessen als Volumen des Holzes mit Durchmesser  $\geq 7$  cm, wurden nach Auswertung der letzten flächigen Inventur in Deutschland mit ca. 336 m<sup>3</sup>/ha oder 3.662 Mio. m<sup>3</sup>, in Baden-Württemberg bei 377 m<sup>3</sup>/ha oder 499 Mio. m<sup>3</sup> gemessen.

Die Holzmenge im Wald wird regelmäßig erhoben. Das ist durch das Waldgesetz vorgeschrieben. Alle zehn Jahre wird dafür die sogenannte Bundeswaldinventur (BWI) durchgeführt. Aktuell läuft die Datenauswertung der vierten BWI. Die Ergebnisse werden im Herbst 2024 veröffentlicht. Darüber hinaus sind je nach Bundesland Staats- und Körperschaftswälder, aber auch größere private Forstbetriebe zu einer regelmäßigen Forsteinrichtung verpflichtet. Diese beinhaltet eine Inventur, eine Betriebsplanung sowie eine Nachhaltigkeitskontrolle.

Der Vorrat im deutschen Wald ist seit der ersten Bundeswaldinventur permanent angewachsen: Die Hektarvorräte der westdeutschen Bundesländer wuchsen von 296 m<sup>3</sup>/ha\*a (1987, nur westdeutsche Länder) über 320 m<sup>3</sup>/ha\*a (2002, alle Länder) auf 336 m<sup>3</sup>/ha\*a (2012, alle Länder), bzw. von 3,4 Mrd. m<sup>3</sup> im Jahr 2002 auf 3,6 Mrd. m<sup>3</sup> im Jahr 2012 in Gesamtdeutschland. Für Baden-Württemberg ist der Trend ebenso deutlich (1987: 353 m<sup>3</sup>/ha, 2002: 365 m<sup>3</sup>/ha, 2012: 377 m<sup>3</sup>/ha) Auch die Treibhausgasinventur von 2017 zeigte einen ansteigenden Trend auf deutschlandweit 3,9 Mrd. m<sup>3</sup>.

Ein weiterer Anstieg der Holzvorräte im Wald gilt aufgrund der massiven Waldschäden durch die klimatischen Extremjahre und den flächigen Borkenkäferbefall in den Jahren 2018 bis 2020 und 2022 als unsicher. Gleichzeitig erwarten Fachleute trotz der jüngsten Trockenereignissen mit vielen außerplanmäßigen Nutzungen weiterhin keinen Rückgang des Holzvolumens in den Wäldern von Baden-Württemberg.

## 2. Ist das aktuelle Holzvolumen in Deutschland hoch?

Die Holzvorräte der Wälder Deutschlands belaufen sich auf 336 m<sup>3</sup> Holzvorrat pro Hektar, in Baden-Württemberg sogar auf 377 m<sup>3</sup>/ha (Stand BWI 2012). Damit ist Deutschland im europaweiten Vergleich eines der Länder mit den höchsten Hektarvorräten und -zuwächsen (Polley et al., 2005, Forest Europe 2015, 2020).

26 % der deutschen Waldfläche bestand bei der letzten Erhebung bereits aus Bäumen die älter als 100 Jahre waren. Über alle Baumarten hinweg lag der Vorrat dieser Altersklasse im Mittel bei fast 450 m<sup>3</sup>/ha. Altersklassen > 140 Jahre sind deutlich seltener, können je nach Baumart aber noch höhere Vorräte haben. Die Spanne der Vorräte in der Altersklasse über 140 Jahre erstreckt sich von ca. 385 m<sup>3</sup> bei Kiefern über ca. 446 m<sup>3</sup> bei der Buche, ca. 609 m<sup>3</sup> bei Fichte bis zu ca. 706 m<sup>3</sup> bei Douglasie. Neben dem Vorrat spielt im Kontext Klimaschutz insbesondere die Kohlenstoffsenkenleistung eine Rolle, die im Wald mit dem Zuwachs bestimmt wird (siehe Frage 6).

### 3. Wie hoch ist der Holzvorrat in nutzungsfreien Wäldern?

In Baden-Württemberg wird auf die wirtschaftliche Nutzung auf sog. Prozessschutzflächen verzichtet. Hierzu zählen: Bannwäldern, die Kernzonen des Nationalparks und der Biosphärengebiete. Darunter sind jedoch, entsprechend der Altersstruktur der Wälder in Deutschland, nur vereinzelt Wälder, die schon lange aus der Nutzung genommen wurden und die teilweise sehr hohe Vorräte aufweisen.

Untersuchungen zum Maximalvorrat von ungenutzten Naturwäldern im globalen Kontext zeigen, dass je nach Ökosystem und Alterszustand in konkreten einzelnen Waldbeständen deutlich höhere Vorräte als in bewirtschafteten Wäldern erreicht werden können (WBGU, 1998; Van Tuyl et al., 2005; Jakob et al., 2013, Leuschner et al., 2020, Nagel et al., 2023). Ob diese hohen Vorräte auch auf großer Fläche bzw. gar der Landschaftsebene dauerhaft beobachtbar sind, ist bislang unklar. Nach Scherzinger (2005) oder Hilmers et al. (2018) befindet sich, ein sich selbst überlassener Wald in einer dauerhaften natürlichen Waldentwicklung und die Vorräte der lebenden und toten Biomasse variieren deutlich je nach Entwicklungsphase z.B. zwischen Verlichtungs- und Verjüngungsphase über Wachstums- und Optimalphase bis zur Plenter- und Zersetzungsphase.

Eine aktuelle Studie von Nagel et al. (2023) über ungenutzte Buchenwälder in Deutschland zeigt im Mittel hohe Kohlenstoffvorräte in lebender und toter Biomasse. Allerdings weisen die Ergebnisse eine hohe Variabilität von 50-350 t C/ha lebende Biomasse bzw. umgerechnet 72-509 m<sup>3</sup> Derbholz pro Hektar auf. Dies gilt sowohl für unberührte Wälder in der Slowakei als auch für unterschiedlich lange aus der Nutzung genommene Flächen in Deutschland. Es kann also festgehalten werden, dass in Wäldern ohne Holznutzung die Vorräte an lebender Biomasse höher sein können, aber nicht zwangsläufig sind.

Große Unterschiede existieren jedoch bei der Menge an vorhandenem Totholz in bewirtschafteten (21 m<sup>3</sup>/ha, BWI 2012) und ungenutzten Wäldern (> 100 m<sup>3</sup>/ha, vgl. Nagel et al., 2023). Einige neue Studien weisen zudem darauf hin, dass liegendes Totholz zur Einreichung von organischem Kohlenstoff in Boden beiträgt (Wambsganss et al. 2017; Stutz et al. 2019). Weiterführende Informationen zu Waldschutzgebieten, insbesondere zu Bannwäldern und Schonwäldern liefert unter anderem die [Waldschutzgebietskonzeption Baden-Württemberg 2020](#) (FVA, Abteilung Waldnaturschutz).

### 4. Je mehr Holzvorrat im Wald desto besser für den Klimaschutz?

Ein hoher Holzvorrat heißt zunächst einmal, dass viel CO<sub>2</sub> im Wald gespeichert ist. Das ist auf den ersten Blick aus klimapolitischer Sicht positiv zu bewerten. Im Zusammenhang mit Klimaschutz spielen aber vor allem auch die Fragen nach CO<sub>2</sub>-Emissionen in die Atmosphäre und die CO<sub>2</sub>-Entnahmen aus der Atmosphäre eine wichtige Rolle. Der Wald in Deutschland ist laut Nationalem Inventarbericht (z.B. NIR 2022) eine Netto-Senke, d.h. pro Jahr wird der Atmosphäre durch den Wald mehr CO<sub>2</sub> entnommen, als durch ihn emittiert wird. Dieser Effekt ist aber in seiner bisherigen Richtung und Dimension zunehmend unsicher, denn Störungen wie Stürme, Trockenheit und Insektenkalamitäten werden aufgrund des Klimawandels mit großer

Sicherheit zunehmen. Dann können regional Holzvorräte und damit gebundener Kohlenstoff wieder verloren gehen und der Wald wird zu einer CO<sub>2</sub>-Quelle. Die Auswertung der aktuellen Bundeswaldinventur wird die Konsequenzen der vergangenen Extremjahre 2018 bis 2022 aufzeigen, ein weiterer Vorratsanstieg wie in den letzten Jahrzehnten ist nicht sicher.

Ein hoher Holzvorrat geht in der Regel mit einem hohen Alter einher (vgl. Frage 2). Mit dem Alter steigt allerdings das Risiko für Sturmwurf, Trockenschäden, Käferbefall und Qualitätsminderung des geernteten Rundholzes. Zudem ist der Volumenzuwachs, d.h. die CO<sub>2</sub>-Entnahme pro Hektar und Jahr, für ältere Bestände geringer als für jüngere Bestände. Zur Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und zum Erhalt der CO<sub>2</sub>-Senkenleistung ist ein hoher Vorrat daher nicht notwendigerweise zielführend. Eine differenzierte Betrachtung der Waldbewirtschaftung unter Berücksichtigung der lokalen Risiken und der vor Ort nachgefragten Ökosystemleistungen ist somit sinnvoll.

## 5. Welche Rolle spielt der Boden als Kohlenstoffspeicher?

Waldböden spielen eine wichtige Rolle im Kohlenstoffkreislauf. Sie sind global betrachtet ein größerer Speicher für organischen Kohlenstoff als Pflanzen und Atmosphäre zusammen. In den Wäldern Baden-Württembergs beträgt der Bodenkohlenstoffvorrat im Durchschnitt 104 t/ha und macht somit etwas über 43 % des gesamten Kohlenstoffs im Waldökosystem aus. Der Kohlenstoffvorrat in der Humusaufgabe beträgt dabei ca. 6 % des Gesamtvorrats an Kohlenstoff. Im Totholz liegen 2,4 % des Gesamtvorrats (Hartmann et al., 2016).

Die Kohlenstoffvorräte im Boden entstehen durch Ab- und Umbauprozesse von abgestorbener organischer Substanz wie Blättern, Wurzeln oder Totholz, unter anderem durch Bodenlebewesen. Deren Aktivität wird wesentlich durch den Waldbestand, den Wasserhaushalt, Temperatur sowie bodenchemische Eigenschaften beeinflusst. Je saurer, feuchter und kühler ein Waldboden ist, desto geringer ist der Ab- und Umbau von Blättern und anderer Biomasse. Dementsprechend sind die Kohlenstoffvorräte höher. Aber auch trocken-warme Bereiche weisen einen gehemmten Umbau auf, sodass hier ebenfalls höhere Speicherraten von Kohlenstoff auftreten können (Hartmann et al., 2016). Da Nadeln i.d.R. schlechter zersetzbar sind als Blätter/Laub, ist unter Nadelbäumen oftmals auch der Anteil an organischer Substanz in der Humusaufgabe größer als im Mineralboden (Grüneberg et al., 2017).

Jedoch ist der gesamte Kohlenstoffvorrat im Boden kaum von der Art des Waldbestands abhängig. Denn die Humusaufgaben sind je nach Zersetzbarkeit von Nadeln oder Blättern nur wenige Jahre alt – aber je tiefer man in den Mineralboden hineinkommt, desto länger sind die Umsatzzeiten und desto älter und stabiler gebunden ist der gespeicherte Kohlenstoff.

## 6. Wäre es für den Klimaschutz nicht besser, den Wald wachsen zu lassen anstatt Holz zu entnehmen?

Wichtig für die Beantwortung dieser Frage sind gleich mehrere Faktoren: Der Wald als Kohlenstoffspeicher, die jährliche Senkenleistung der Wälder und die sogenannten Substitutionseffekte von Holznutzung.

Die gute Nachricht vorweg: Wie die bisherigen Ergebnisse der Bundeswaldinventuren (BWI) von



1987, 2002 und 2012 bestätigten, nahm der Holzvorrat und damit der Kohlenstoffvorrat in Deutschlands Wäldern auch in Zeiten mit hoher Nachfrage nach Holz zu (vgl. Frage 2).

Jetzt ist es aber so, dass der Kohlenstoffvorrat in Wäldern durch Nutzungsverzicht auf ein Niveau ansteigen kann, das in einem wirtschaftlich genutzten Wald nicht erreicht wird (vgl. Frage 3). Ein relevanter Anteil des Kohlenstoffvorrats ist dabei in ökologisch wertvollem Totholz gespeichert (Müller et al., 2010, Jacob et al., 2013, Leuschner et al., 2020, Nagel et al. 2023). Allerdings stagniert das Waldwachstum im Alter (Holtsmark 2012, Köhl et al., 2017; Gundersen et al., 2021). Das zusätzlich zum bereits bestehenden Vorrat gespeicherte CO<sub>2</sub> und damit die Senkenleistung des Waldes nimmt ab.

Im Vergleich dazu wird das Waldwachstum in einem bewirtschafteten Wald stets nahe des Optimums gehalten, da die Bäume jünger sind. So kann die mittlere jährliche Senkenleistung eines Waldes durch Holznutzung höher sein als in einem Naturwald. Durch die Waldbewirtschaftung kann der lebende Vorrat im Wald konstant bleiben oder nur langsam ansteigen, während die jährliche Senkenleistung dauerhaft hochgehalten wird – und das bei gleichzeitiger Ernte von Holz.

Doch was nützt eine hohe jährliche Senkenleistung des Waldes dem Klima, wenn der Kohlenstoff dann nicht gespeichert wird? Hier kommt die Holzverwendung und deren Substitutionswirkung ins Spiel (vgl. auch Frage 13). Wird das geerntete Holz vornehmlich stofflich genutzt, bleibt der Kohlenstoff in der sogenannten Technosphäre, also z. B. in Gebäuden, Möbeln oder Fußböden gespeichert. Dann haben wir beides: Eine hohe jährliche Senkenleistung UND eine langfristige Speicherung von CO<sub>2</sub>. Zusätzlich ersetzt Holz dabei z.B. beim Holzbau, emissionsreiche Baustoffe wie Beton oder Stahl, verhindert also zusätzlich CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Unterschiede gibt es hierbei derzeit noch zwischen Laub- und Nadelholz. Laubholz wird bisher zu einem höheren Anteil energetisch verwertet, also zur Wärme- oder Energiegewinnung genutzt. Dann spielen Speichereffekte kaum eine Rolle und die Substitution fällt geringer aus. Allerdings wird dabei kein fossiler Kohlenstoff in die Atmosphäre „geheizt“ (vgl. auch Frage 8). Gleichzeitig gibt es viele Initiativen und Projekte, die sich mit besseren stofflichen Verwendungsmöglichkeiten von Laubholz auseinandersetzen, beispielsweise im Baubereich oder der Chemie.

Weiterführende Informationen dazu finden Sie beispielsweise unter: [Technikum Laubholz](#) oder der [Holzbau Initiative BW](#).

## 7. Holz soll „in Kaskade genutzt werden“. Was ist das?

Eine Kaskade beschreibt die wiederholte Nutzung eines Rohstoffs in verschiedenen, aufeinander folgenden Verwendungen. Die Rohstoffe können so mehrfach genutzt werden, bevor sie am Ende der Kaskade angelangen. Im Idealfall werden sie zunächst mehrfach stofflich und erst dann energetisch verwertet. Holz wird beispielsweise zunächst als Baustoff oder Möbel verwendet, bevor es als Altholz zu Spanplatten verarbeitet und zuletzt verbrannt wird. Ziel der Kaskadennutzung ist eine erhöhte Ressourceneffizienz, da Holz zwar eine nachwachsende, aber dennoch begrenzte Ressource ist.

In Deutschland ist die Wiedergewinnung von Holz über die Altholzverordnung geregelt. Stofflich wird Altholz (ca. 15 % des Aufkommens) bislang praktisch ausschließlich in der Spanplattenproduktion eingesetzt (Döring und Mantau, 2021). Alternative Produkte mit Altholzanteilen befinden sich derzeit in der Entwicklung.

## 8. Ist energetische Holznutzung klimaneutral?

Die Verbrennung von Holz setzt immer CO<sub>2</sub> frei. Dennoch ist die energetische Nutzung von Holz annähernd CO<sub>2</sub>-neutral, sofern eine bestimmte Rahmenbedingung gegeben ist: das Holz stammt aus einem nachhaltig bewirtschafteten Wald, dessen Holzvorräte im räumlich-zeitlichen Mittel nachweislich nicht sinken. Damit ist sichergestellt, dass mindestens so viel CO<sub>2</sub> wieder im Wald gebunden wird, wie durch Holzentnahme an CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen. So wird netto kein zusätzliches CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre emittiert. In Deutschland wird dies auf verschiedenen Ebenen durch regelmäßige Waldinventuren (z. B. Bundeswaldinventur, Betriebsinventuren) nachgewiesen.

Neben den direkten Kohlenstoffemissionen treten aber auch sogenannte Vorkettenemissionen auf, also Emissionen durch z.B. Holzernte und Transport bis zum Ofen. Diese Vorkettenemissionen fallen bei allen Energieträgern an und sind bei Holz vergleichsweise gering (mehr Details unter Frage 9). Darüber hinaus entsteht bei der Verbrennung von Holz nicht nur CO<sub>2</sub>, sondern werden bei ungünstigen Verbrennungsprozessen weitere klimawirksame Gase und Partikel freigesetzt (Details in Frage 10).

Holzenergie ist also nicht komplett klimaneutral, aber trotzdem eine wichtige und erneuerbare Energie- und Wärmequelle. Insbesondere im Vergleich zu alternativen Wärmequellen schneidet Holzenergie sehr gut ab (mehr Details unter Frage 10). Und: Durch die Nutzung von Holzenergie wird kein zusätzlicher fossiler Kohlenstoff in die Atmosphäre abgegeben. Dieser bleibt damit sicher tief im Gestein gelagert (Schulze et al., 2021a).

## 9. Auch für die Erzeugung von Brennholz muss für Maschinen Diesel und Öl eingesetzt werden. Damit kann das doch nicht CO<sub>2</sub>-neutral sein!

Es ist richtig, dass im Regelfall maschineller Einsatz für die Holzernte und Verarbeitung nötig ist und dabei oftmals fossile Energien eingesetzt werden müssen. Dies betrifft aber alle Energieträger gleichermaßen (Details im Kapitel 10). Studien haben gezeigt, dass insbesondere bei einer regionalen Bereitstellung von Energieholz nur wenige Prozentpunkte (2-10 %) an zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen (Eltrop et al. 2006; Kopp, 2012; Pelz, 2020). Eine Schweizer Studie gibt einen Wert von 0,4 und 1,8 % der in Holz enthaltenen Energie für Verarbeitung und Transport an, solange bestimmte Transportdistanzen nicht überschritten werden (Schnorf et al., 2021). Kanadische Werte zeigen eine ähnliche Größenordnung (McKechnie et al. 2010). Holz ist zudem ein regionaler und dadurch im Gegensatz zu fossilen Rohstoffen dezentral verfügbarer, nachwachsender Rohstoff. Durch lokale Verwendung und gezielten Maschineneinsatz (Kühmaier et al., 2022) im nachhaltig bewirtschafteten Wald kann

der Anteil der grauen Energien also relativ geringgehalten werden.

## 10. Wie steht Holzenergie bei den Emissionen im Vergleich zu anderen Wärmequellen da?

Vom Umweltbundesamt 2022 veröffentlichte Zahlen und Vergleiche der Emissionen erneuerbarer Energieträger verdeutlichen, dass Holzenergie aktuell sowohl in der Betrachtung der Vorkette (Bereitstellung der Energieträger) als auch bei den Gesamtemissionen im besten Fall annähernd klimaneutral ist (siehe Tabelle 1), in jedem Fall aber mit die geringsten CO<sub>2</sub>-äq-Emissionen aufweist (UBA 2022). Dies gilt zudem, wenn neben Emissionen an CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, VOC<sup>1</sup> und N<sub>2</sub>O (ausgedrückt als CO<sub>2</sub>-Äquivalente) auch der klimawirksame Ruß (Black Carbon) berücksichtigt wird (Mack 2023). Wichtig ist die Herkunft aus nachhaltiger und möglichst regionaler Waldbewirtschaftung. Eine korrekte Befuerung und idealerweise die Nutzung von Staubabscheidern verhindern zusätzliche vermeidbare Emissionen an Ruß und Staub (Mack 2023).

Tabelle 1: Emissionswerte einzelner Wärmequellen nach Gesamtemissionen (UBA, 2022)

CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren einzelner Wärmequellen nach Gesamtemissionen		
Wärmequelle	Vorketten-Emissionen (in g/kWh)	Gesamtemissionen (in g/kWh)
Scheitholz-Heizkessel	9,5	14,2
Pellet-Ofen	10,2	14,5
Pellet-Heizkessel	10,2	18,3
Solarthermie (Flächenkollektor)	10,7	22
Holz hackschnitzel-Heizwerk	15,7	23,4
Scheitholz-Ofen	9,5	25
Elektrische Wärmepumpe Sole-Wasser <sup>2</sup>	31,4	159,8
Elektrische Wärmepumpe Luft-Wasser <sup>2</sup>	13,8	170,8
Erdgas	42,2	243,7
Fernwärme-Mix	42,6	295,2
Heizöl	45,7	312,7

<sup>1</sup> VOC = volatile organic carbon, d.h. flüchtige organische Verbindungen

<sup>2</sup> Die hohen Emissionswerte an CO<sub>2</sub>-Äquivalente bei Wärmepumpen sind auf den aktuellen Strommix zurückzuführen der noch zu einem substantiellen Anteil mit Kohle und Gas erzeugt wird und würden bei entsprechender Kombination mit „grünem Strom“ sinken.

Bei der unvollständigen oder unsauberen Verbrennung von Holz kann neben CO<sub>2</sub> auch Methan oder sogenanntes Black Carbon freigesetzt werden, beispielsweise bei Lagerfeuern, aber auch bei Fehlbedienungen von z.B. Kamin- oder Kachelöfen, sogenannter Einzelraumfeuerungen. Black Carbon bezeichnet Feinstaub, der bei der unvollständigen Verbrennung von Holz, aber auch bei Verbrennung von Diesel im Verkehrssektor entstehen kann. Durch ihre schwarze Farbe tragen die Black Carbon-Bestandteile zur Erderwärmung bei, indem sie Sonneneinstrahlung nicht reflektieren, sondern aufnehmen.

Während Methan in den Berechnungen zu klimaschädlichen Emissionen von Holzenergie beispielsweise des Umweltbundesamts enthalten ist (Details in Frage 10), ist noch nicht ganz klar, wie klimaschädlich Black Carbon ist (vgl. IPCC 2013 in Mack 2023). Der Weltklimarat geht aktuell davon aus, dass Black Carbon das Hundertfache bis 1700-fache an Treibhauseffekten im Vergleich zu CO<sub>2</sub> ausmachen kann. Zudem zeigen Untersuchungen, dass insbesondere bei Einzelraumfeuerungsanlagen die Anteile an klimaschädlichen Black Carbon-Anteilen sehr hoch sein können. Doch auch unter Berücksichtigung der Black Carbon-Emissionen schneiden Holzenergieanlagen mit Blick auf die Emissionen vergleichsweise gut ab. Zudem können diese Emissionen durch Filter nahezu vollständig vermieden werden.

## **11. Die Holznutzung erzeugt doch eine Kohlenstoffschuld („Carbon Debt“) – wird das berücksichtigt?**

Das Konzept einer sogenannten Kohlenstoffschuld (vgl. Mitchell et al., 2012) besagt, dass die Entnahme von Biomasse der Atmosphäre Kohlenstoff zuführt und damit eine Verpflichtung entsteht, diesen Kohlenstoff der Atmosphäre wieder zu entziehen. Nach diesem Konzept dauert die Begleichung der Schuld viele Jahre, nämlich bis dieser Baum wieder nachgewachsen ist (Holmgren, 2021). Die benötigte Zeit wird als „Payback Time“ bezeichnet. Diese theoretische Betrachtung zeigt, dass insbesondere die Nutzung von unberührten kohlenstoffreichen Wäldern mit konstantem Vorrat kritisch ist, da hier durch Nutzung eine Absenkung des Kohlenstoffvorrats stattfindet (Mitchell et al., 2012), der nicht unverzüglich durch den laufenden Zuwachs kompensiert wird, da sich diese Wälder in einem natürlichen Gleichgewicht ohne Nutzung befinden. Auch die Studie von Harmon et al. (1990) bezieht sich auf die Umwandlung von alten Wäldern in junge, schnell wachsende Plantagen. Der Netto-Verlust an Kohlenstoff kann dann nur schwerlich durch die unterstellte Holznutzung zeitnah kompensiert werden. Aufforstungen und umtriebszeitbasierte Systeme lösen in diesem Kontext deutlich weniger Kritik aus, da sich diese Wälder in einem sehr produktiven Gleichgewicht aus Zuwachs und Entnahme befinden. Die hiesigen Wälder und deren Bewirtschaftung sind bei der Studie von Mitchell et al. (2012) insofern nicht gut repräsentiert.

Das Verständnis und die Bilanzierung der Nachhaltigkeit im Wald in Deutschland basiert auf einem Flächenansatz, denn auch die Nutzungen von Bäumen werden flächenbasiert geplant und durchgeführt (Cowie et al., 2021). Unter Berücksichtigung aller betrieblichen Flächen wird jährlich nur auf einem Teil der Flächen Holz und damit Kohlenstoff entnommen. Die restlichen Flächen kompensieren direkt, also im Jahr der Nutzung, die Verluste durch den Zuwachs. Über Inventuren wird dieser Erhalt des Vorrats sowohl auf Betriebsebene wie auch regional überprüft.

## 12. Verbranntes Öl oder Kohle emittieren pro erzeugter kWh weniger CO<sub>2</sub> als Holz – sollten daher nicht vorrangig Öl und Kohle genutzt werden, um den Energiebedarf zu decken?

In der Tat liefern Öl und Kohle mehr Energie pro emittierte Tonne CO<sub>2</sub> als Holz (Quaschnig, 2021). Es gibt aber zwei wichtige Unterschiede zwischen den fossilen Energieträgern und der nachwachsenden Ressource Holz: Erstens das Thema Risiko. Öl und Kohle sind Teil des großen und langsamen Kohlenstoffkreislaufs, sie sind geologisch gespeichert und damit risikoärmer, denn – anders als bei einem Wald – kann der Kohlenstoff nicht plötzlich frei werden. Er ist dauerhaft im Öl oder der Kohle gespeichert. Bei Nutzung von fossilen Ressourcen wird der unterirdisch in Gestein dauerhaft gebundene Kohlenstoff in den kurzen, schnellen, vor allem oberirdischen Kohlenstoffkreislauf eingebracht und verbleibt dort.

Holz ist Teil dieses oberirdischen, schnellen und leider auch risikoreicheren Kohlenstoffkreislaufs. Beispielsweise durch Waldbrände kann der im Wald gespeicherte Kohlenstoff sehr schnell in die Atmosphäre gelangen. Man tauscht also bei Nutzung fossiler Rohstoffe einen risikoarmen, dauerhaft gebundenen gegen einen risikoreichen, volatilen Speicher aus.

Darüber hinaus wird durch Holznutzung bei nachhaltiger Waldwirtschaft in mindestens gleichem Maße CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entfernt wie ihr durch Verbrennung von Holz zugeführt wird. Es entstehen also keine zusätzlichen Emissionen (vgl. Frage 9). Des Weiteren ist Holz als Rohstoff dezentral und regional verfügbar. Dies reduziert Transportwege und mindert weitere CO<sub>2</sub>-Emissionen. Generell wünschenswert ist eine kohlenstofffreie Energieversorgung aus regenerativen Quellen wie Wind, Sonne und Wasser (wenngleich auch diese Energiequellen Emissionen verursachen, siehe Frage 10). Doch Holz hat seine Berechtigung und kann „in manchen lokalen und regionalen Kontexten und unter kontrollierten Bedingungen eine umweltfreundliche Form der Energieerzeugung sein“ (SRU 2020), wenngleich die benötigten Mengen an Holzressourcen für einen großskalig wirksamen Klimaschutz nicht verfügbar sind.

## 13. Was sind CO<sub>2</sub>-Substitutionseffekte?

Substitution bedeutet Ersetzung. Und CO<sub>2</sub>-Substitution bedeutet, dass durch eine Ersetzung CO<sub>2</sub> eingespart wird. Beispielsweise können fossile bzw. energieintensive Baumaterialien wie Beton oder Stahl durch Holzprodukte ersetzt werden, die viel klimafreundlicher sind. Dann sprechen wir von CO<sub>2</sub>-Substitutionseffekten (Sathre & O’Conner, 2010; Myllyviita et al., 2021).

Untersuchungen haben gezeigt, dass diese Effekte in der Regel positiv sind (Köppen, 2015). Die Nutzung von Holz anstelle von fossilen bzw. energieintensiveren Baustoffen (z. B. Beton, Stahl, Alu) produziert also weniger CO<sub>2</sub>.

Wichtige Annahme dabei ist, dass das Holz aus nachhaltiger Waldbewirtschaftung stammt: Wird also Holz durch eine Erntemaßnahme gewonnen, wird dem Wald zwar Kohlenstoff entnommen, dieser Verlust wird aber durch das Wachstum der verbleibenden Bäume im räumlich-zeitlichen Mittel direkt ausgeglichen (Nachhaltigkeitsparadigma, siehe auch Frage 11). Gleichzeitig entstehen im nachgelagerten Bereich (z. B. Bausektor) weniger CO<sub>2</sub>-Emission im Vergleich zur

Situation, wenn konventionelle Baustoffe eingesetzt würden (Substitutionseffekt). Grundbedingung ist somit, dass der Gesamtvorrat im Wald nicht abnimmt. Substitutionseffekte treten sowohl bei stofflichem Einsatz von Holz auf, als auch bei der energetischen Nutzung von Holz. Die Höhe der Substitutionseffekte hängt zudem von den verglichenen Systemen ab.

“Der Substitutionsfaktor beschreibt, wie viel Treibhausgasemissionen vermieden würden, wenn ein holzbasiertes Produkt anstelle eines anderen, funktional ähnlichen Produkts verwendet wird” (Bauhus, 2019). Die durchschnittlichen stofflichen Substitutionsfaktoren liegen zwischen 1,2 - 2,1  $tC_{\text{fossil}}/tC_{\text{Holz}}$  im Holzprodukt (vgl. Sathre & O’Connor, 2010; Leskinen et al., 2018, Myllyviita et al., 2021). Für die energetische Substitution liegt der Wert bei 0,5 - 0,8  $tC_{\text{fossil}}/tC_{\text{Holz}}$  (vgl. Rock, 2013; Myllyviita et al., 2021). Das heißt die Nutzung von einer Kohlenstoff-Tonne Holz (ganz grob ca. vier Festmeter Holz oder ca. 2 Tonnen Holz) spart bei stofflicher Nutzung 1,2 bis 2,1 Tonnen fossile C-Emissionen bzw. 4,4 bis 7,7 Tonnen fossile  $CO_2$ -Emissionen, bei rein energetischer Nutzung wäre das eine Einsparung von 1,8 bis 2,9 Tonnen fossiles  $CO_2$ .

**Beispiel:** Wird der gesamte Lebenszyklus eines Wohngebäudes in Holzbauweise mit 200 Quadratmetern Grundfläche betrachtet, werden im Vergleich zu einem Haus in gleicher Größe, jedoch in konventioneller Bauweise errichtet, bis zu 41 Tonnen  $CO_2$ -Äquivalente eingespart (Hafner et al., 2017).

## 14. Werden hiesige Wälder nur für Energieholz „plattgemacht“?

Nein. Es gibt in Deutschland und Baden-Württemberg im Bundes- und Landeswaldgesetz klare Vorgaben, die das verhindern. Zum einen gibt es strenge Rahmenbedingungen für sogenannte Kahlhiebe. Das sind flächige Nutzungen oder Einzelbaumnutzungen auf großer Fläche, bei denen mehr als 60 % des Bestandsvorrats genutzt werden, also größere Freiflächen entstehen können. Ohne Genehmigung dürfen solche Kahlhiebe nur auf Flächen mit maximal einem Hektar (100 m x 100 m) stattfinden. Dabei gilt zudem, dass weder der Boden bzw. die Bodenfruchtbarkeit geschädigt werden darf, noch der Wasserhaushalt erheblich dauerhaft beeinträchtigt oder sonstige Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes erheblich beeinträchtigt werden dürfen (vgl. LWaldG §15). Lediglich Waldbestände, die z.B. durch Sturm oder Borkenkäfer geschädigt wurden, können auch auf größerer Fläche genutzt werden. Über die gesetzlichen Regeln hinaus gibt es private Zertifizierungssysteme für nachhaltige Waldwirtschaft wie das „Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes“ (PEFC) bzw. das „Forst Stewardship Council“ (FSC), deren Regeln von den meisten Forstbetrieben in Baden-Württemberg freiwillig berücksichtigt werden. Sie schränken den Umfang des genutzten Holzes weiter ein.

Grundsätzlich zielt die Bewirtschaftung von Wäldern in Baden-Württemberg darauf ab, hochwertiges Rundholz zu produzieren (vgl. LWaldG §45), auch wenn Waldeigentümer und Waldeigentümerinnen frei in der Vermarktung ihres Holzes sind. Energieholz fällt bei der Holzernte als sogenanntes Koppelprodukt an, ebenso werden Teile z. B. von Sägerundholz (Ausbeute ca. 60 %) bei der Weiterverarbeitung thermisch (aber auch stofflich) eingesetzt (Sägemehl, Sägespäne). Wie das anfallende Holz im Zuge der Wertschöpfungskette letztendlich genutzt wird, kann ein Forstbetrieb nicht vollständig bestimmen und hängt maßgeblich von der Qualität des Holzes und der entsprechenden Nachfrage ab. Laut Spathelf et al. (2022) werden



31 % des Rohholzes – nicht 31 % der Bäume! – energetisch genutzt; bei Laubholz liegt der Anteil sogar bei ca. 70 % (Datenstand 2017). Köppen (2015) weist darauf hin, dass die Substitutionsleistung der Holznutzung umso geringer ausfällt, je mehr Holz direkt energetisch genutzt wird. Ein Großteil der Bioenergie stammt aber aus Nebenprodukten der Holzindustrie, weshalb die energetische Nutzung von Holz kein Treiber der Holznutzung in Deutschland ist (Holmgren, 2021).

Wichtig ist auch zu beachten, dass diese Aussagen die Waldwirtschaft in Baden-Württemberg und Deutschland darstellen. Berichte über illegale Holznutzungen in Rumänien oder Litauen sind besorgniserregend. Der Regionalität von Ressourcen kommt daher wieder einmal eine besondere Wichtigkeit zu. Vor dem Hintergrund sind zumindest die Zahlen des Umweltbundesamts beruhigend, nach denen beispielsweise die in Deutschland eingesetzten Pellets zu 98 Prozent auch aus deutschen Wäldern stammen (UBA 2022).

## **15. Es gibt einen Appell an die USA, die EU, Japan und Südkorea die energetische Holznutzung zu stoppen. Was steckt dahinter?**

Die Forderungen des „Letter Regarding Use of Forests for Bioenergy“ (Raven et al. 2021) beziehen sich insbesondere auf die industrielle Energieholznutzung und die damit verbundene Abholzung vorratsreicher Primärwälder in Ländern mit einer wenig kontrollierten Forstwirtschaft. Durch verschiedene Anreize seitens der adressierten Länder und Institutionen besteht die begründete Befürchtung, dass die dort anvisierte Energieholznutzung Vorbild wird für andere Länder, ihre vorratsreichen Wälder zu nutzen – entweder für die eigene energetische Nutzung oder für den Verkauf. In der Konsequenz werden noch vorhandene vorratsreiche Primärwälder abgeholzt und so wertvolle Biotope zerstört, auch in Europa (Luick et al., 2021, Luick et al., 2022). Unter diesen Umständen (Umwandlung vorratsreicher Primärwälder in vorratsärmere Wälder) kann nicht von nachhaltiger Forstwirtschaft gesprochen werden. In Europa hat dieser Prozess vor Jahrhunderten stattgefunden, sodass nur noch einzelne Reste solcher Primärwälder existieren. In Baden-Württemberg sind sie komplett verschwunden. Hier wird heute durch eine regulierte Forstwirtschaft eine systematische Übernutzung der sogenannten Sekundärwälder weitgehend ausgeschlossen. Dort, wo Primärwälder – auch in Europa - bedroht sind, gilt ihrem Schutz besonderes Augenmerk (Luick et al., 2021, Luick et al., 2022). Die politische Forderung nach einem Erhalt der Primärwälder ist daher auch aus Klimaschutzgründen sinnvoll und die EU ist bemüht mit ihren Instrumenten nur für nachhaltige Holzwirtschaft Anreize zu schaffen.

## **16. Wieso gibt es im Wald immer noch „Monokulturen“?**

Waldbestände aus einer dominierenden Baumart sind nicht grundsätzlich gleichzusetzen mit naturfernen Wäldern. Denn auch ungenutzte und unbeeinflusste Wälder können von einer Baumart dominiert sein, wie Beispiele aus skandinavischen Ländern oder auch Buchen-Wälder in Deutschland zeigen. In Baden-Württemberg sind sie vielfach Ausdruck der Waldnutzungsgeschichte. Dies gilt insbesondere für die vielen Nadelbaumaufforstungen nach dem Zweiten Weltkrieg. Sie reflektieren die damaligen gesellschaftlichen Bedürfnisse sowie die

technischen Möglichkeiten bzw. die Verfügbarkeit an Pflanzen.

Im Gegensatz zur Landwirtschaft, deren Anbauten meist innerhalb eines Jahres den Zyklus von Aussaat bis Ernte durchlaufen, sind die Zeiträume in der Forstwirtschaft ungleich länger. Das Wachstum und Altern der Bäume benötigt viele Jahrzehnte, sodass forstliche Entscheidungen aus der Mitte des letzten Jahrhunderts und davor noch heute sichtbar sind. Damals war die Schaffung von Reinbeständen, also Wälder mit nur einer Baumart, die oftmals gepflanzt war, üblich. Und solange diese „historischen“ Waldbestände ohne flächige Störung wachsen, sahen Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer vielfach keinen Anlass, diese Bäume vorzeitig zu nutzen. Die letzte Bundeswaldinventur hat für Baden-Württemberg wiederum deutlich gemacht, dass die erfasste Waldverjüngung inzwischen zu 90 % aus Naturverjüngung hervorgegangen ist. Nach Baumarten differenziert zeigt sich, dass die Laubbäume mit gut zwei Dritteln diese Schicht dominieren. Insbesondere unter Schirm hat die Buche einen Anteil von fast 36 %, die Fichte nur noch von 19 % (vgl. [Ergebnisse der BWI3 in Baden-Württemberg \(waldwissen.net\)](http://waldwissen.net)). Ohne menschlichen Eingriff ist es dennoch nicht unwahrscheinlich, dass auch heute wieder unter den historischen Reinbeständen neue Reinbestände entstehen. Zum einen hat die Saat im Boden ihren Ursprung im ehemaligen Waldbestand und Mischbauarten fehlen oder sie werden vom Wild bevorzugt gefressen. Zum anderen sind nicht alle Baumarten gleichermaßen konkurrenzkräftig. Aus diesem Grund sind im Rahmen der Klimaanpassung von Wald Managementeingriffe zur Regulierung der Wildbestände ebenso wie zur gezielten Steuerung der Baumartenmischung sinnvoll, um das Ziel artenreicher, gemischter und struktureicher Wälder zu unterstützen.



## Literatur

Bauhus, J. (2019). Klimaschutz durch Forst- und Holzwirtschaft. Professur für Waldbau. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Vortrag auf den 4. Freiburger Umweltgesprächen. Online abrufbar unter: [https://www.freiburg.de/pb/site/Freiburg/get/params\\_E607513001/1365808/FR-Umweltgespr%C3%A4che\\_Bauhus.pdf](https://www.freiburg.de/pb/site/Freiburg/get/params_E607513001/1365808/FR-Umweltgespr%C3%A4che_Bauhus.pdf). Zuletzt abgerufen: 18.08.2023.

BWI (2012). Daten zur dritten deutschen Bundeswaldinventur von <https://bwi.info>. Zuletzt abgerufen: 18.08.2023.

Cowie, A. L., Berndes, G., Bentsen, N. S., Brandão, M., Cherubini, F., Egnell, G., George, B., Gustavsson, L., Hanewinkel, M., Harris, Z. M., Johnsson, F., Junginger, M., Kline, K. L., Koponen, K., Koppejan, J., Kraxner, F., Lamers, P., Majer, S., Marland, E., Nabuurs, G.-J., Pelkmans, L., Sathre, R., Schaub, M., Smith Jr, C. T., Soimakallio, S., Van Der Hilst, F., Woods, J. & Ximenes, F. A. (2021). Applying a science-based systems perspective to dispel misconceptions about climate effects of forest bioenergy. *GCB Bioenergy*, 13(8), 1210-1231.

Döring, P. und Mantau, U. (2021). Rohstoffmonitoring Holz - Altholz im Entsorgungsmarkt: Aufkommen und Verwertung 2020. Teilbericht. Hamburg, 2021. [http://infro.eu/downloads/studien\\_neu\\_2022/S06%20Altholz%202020.pdf](http://infro.eu/downloads/studien_neu_2022/S06%20Altholz%202020.pdf). Zuletzt abgerufen: 18.08.2023.

Eltrop, L., Moerschner, J., Härdtlein, M., & König, A. (2006). Bilanz und Perspektiven der Holzenergienutzung in Baden-Württemberg. Forschungsberichte des Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung. Band 98.

FOREST EUROPE - Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe (1993). RESOLUTION H1 – General Guidelines for the Sustainable Management of Forests in Europe. Helsinki, Finnland, 16/16 June 1993. 3p. <https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2016/08/MC-helsinki-resolutionH1.pdf>. Zuletzt abgerufen: 18.08.2023.

FOREST EUROPE (2015). <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/mean-growing-stock-density-by-country-1#tab-dashboard-01>. Zuletzt abgerufen: 18.08.2023.

FOREST EUROPE - Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe (2020). State of Europe's Forests. Online abrufbar unter: [https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2016/08/SoEF\\_2020.pdf](https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2016/08/SoEF_2020.pdf). Zuletzt abgerufen: 18.08.2023.

Grüneberg, E., von Wilpert, K., Meesenburg, H., Evers, J., Ziche, D., Andreae, H., & Wellbrock, N. (2017). Was nützt die Waldkalkung? *AFZ-DerWald*, 2/2017, 15-17.

Grüneberg, E., Riek, W., Schöning, I., Evers, J., Hartmann, P., & Ziche, D. (2017). Das Kohlenstoffspeichervermögen von Waldböden. *AFZ-DerWald*, 2/2017, 23-25.

Gundersen, P., Thybring, E. E., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Nadelhoffer, K. J., & Johannsen, V. K. (2021). Old-growth forest carbon sinks overestimated. *Nature*, 591(7851), E21-E23.

Hafner A.; Rüter S.; Ebert S.; Schäfer S.; König, H.; Cristofaro L.; Diederichs; S.; Kleinhenz, M.; Krechel, M. (2017): Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden – Umsetzung neuer Anforderungen an Ökobilanzen und Ermittlung empirischer Substitutionsfaktoren (THG-

Holzbau). 148 S. Forschungsprojekt: 28W-B-3-054-01 Waldklimafonds. BMEL/BMUB. ISBN: 978-3-00-055101-7 [https://literatur.thuenen.de/digbib\\_extern/dn058600.pdf](https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn058600.pdf) Zuletzt abgerufen: 27.11.2023.

Harmon, M. E., Ferrell, W. K., & Franklin, J. F. (1990). Effects on carbon storage of conversion of old-growth forests to young forests. *Science*, 247(4943), 699-702.

Hartmann, P., Buberl, H., Puhmann, H., Schäffer, J., Trefz-Malcher, G., Zirlewagen, D., & von Wilpert, K. (2016). Waldböden Südwestdeutschlands – Ergebnisse der Bodenzustandserhebungen im Wald von 1989-1992 und 2006-2008 (Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Ed.). Verlag Kessel.

Hilmers, T., Friess, N., Bässler, C., Heurich, M., Brandl, R., Pretzsch, H., Seidl, R. & Müller, J. (2018). "Biodiversity along temperate forest succession." *Journal of Applied Ecology* 55 (6):2756-66. doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13238>.

Holmgren, P. (2021). The forest carbon debt illusion. FutureVistas AB. Swedish Forest Industries.

Holtmark, B. (2012). Harvesting in boreal forests and the biofuel carbon debt. *Climatic Change* 112 (2), S. 415–428.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5\\_all\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf) Zuletzt abgerufen: 27.11.2023.

Jacob, M., C. Bade, H. Calvete, S. Dittrich, C. Leuschner and M. Hauck (2013). Significance of Over-Mature and Decaying Trees for Carbon Stocks in a Central European Natural Spruce Forest. *Ecosystems* 16, 336–346 (2013). <https://doi.org/10.1007/s10021-012-9617-0>. Zuletzt abgerufen: 18.08.2023.

Köhl, M., Plugge, D., Gutsch, M., Lasch-Born, P., Müller, M., & Reyer, C. (2017). Wald und Forstwirtschaft. In *Klimawandel in Deutschland* (pp. 193-201). Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.

Köppen, S. (2015). Waldnutzung und Klimaschutz. Kurzstudie. Forum Umwelt und Entwicklung. IFEU Institut Heidelberg. Online abrufbar unter: [https://www.forumue.de/wp-content/uploads/2016/01/ifeu\\_Wald-und-Klima.pdf](https://www.forumue.de/wp-content/uploads/2016/01/ifeu_Wald-und-Klima.pdf). Zuletzt abgerufen: 18.08.2023.

Kühmaier, M., Kral, I., & Kanzian, C. (2022). Greenhouse Gas Emissions of the Forest Supply Chain in Austria in the Year 2018. *Sustainability*, 14(2), 792.

Leskinen, P., Cardellini, G., González-García, S., Hurmekoski, E., Sathre, R., Seppälä, J., Smyth, C., Stern, T. & Verkerk, P. J. (2018). Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. *From Science to Policy* 7. European Forest Institute. <https://doi.org/10.36333/fs07>

Leuschner, C., Glatthorn, J., Kaufmann, S. Feldmann, E., Klingenberg, E. (2021). Ökosystemfunktionen von Buchen-Urwäldern: Kohlenstoffbindung und Pflanzenbiodiversität. *Nationalpark Unteres Odertal 2020* (3), 28-37.

Luick, R., Hennenberg, K., Leuschner, C., Grossmann, M., Jedicke, E., Schoof, N., & Waldenspuhl, T. (2021). Primeval, natural and commercial forests in the context biodiversity and climate protection. Part 1: Functions for biodiversity and as carbon sinks and reservoirs. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 53 (12).

Luick, R., Hennenberg, K., Leuschner, C., Grossmann, M., Jedicke, E., Schoof, N., & Waldenspuhl, T. (2022). Primeval, natural and commercial forests in the context biodiversity and climate protection. Part 2: The narrative of the climate neutrality of wood as a resource. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 54 (01).

Mack, R. (2023): Klimawirksamkeit der Wärmegewinnung aus Holz im Vergleich mit anderen Energieträgern. Fachkongress Holzenergie. 26. September 2023, Würzburg. Foliensatz, 19S.

McKechnie, J., S. Colombo, J. Chen, W. Mabee and H. L. MacLean (2011). "Forest bioenergy or forest carbon? Assessing trade-offs in greenhouse gas mitigation with wood-based fuels." *Environmental Science & Technology* 45(2): 789-795. <http://dx.doi.org/10.1021/es1024004>

Mitchell, S.R., Harmon, M.E. and O'Connell, K.E.B. (2012). Carbon debt and carbon sequestration parity in forest bioenergy production. *Glob. Change Biol. Bioenergy*, 4: 818-827. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2012.01173.x>. Zuletzt abgerufen: 18.08.2023.

Müller J., Bütler R. (2010). A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests. *European Journal of Forest Research* 129(6): 981-992.

Myllyviita, T., Soimakallio, S., Judl, J. et al. (2021). Wood substitution potential in greenhouse gas emission reduction-review on current state and application of displacement factors. *For. Ecosyst.* 8, 42 (2021). <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00326-8>. Zuletzt abgerufen: 18.08.2023.

Nagel, R., P. Meyer, M. Blaschke and E. Feldmann (2023). Strict forest protection: A meaningful contribution to Climate-Smart Forestry? An evaluation of temporal trends in the carbon balance of unmanaged forests in Germany. *Frontiers in Forests and Global Change* 6. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1099558>. Zuletzt abgerufen: 18.08.2023.

Pelz, S. (2020). Holz: Eine tragende Säule der Energiewende. Interview in Bioökonomie BW, geführt von Gunther Willinger. BIOPRO Baden-Württemberg GmbH. Online abrufbar unter: <https://www.biooekonomie-bw.de/fachbeitrag/aktuell/Neue-Perspektiven-f%C3%BCr-die-Bioenergie/holz-eine-tragende-saeule-der-energiewende>. Zuletzt abgerufen: 18.08.2023.

Polley, H., Hennig, P. und Schwitzgebel, F. (2005). Holzvorrat, Holzzuwachs und Holznutzung – Ergebnisse der zweiten Bundeswaldinventur. *AFZ-DerWald* 3/2005.

Raven, P. et. al. (2021): Letter Regarding Use of Forests for Bioenergy. Letter to To President Biden, President von der Leyen, President Michel, Prime Minister Suga, and President Moon. <https://www.dropbox.com/s/hdmmcnd0d1d2lq5/Scientist%20Letter%20to%20Biden%2C%20von%20der%20Leyen%2C%20Michel%2C%20Suga%20%26%20Moon%20%20Re.%20Forest%20Biomass%20%28February%2011%2C%202021%29.pdf?dl=0>

Rock, J. (2013). Holznutzung und Klimaschutz: Klimaschutz- versus Biodiversitätsziele? In: Hennenberg, K.; Marggraff, V.; Luick, R.; Stein, S. (Hrsg.) (2013): Biodiversitätsziele bei der energetischen Waldholznutzung als Beitrag zur Nachhaltigkeit. *BfN-Skripten* 330, S. 94-105.

Sathre, R., & O'Connor, J. (2013). A synthesis of research on wood products and greenhouse gas impacts. desLibris. Vancouver.

Scherzinger, W. (2005). "III-2.6 Mosaik-Zyklus-Konzept." In Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung, edited by O. Fränzle, F. Müller and W. Schröder, 3-13. Landsberg am Lech: Ecomed Biowissenschaften.

Schulze, E. D., Rock, J., Kroiher, F., Egenolf, V., Wellbrock, N., Irslinger, R., Bolte, A. & Spellmann, H. (2021a). Klimaschutz mit Wald: Speicherung von Kohlenstoff im Ökosystem und Substitution fossiler Brennstoffe. *Biologie in unserer Zeit*, 51(1), 46-54.

Schulze, E.-D., Sierra, C., Egenolf, V., Woerdehoff, R., Irsinger, R., Baldamus, C., Stupak, I. and Spellmann, H. (2021b). Forest management contributes to climate mitigation by reducing fossil fuel consumption: A response to the letter by Welle et al. *GCB Bioenergy*, 13: 288-290. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12754>. Zuletzt abgerufen: 18.08.2023.

Schulze, E.-D., Sierra, C., Egenolf, V., Woerdehoff, R., Irsinger, R., Baldamus, C., Stupak, I. and Spellmann, H. (2020). Response to the letters by Kun et al. and Booth et al.. *GCB Bioenergy*, 12: 1038-1043. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12724>. Zuletzt abgerufen: 18.08.2023.

Spathelf, P., Ammer, C., Annighöfer, P., Bolte, A., Seifert, T. & Weimar, H. et al. (2022). Fakten zum Thema: Wälder und Holznutzung. *AFZ, der Wald: allgemeine Forstzeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge* 77, 39–44.

SRU, Sachverständigenrat für Umweltfragen (2020). Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa. Umweltgutachten 2020. ISBN 978-3-947370-16-0. 560 Seiten. [https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01\\_Umweltgutachten/2016\\_2020/2020\\_Umweltgutachten\\_Entschlossene\\_Umweltpolitik.pdf](https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_2020/2020_Umweltgutachten_Entschlossene_Umweltpolitik.pdf). Zuletzt abgerufen: 18.08.2023.

Stutz, K. P., Kaiser, K., Wambsganss, J., Santos, F., Berhe, A. A. & Lang, F. (2019). "Lignin from white-rotted European beech deadwood and soil functions." *Biogeochemistry* 145 (1/2):81-105.

UBA. (2017). Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger - Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt

UBA (2022): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2021. *Climate Change* 50/2022. Hrsg: Umweltbundesamt. ISSN 1862-4359. 170 Seiten.

Van Tuyl, S., Law, B. E., Turner, D. P., & Gitelman, A. I. (2005). Variability in net primary production and carbon storage in biomass across Oregon forests—an assessment integrating data from forest inventories, intensive sites, and remote sensing. *Forest Ecology and Management*, 209(3), 273-291.

Wambsganss, J., Stutz, K. P. & Lang, F. (2017). "European beech deadwood can increase soil organic carbon sequestration in forest topsoils." *Forest Ecology and Management* 405:200-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.08.053>.

WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) Beese, F., Fraedrich, K., Klemmer, P., Kokott, J., Kruse-Graumann, L., Neumann, C., Renn, O., Schellnhuber, H. J., Schulze, E. D., Tilzer, M., Verlsinger, P., Zimmermann, H. (1998). Die Anrechnung biologischer Quellen und Senken im Kyoto Protokoll: Fortschritt oder Rückschritt für den globalen Umweltschutz? Sondergutachten 1998. Bremerhaven: Alfred-Wegener-Institut.



Forstliche Versuchs-  
und Forschungsanstalt  
Baden-Württemberg

Online abrufbar unter:

[https://www.wbgu.de/fileadmin/user\\_upload/wbgu/publikationen/sondergutachten/sg1998/pdf/wbgu\\_sn\\_1998.pdf](https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu/publikationen/sondergutachten/sg1998/pdf/wbgu_sn_1998.pdf). Zuletzt abgerufen: 18.08.2023.



## Kontakt

Christian Vonderach

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

Abteilung Biometrie und Informatik

Telefon: +49 (761) 4018-208

E-Mail: [Christian.Vonderach@forst.bwl.de](mailto:Christian.Vonderach@forst.bwl.de)

Philipp Eisnecker, Abt. Biometrie und Informatik, [Philipp.Eisnecker@forst.bwl.de](mailto:Philipp.Eisnecker@forst.bwl.de)

Peter Hartmann, Abt. Boden und Umwelt, [Peter.Hartmann@forst.bwl.de](mailto:Peter.Hartmann@forst.bwl.de)

Hans-Gerhard Michiels, Abt. Waldnaturschutz, [Hans-Gerhard.Michiels@forst.bwl.de](mailto:Hans-Gerhard.Michiels@forst.bwl.de)

Mattias Rupp, Abt. Waldnaturschutz, [Mattias.Rupp@forst.bwl.de](mailto:Mattias.Rupp@forst.bwl.de)

Elisabeth Schüler, Abt. Waldnaturschutz, [Elisabeth.Schueler@forst.bwl.de](mailto:Elisabeth.Schueler@forst.bwl.de)

Lucia Seebach, Abt. Waldnaturschutz, [Lucia.Seebach@forst.bwl.de](mailto:Lucia.Seebach@forst.bwl.de)

Anne Wevell von Krüger, Abt. Waldnaturschutz, [Anne.WevellvonKrueger@forst.bwl.de](mailto:Anne.WevellvonKrueger@forst.bwl.de)

Katarzyna Zielewska-Büttner, Abt. Waldnaturschutz, [Katarzyna.Zielewska-Buettner@forst.bwl.de](mailto:Katarzyna.Zielewska-Buettner@forst.bwl.de)

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-  
Württemberg  
Wonnhaldestraße 4  
79100 Freiburg

