



Klimaschutz mit Wald

Eine Analyse und Quantifizierung der Klimawirkungen
nachhaltiger Waldwirtschaft

Roland Irslinger

Agenda

- **Welchen Waldbau wollen wir?**
- **Holz aus nachhaltiger Waldwirtschaft ist CO₂-neutral!**
- **Wald als Senke - Speicher - Quelle**
- **Was passiert mit dem geernteten Holz?**
- **Holz substituiert fossile Energie!**
- **Klimaschutzleistung des Waldes in Deutschland**
- **Einschlagstopp ist kein Klimaschutz!**
- **Antworten auf häufig gestellte Fragen**

Besser für's Klima - Waldwildnis oder Wirtschaftswald?



Naturnaher Waldbaubetrieb
Lensahn, Schleswig Holstein

Zerfallsphase
im Naturschutzwald
Nutzungsverzicht seit 150 Jahren
Heilige Hallen, Mecklenburg



Agenda

Irreführende Aussagen über die Holzverbrennung

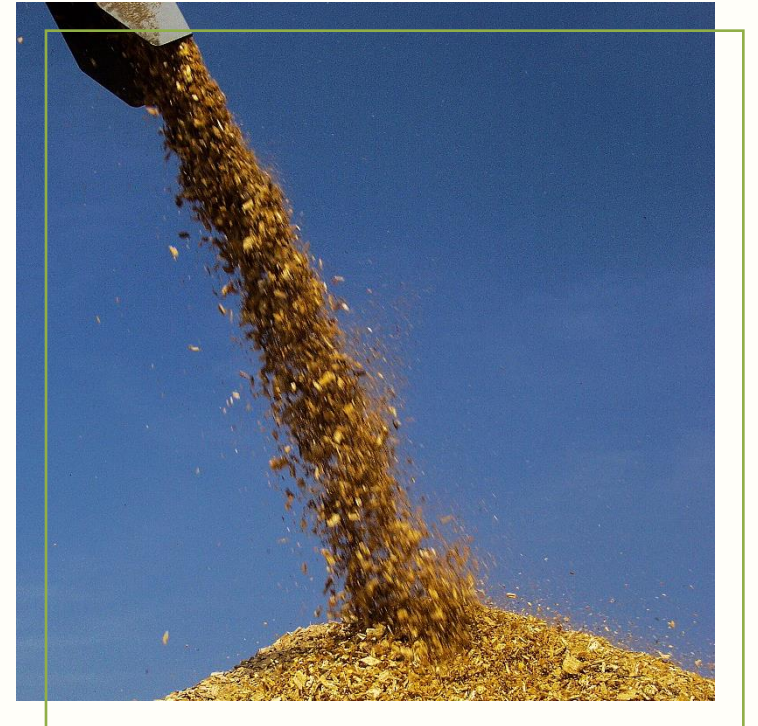
- Holzverbrennung sei nicht klimaneutral
- Holznutzung generiere eine Kohlenstoffschuld
- C-Speicherung im Wald schütze das Klima besser
- Holz sei so schlimm wie Braunkohle
- Es gäbe zu wenig Brennholz



Holz aus nachhaltiger Waldwirtschaft ist CO₂-neutral *

Bei konstant hohem Holzvorrat ist Holz ein klimaneutraler Brennstoff, nicht, weil es beim Verbrennen dieselbe Menge an CO₂ freisetzt, die es zum Wachstum benötigt hat, sondern weil die Menge an CO₂, die beim Verbrennen freigesetzt wird, bei nachhaltiger Waldwirtschaft unmittelbar wieder gebunden ist.

Wald liefert keinen Sauerstoff!

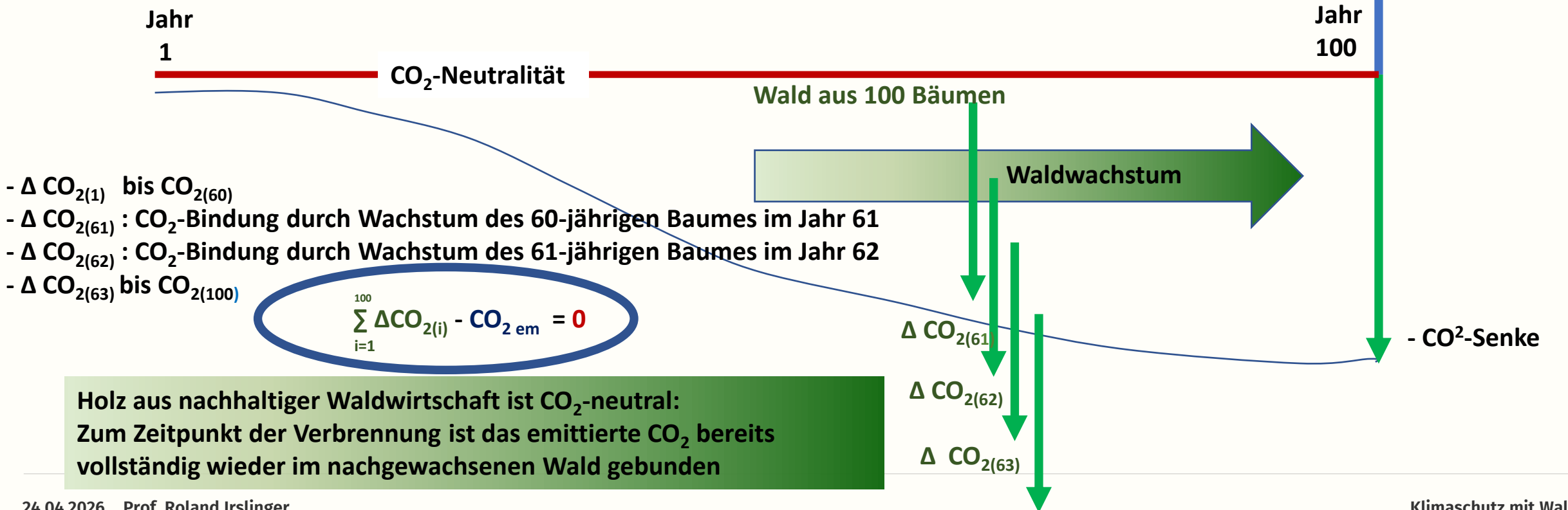


* abzgl. fossiler Aufwendung der Bereitstellung

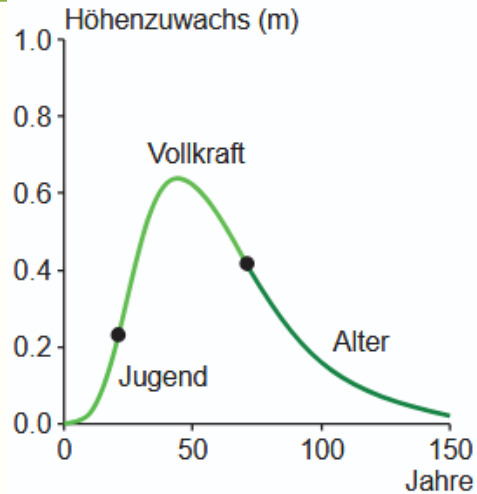
Nachhaltige Waldwirtschaft generiert keine Kohlenstoffschuld!

Jahr 100: Wald aus 100 Bäumen, der älteste ist 100 Jahre alt, der jüngste 1 Jahr. Der 100-jährige wird gefällt und drei Jahre später verbrannt.

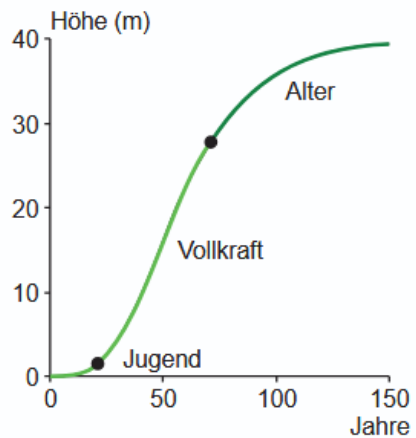
Jahr 101: der 99-jährige Baum ist weitergewachsen und jetzt 100 Jahre alt, ein junger Baum hat gekeimt und ist jetzt 1 Jahr alt. Der Wald besteht wie ein Jahr zuvor aus 100 Bäumen, der älteste ist 100 Jahre alt, der jüngste 1 Jahr, usw.



Holz aus nachhaltiger Waldwirtschaft ist CO₂-neutral *



(a)



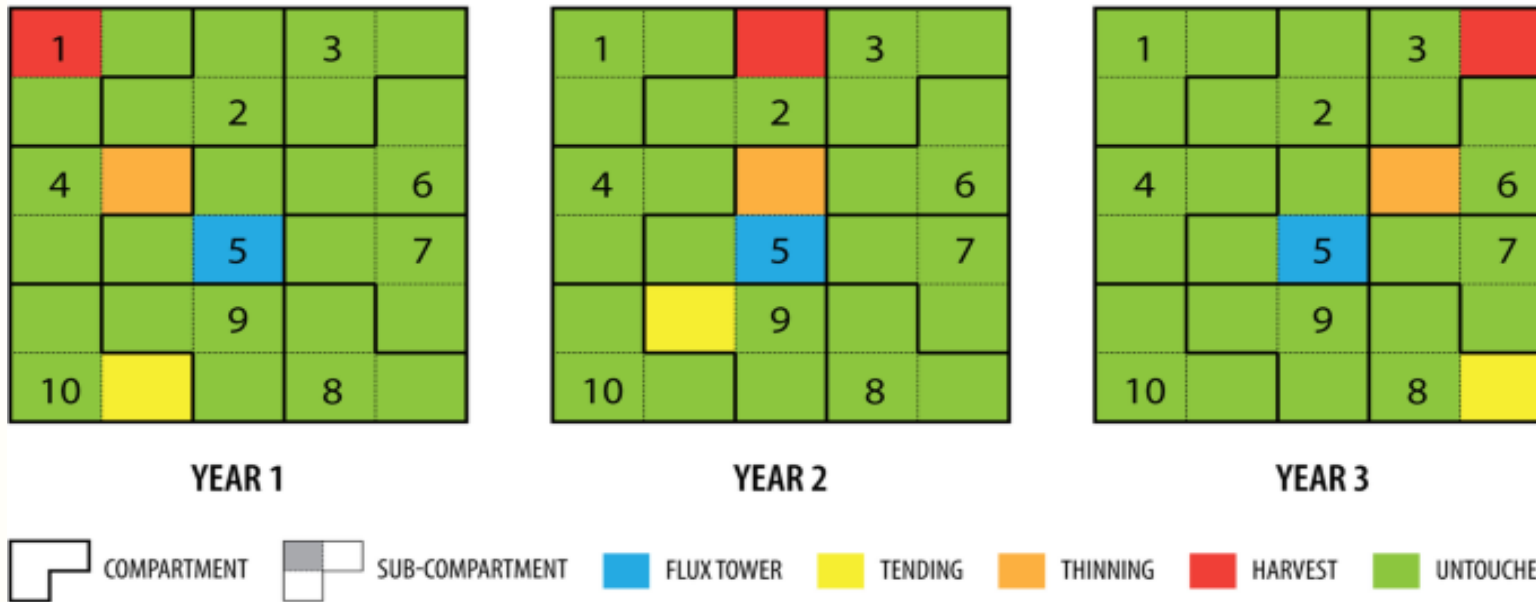
Nachhaltige Waldwirtschaft regelt die Konkurrenz zwischen den Bäumen

Bewirtschaftete Wälder haben einen höheren Zuwachs als unbewirtschaftete

* abzgl. fossiler Aufwendung der Bereitstellung

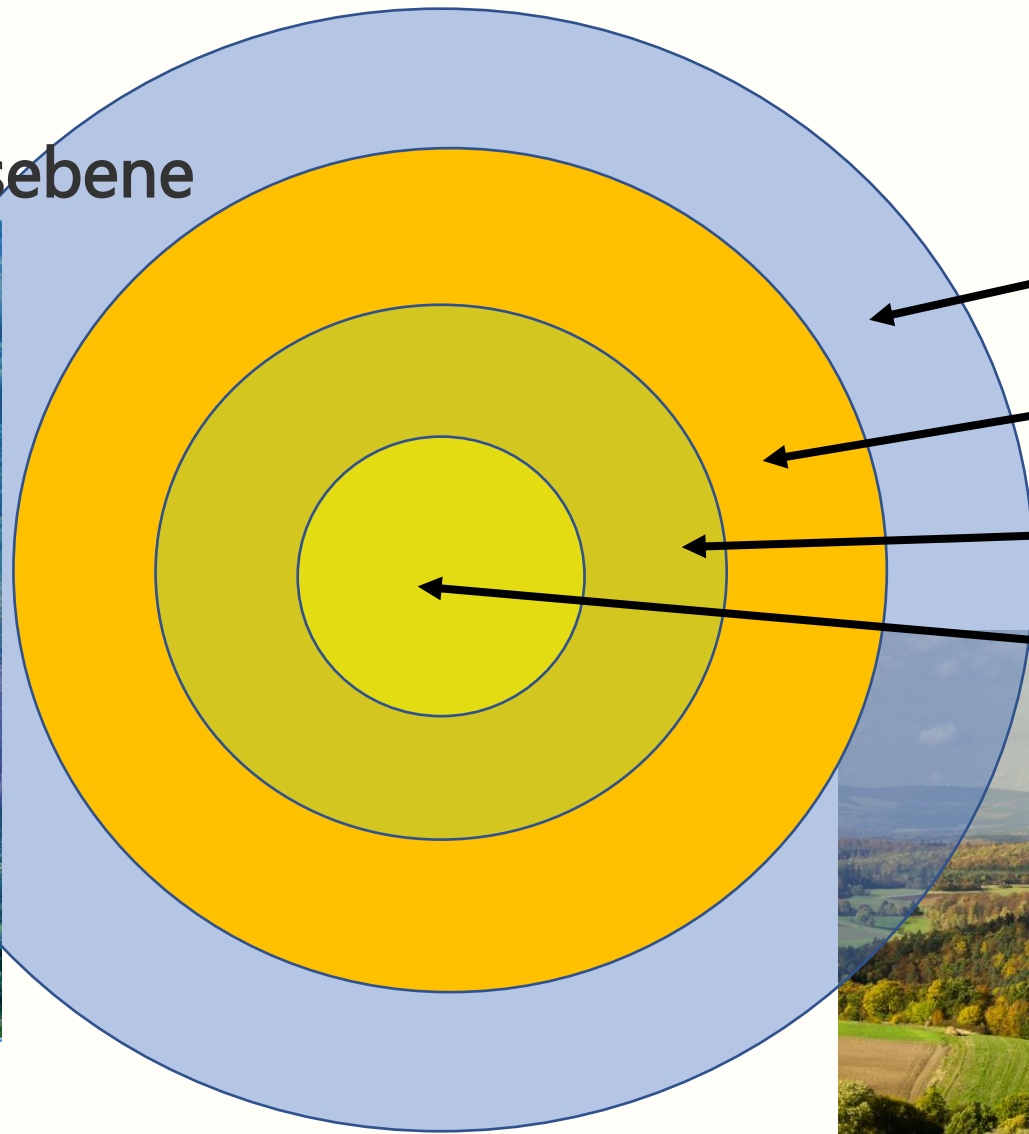
Holz aus nachhaltiger Waldwirtschaft ist CO₂-neutral

Waldlandschaft



**Bei nachhaltiger Waldwirtschaft wird Zeit durch Raum ersetzt:
Eine Waldlandschaft ist in 10 Flächen untergliedert, jede Fläche besteht aus 3 Teilflächen.
Nach einem 10-Jahres-Plan wird jede Teilfläche einmal in 10 Jahren beerntet und das
Äquivalent an Holz exportiert, das auf der verbleibenden unberührten Fläche nachwächst.
Quelle: Schulze et al. 2022**

Wahl der Bezugsebene

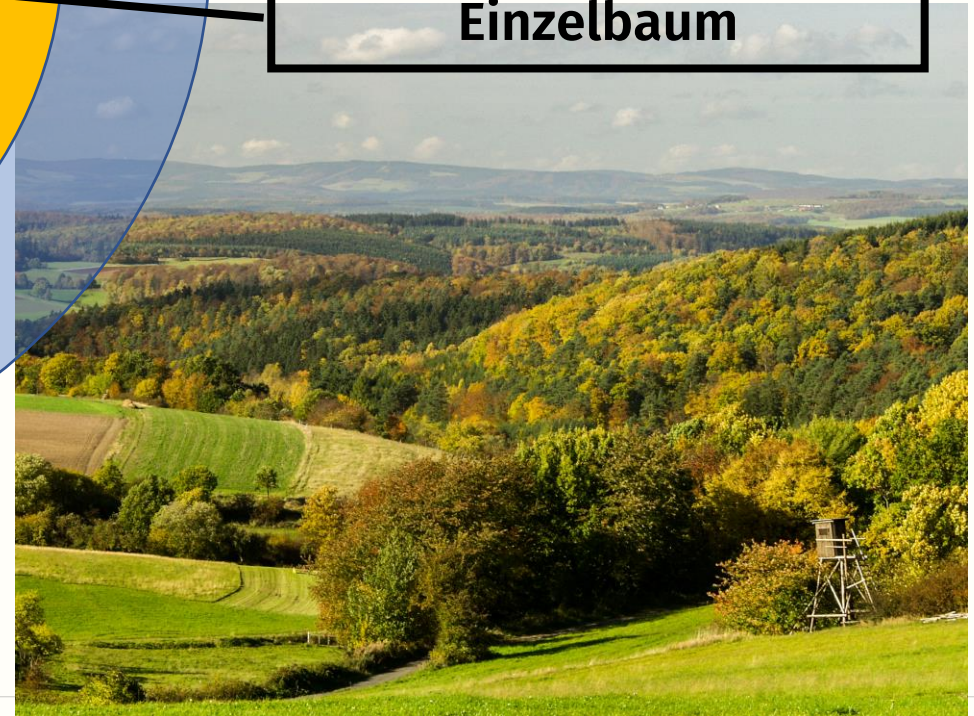


Nationale Ebene

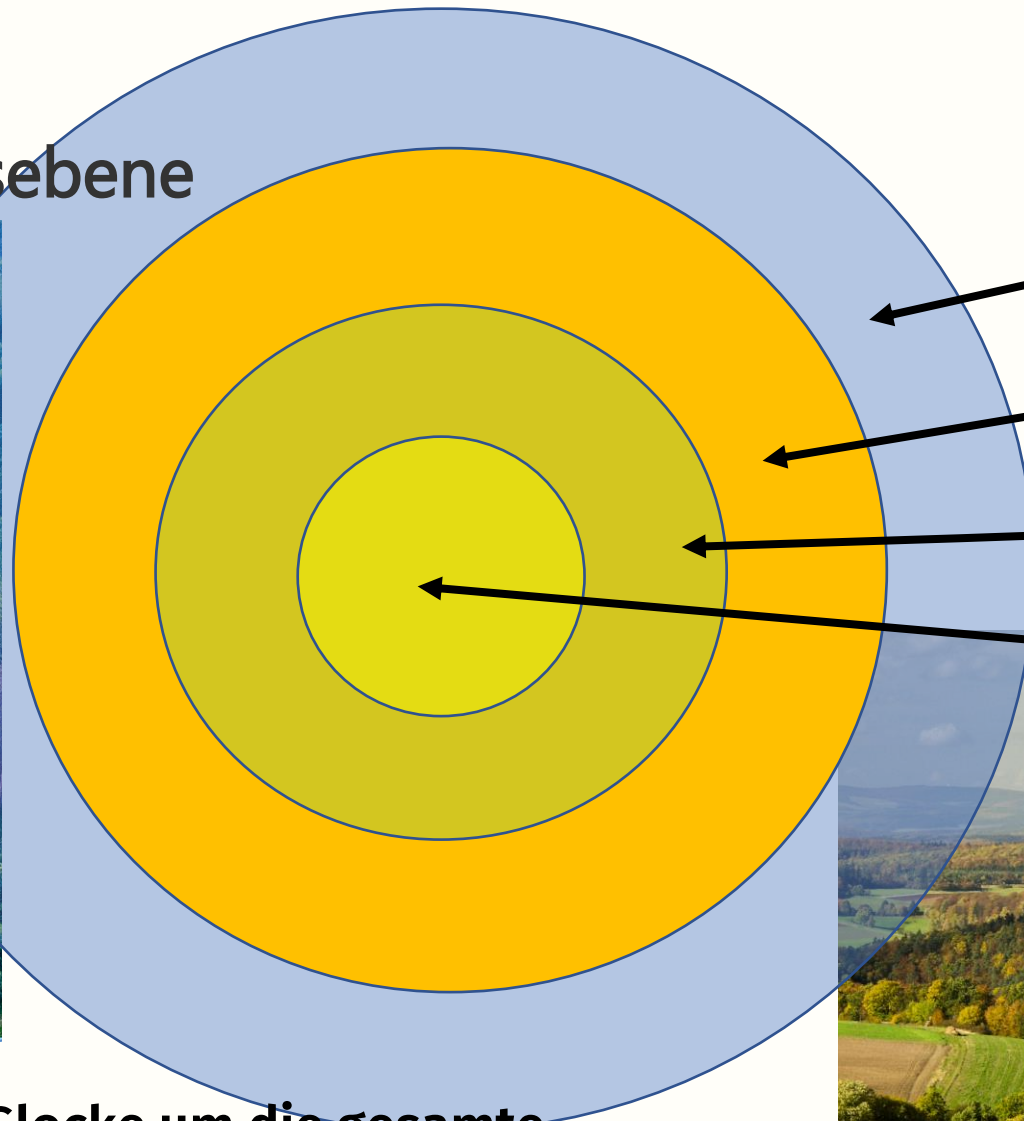
Landschaftsebene / Betrieb

Waldbestand

Einzelbaum



Wahl der Bezugsebene



Nationale Ebene

Landschaftsebene / Betrieb

~~Waldbestand~~

~~Einzelbaum~~



CO₂ legt sich wie eine Glocke um die gesamte Erdatmosphäre
(Zitat Mojib Latif, Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

Die Energiedichte des Holzes ist unerheblich

Spezifische Emission (Kg CO₂/kWh)

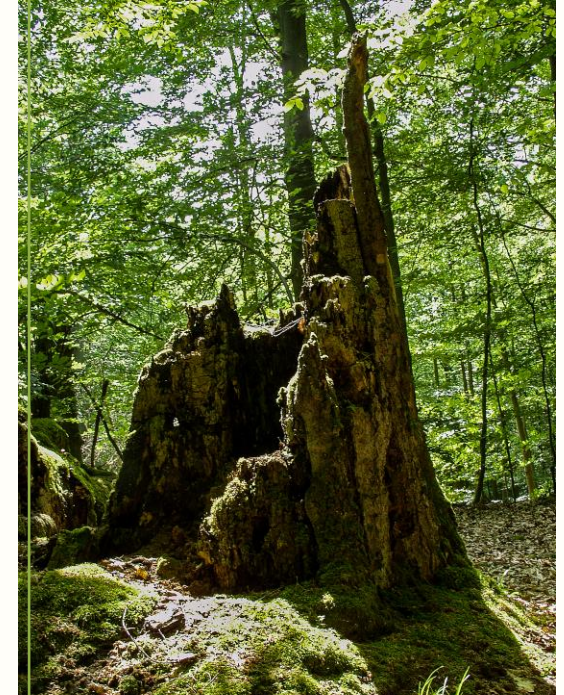
Erdgas 0,20

Braunkohle 0,35

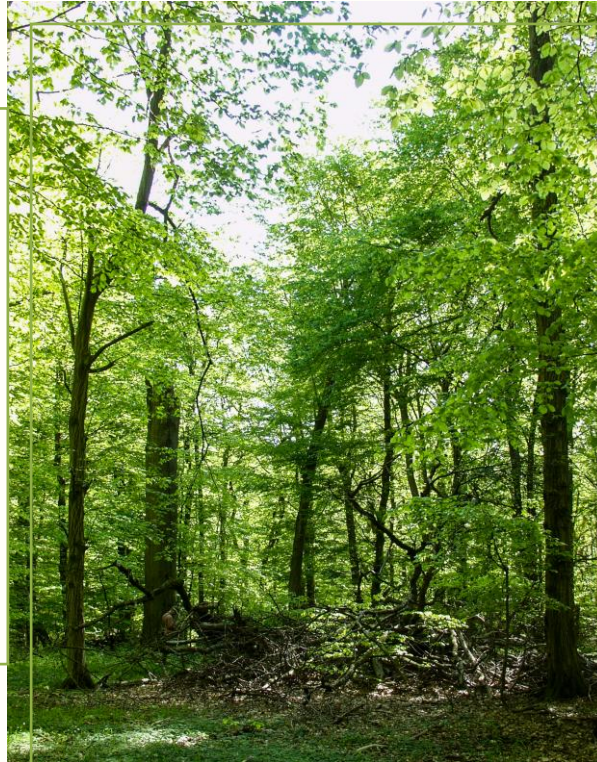
Holz 0,35

CO₂

Die geringe Energiedichte des Holzes ist unerheblich,
Holz ist nicht die neue Braunkohle,
weil Holz Teil des globalen
biosphärisch-atmosphärischen C-Kreislaufs ist!



Verbrennung versus Verrottung



Waldrestholz setzt durch Verrottung die gleiche Menge an CO₂ im selben Zeitraum frei wie beim Verbrennen

Buchenstammholz (30 cm Ø) ist in 6 Jahren zu 50% verrottet, dünneres Waldrestholz noch viel schneller (Edelmann et al. 2023)



Senke
Flussgröße



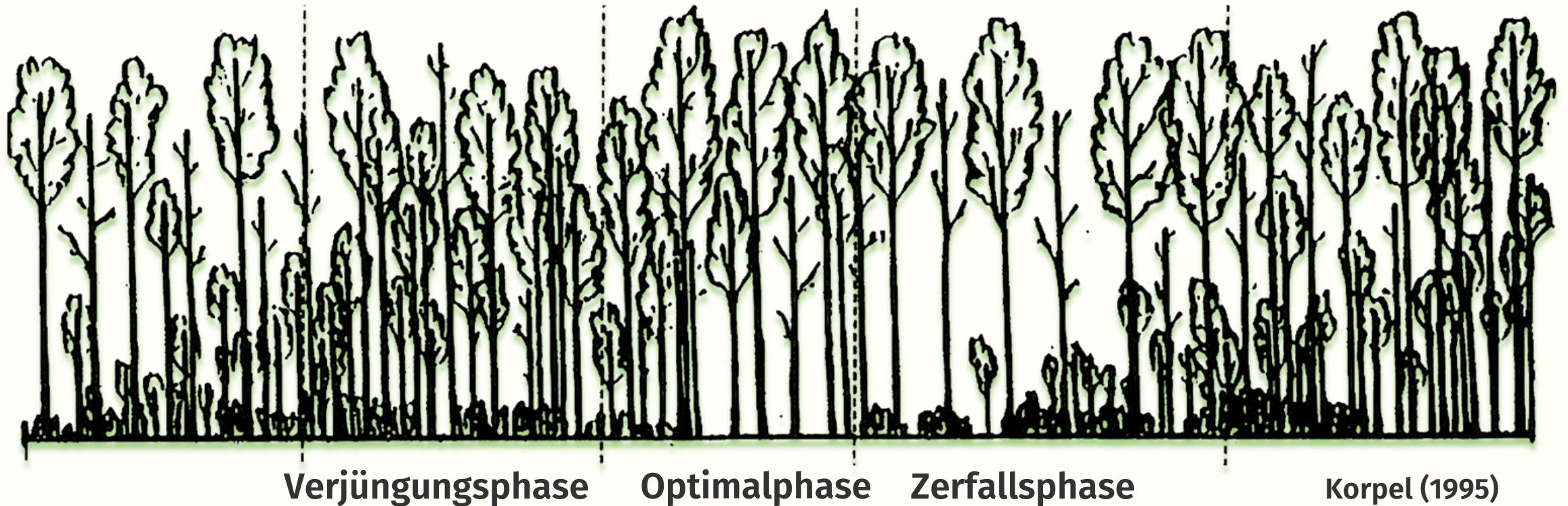
Speicher
Zustandsgröße



Quelle
Flussgröße

Senke - Speicher – Quelle im Buchen-Primärwald

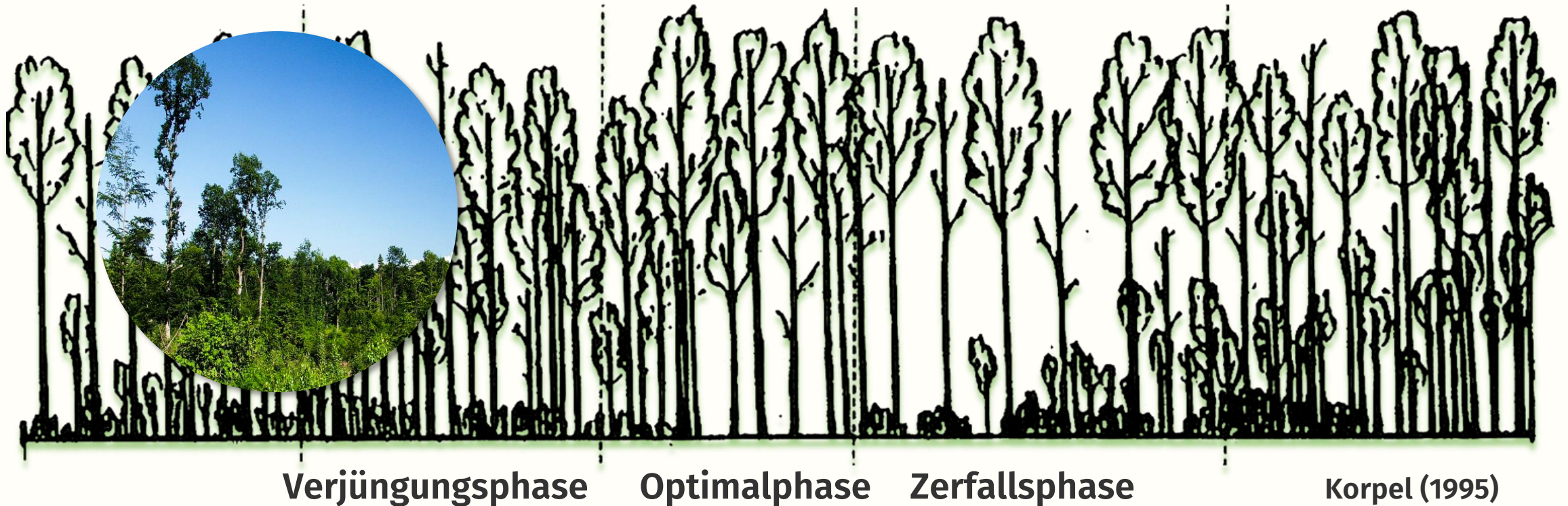
230 Jahre



Senke - Speicher – Quelle im Buchen-Primärwald

230 Jahre

Senke:
Speicher wird größer

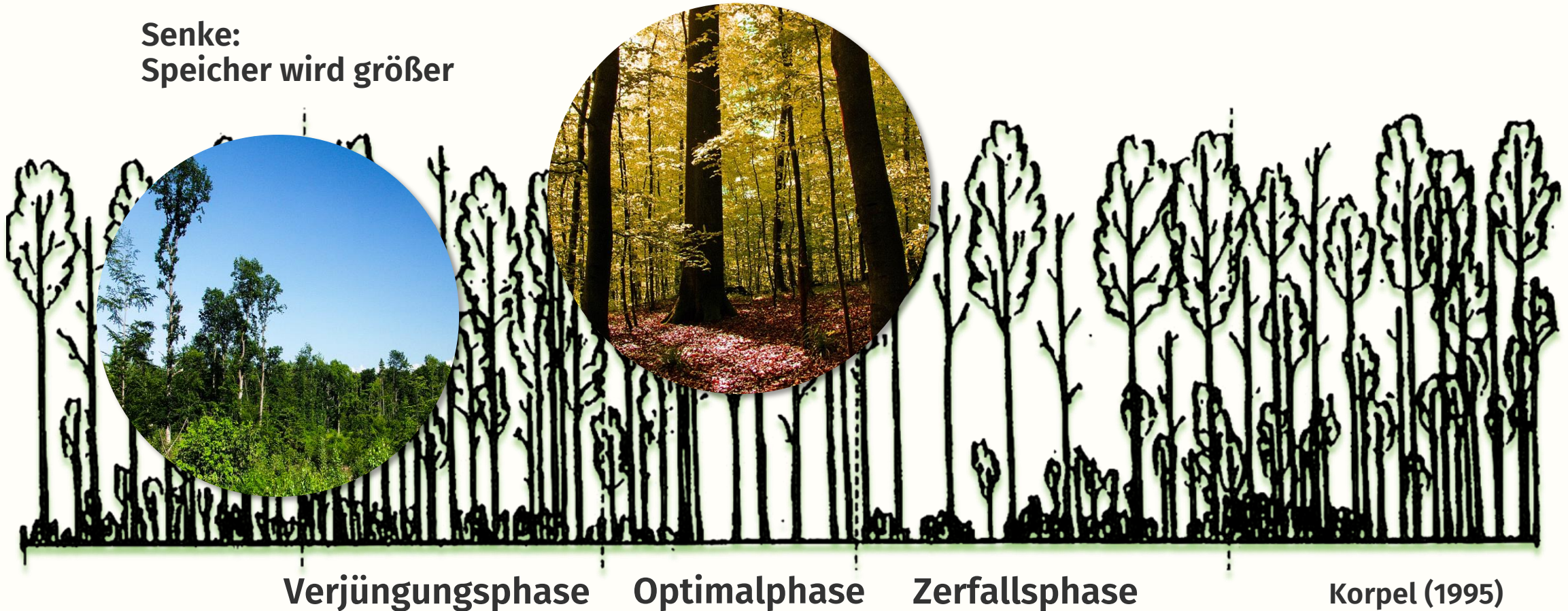


Senke - Speicher – Quelle im Buchen-Primärwald

Speicher: maximaler Holzvorrat

230 Jahre

Senke:
Speicher wird größer



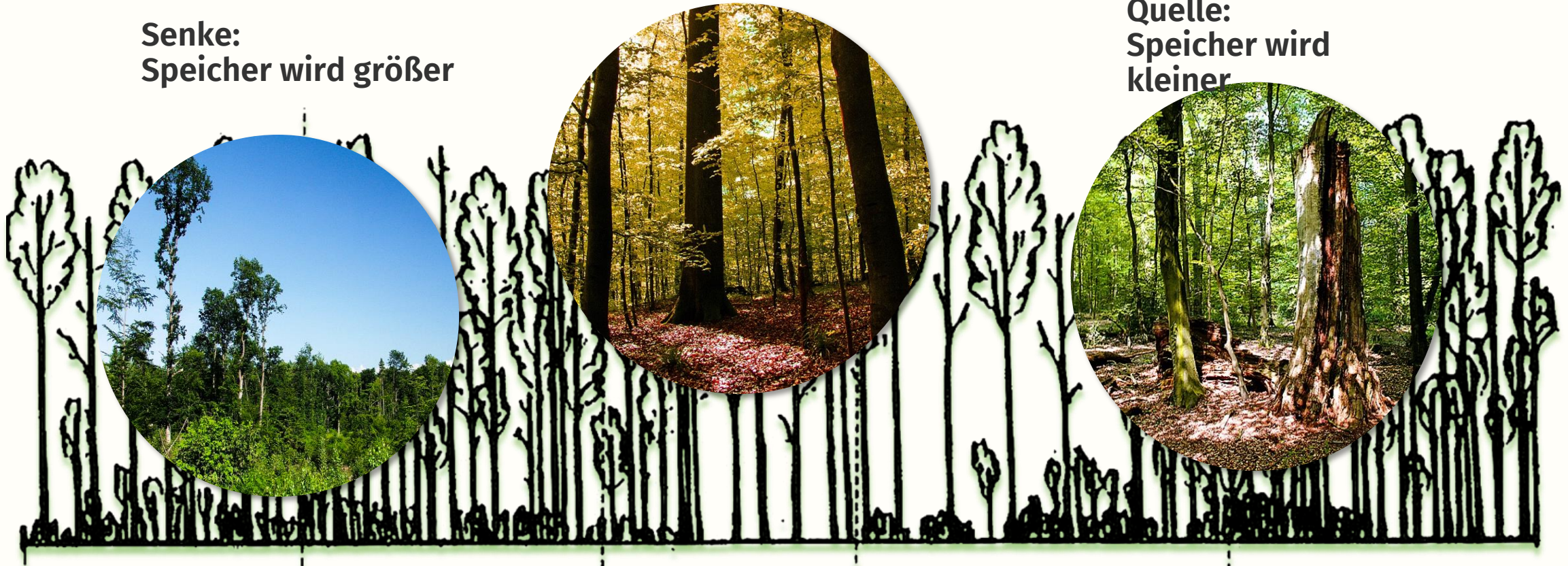
Senke - Speicher – Quelle im Buchen-Primärwald

Speicher: maximaler Holzvorrat

230 Jahre

Senke:
Speicher wird größer

Quelle:
Speicher wird
kleiner



Verjüngungsphase

Optimalphase

Zerfallsphase

Korpel (1995)

Waldspeicher im Buchen-Wirtschaftswald

230 Jahre

Speicher bleibt dauerhaft
auf gleicher Höhe

Speicher bleibt dauerhaft
auf gleicher Höhe

15 bis 20 Mio m³ Holz jährlicher
Verzicht auf Holznutzung

Holznutzung umfasst nur
14% des Stoffumsatzes

Verjüngungsphase

Optimalphase

[Zerfallsphase] → Totholz, Habitatbäume

Was passiert mit dem geernteten Holz?

Koppelprodukt Holz:
alle Sortimente fallen
gleichzeitig an!

30%

Waldrestholz
(Brennholz):
energetische
Verwertung

60%

Stoffliche Verwertung
(möglichst
hoher Anteil)

davon

50%

Verschnitt:
energetische Verwertung,
tlw. Weiterverwertung

10%

Ernterückstände:
Verrottung im Wald
→ Totholz

Daraus folgt

60%

Zeitnahe
energetische Verwertung
(Waldrestholz+
Verschnitt)

10%

Ernterückstände:
Verrottung im Wald
→ Totholz

30%

Stoffliche Verwertung,
dann energetische
Verwertung nach
1 – 2 Jahrzehnten

Koppelprodukt Holz:
alle Sortimente fallen
gleichzeitig an!

Abbauraten
(Halbwertszeiten)
von Totholz und
Produkten sind
ähnlich

Nicht-Derbholz
bleibt zusätzlich
im Wald →
Totholz

Das Ziel

Koppelprodukt Holz:
alle Sortimente fallen
gleichzeitig an!

90%

Energetische
Verwertung nach
Kaskadennutzung
(Waldrestholz+
Verschnitt+Altholz)

10%

Ernterückstände:
Verrottung im Wald
→ Totholz

Nicht-Derbholz
bleibt zusätzlich
im Wald →
Totholz

Substitution fossiler Energie durch Holznutzung



Stoffliche Substitution

1,2 - 2,1 tC/tC*

**Ersatz fossiler Energieträger
durch Holz bei der
Produktherstellung**

**1 m³ verbautes Holz enthält 0,25 t Kohlenstoff (C),
durch stoffliche Substitution werden 0,3 bis 0,5 t C
= 1,1 bis 1,9 t fossile CO₂-Emissionen vermieden.**

**Ein Holzfertighaus aus 30 m³ Holz vermeidet
33 bis 57 t fossile CO₂-Emissionen gegenüber
mineralischer Bauweise !**

* Vermeidung an fossilem C im Verhältnis zum C der eingesetzten Biomasse, abhängig vom jeweiligen Energiemix, fossile Aufwendungen sind eingerechnet

Substitution fossiler Energie durch Holznutzung



Energetische Substitution

0,67 tC/tC*

**Ersatz fossiler Energieträger durch
energetische Verwertung von Holz**

**1 Raummeter Brennholz enthält
0,18 t Kohlenstoff (C), durch energetische Substitution
werden 0,12 t C = 0,44 t fossile CO₂-Emissionen
vermieden gegenüber fossilen Brennstoffen !**

* Vermeidung an fossilem C im Verhältnis zum C der eingesetzten Biomasse, abhängig vom jeweiligen Energiemix, fossile Aufwendungen sind eingerechnet

Holz aus nachhaltiger Waldwirtschaft schont Ressourcen

1 kWh aus einer Wärmepumpe emittiert

- das 10-Fache an fossilem CO₂
 - das 10-Fache an Methan (CH₄; GWP CO₂ X 28)
 - das 4-Fache an Lachgas (N₂O; GWP CO₂ X 273)
- (UBA 2022)

1 kWh aus Windenergie benötigt den

- 200-fachen Ressourceneinsatz (Stahl, Beton)

im Vergleich zu 1 kWh Energie aus Holz!



Nichts heizt sauberer als Holzpellets

<https://www.das-marburger.de/2023/10/09/nichts-heizt-sauberer-als-holzpellets-bauen-und-heizen-mit-holz-sind-keine-gegensaeetze/>



Substitution fossiler Energie durch Holznutzung



Stoffliche Substitution

Ersatz fossiler Energieträger durch Holz bei der Produktherstellung

1,50 tC/tC



Energetische Substitution

Ersatz fossiler Energieträger durch energetische Verwertung von Holz

0,67 tC/tC

Summe

Substitution bei energetischer Nutzung nach einmaliger stofflicher Nutzung (Kaskadennutzung)

2,17 tC/tC

Substitution fossiler Energie durch Holznutzung



Stoffliche Substitution

30% der Holzernte ($0,917 \cdot 0,3 \cdot 1,5$)

0,413 tCO₂/m³



Energetische Substitution

90% der Holzernte ($0,917 \cdot 0,9 \cdot 0,67$)

0,553 tCO₂/m³

Substitution durch Holznutzung insgesamt

0,966 tCO₂/m³

Bindung durch Waldwachstum

0,917 tCO₂/m³

Bilanzierung der Klimaschutzwirkung von Wald



Waldspeicher inkl. Boden

0,25 tC/m³



Holzproduktspeicher

0,25 tC/m³



Stoffliche Substitution

1,5 tC/tC*



Energetische Substitution

0,67 tC/tC*

* Einsparung an fossilem C im Verhältnis zum C der Biomasse, abhängig vom jeweiligen Energiemix

Jährliche Klimaschutzwirkung des Waldes in Deutschland*



Veränderung des Waldspeichers

- 44 vs. 15 Mio. m³ Derbholz

2018 - 2022

- 40 Mio. t CO₂-eq

Szenario

14 Mio. t CO₂-eq

Zunahme des Holzproduktspeichers

5 vs. 3 Mio. m³ Derbholz

5 Mio. t CO₂-eq

3 Mio. t CO₂-eq

Stoffliche Substitution

72 vs. 75 Mio. m³ geerntetes Derbholz * 0,413 t CO₂/m³

30 Mio. t CO₂-eq

31 Mio. t CO₂-eq

Energetische Substitution bei 75 Mio. m³

72 vs. 75 Mio. m³ geerntetes Derbholz * 0,553 t CO₂/m³

40 Mio. t CO₂-eq

42 Mio. t CO₂-eq

Speicherung im Waldboden

30 Mio. t CO₂-eq

30 Mio. t CO₂-eq

Summe

Wald kein Klimakiller!

65 Mio. t CO₂-eq

120 Mio. t CO₂-eq

Jährlicher Zuwachs: **100** Mio. m³ (2018-2022) vs. 90 Mio m³ (Szenario), davon **- 44** Mio m³ Vorratsrückgang (2018-2022) vs. 15 Mio. m³ Vorraterhöhung (Szenario).

Einschlagstopp ist kein Klimaschutz

Bewirtschafteter Wald

Naturschutzwald

Einschlagstopp

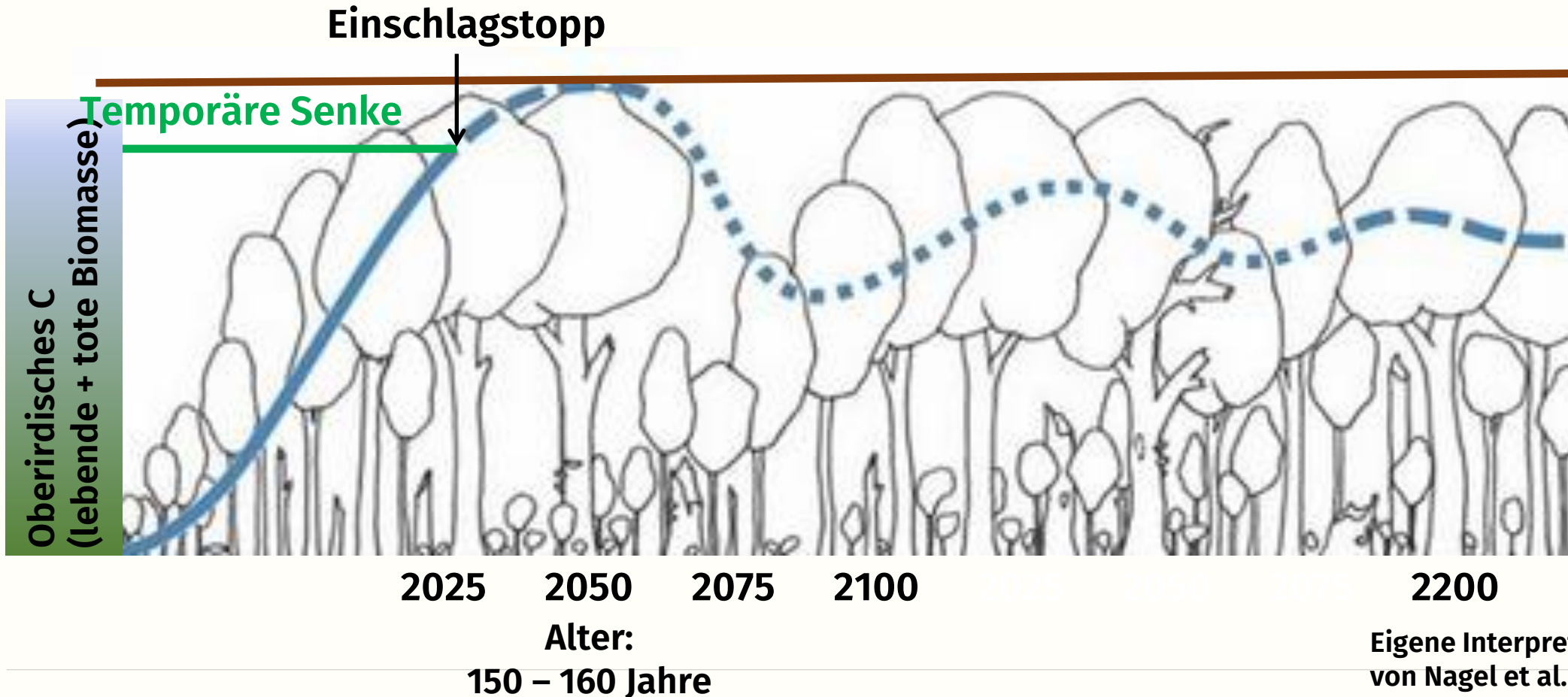


Nagel et al. 2023

Einschlagstopp ist kein Klimaschutz

Bewirtschafteter Wald

Naturschutzwald

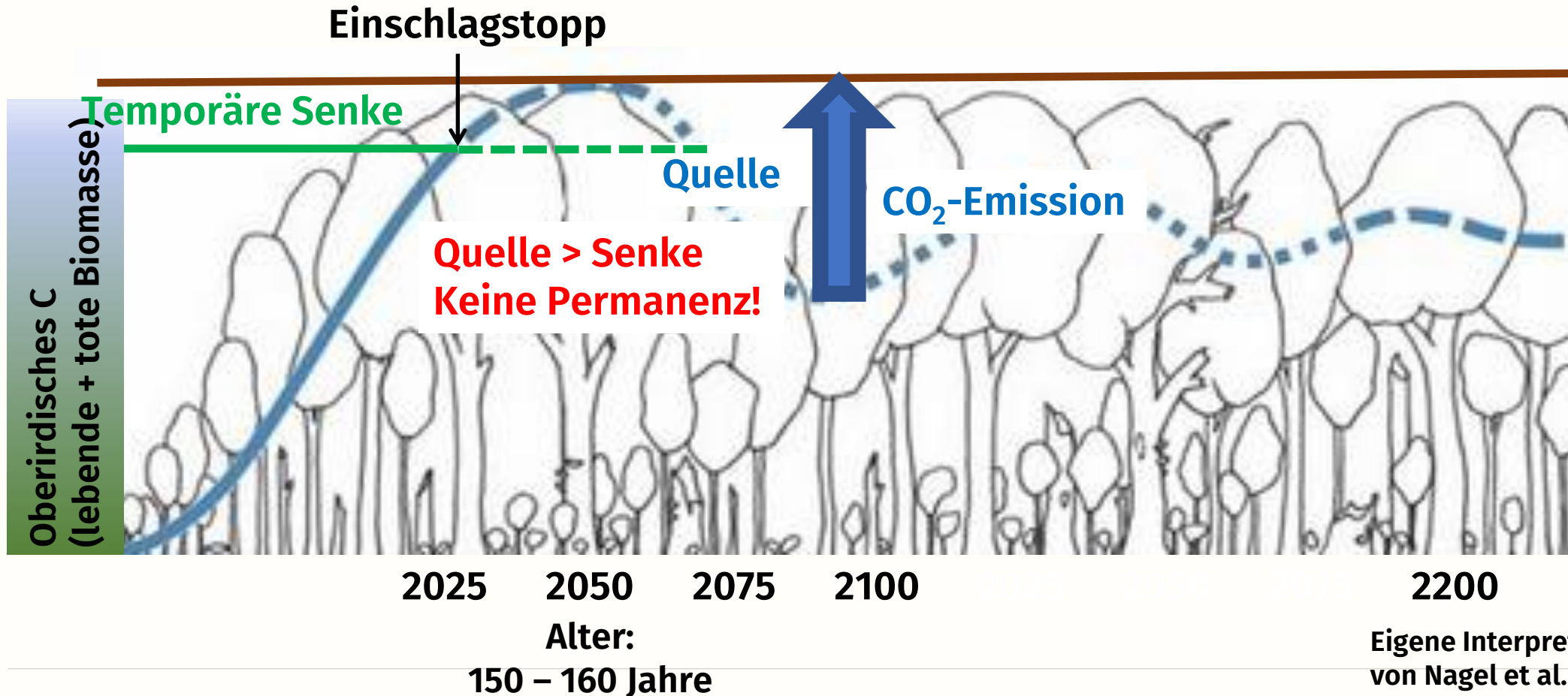


Eigene Interpretation auf der Basis
von Nagel et al. 2023

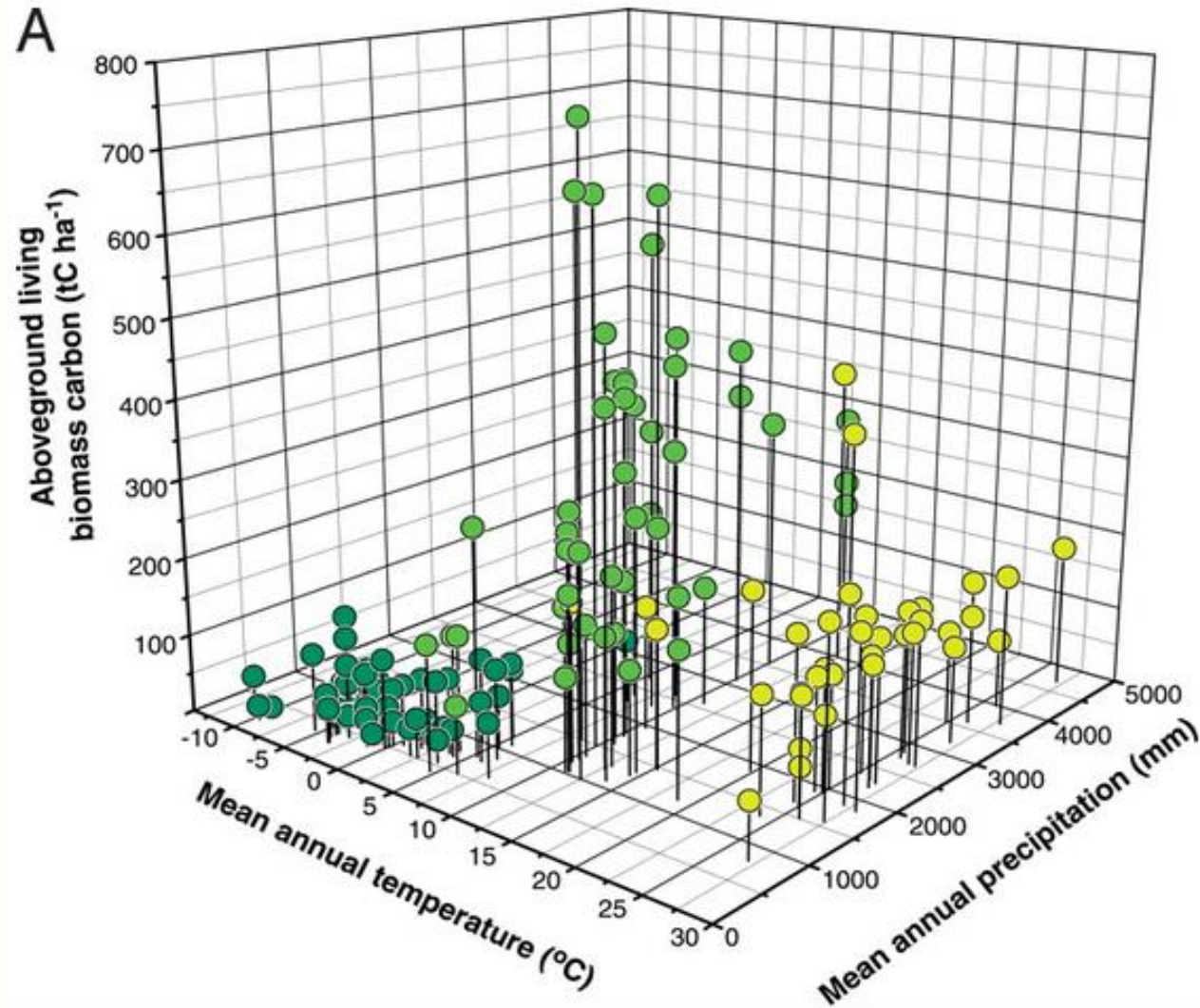
Einschlagstopp ist kein Klimaschutz

Bewirtschafteter Wald

Naturschutzwald



Eigene Interpretation auf der Basis von Nagel et al. 2023



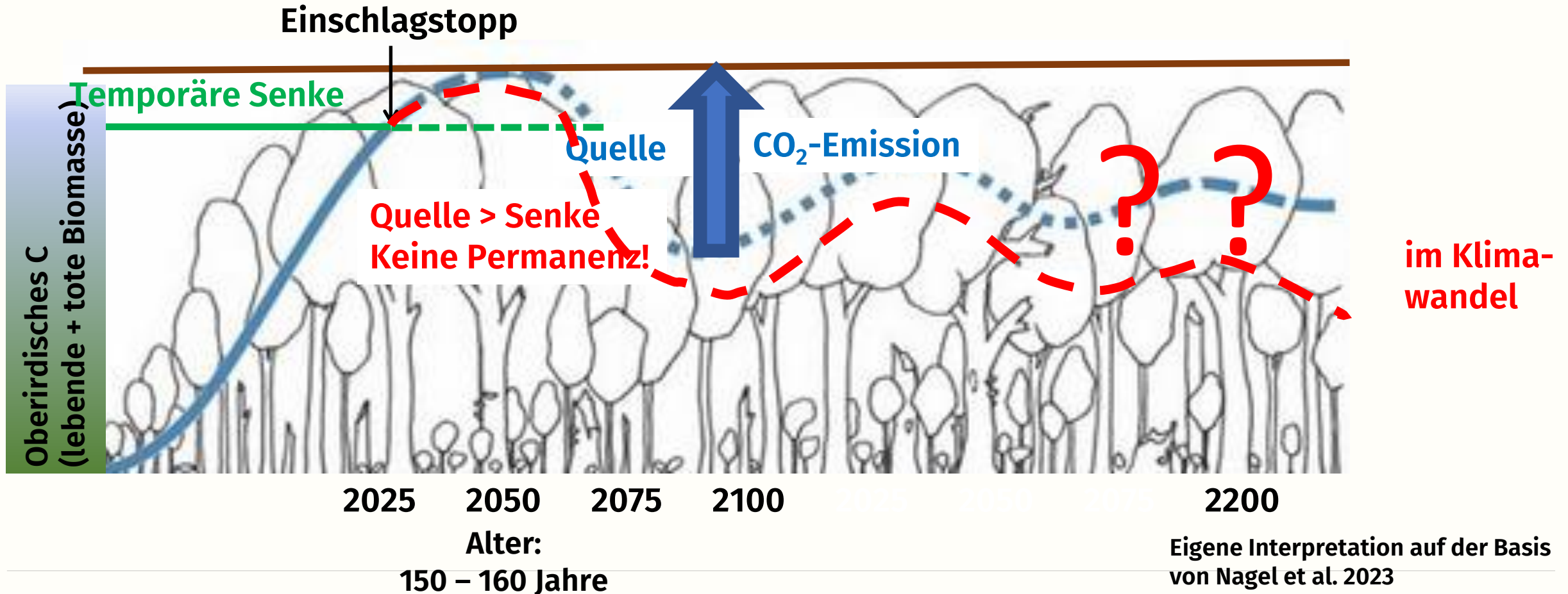
Oberirdische lebende Biomasse von Primärwäldern in Abhängigkeit von mittlerer Jahrestemperatur und mittlerem Jahresniederschlag (aus KEITH et al. 2009).

Einschlagstopp ist kein Klimaschutz

Bewirtschafteter Wald

Naturschutzwald

Greenwashing



Agenda

Argumente für das Heizen mit Holz

- Holzverbrennung ist klimaneutral
 - Holznutzung generiert keine Kohlenstoffschuld
 - Speicherung im Wald schadet dem Klima
 - CO₂ aus Holzverbrennung im geschlossenen Kreislauf
 - Es gibt genügend Brennholz

Die CO₂-Neutralität von Holz ist eine systemimmanente Eigenschaft nachhaltiger Waldwirtschaft!



Antworten auf häufig gestellte Fragen

- 1. Die Ursachen für die Verringerung der im Wald gespeicherten Menge an Kohlenstoff in den letzten Jahren sind in erster Linie der Klimawandel und die Überalterung unserer Wälder.**
- 2. Der Wald muss verjüngt werden, damit die nächste Waldgeneration rechtzeitig gesichert ist; das dabei entnommene Holz wird z.T. stofflich, zu einem anderen Teil energetisch genutzt.**
- 3. Versäumt man den richtigen Verjüngungszeitpunkt, kommt es zu altersbedingtem Absterben von Bäumen durch Hitze, Trockenheit, Pilze und Borkenkäfer, auch bei den Laubbaumarten.**
- 4. Jede Landschaft besitzt eine durch das Klima vorgegebene maximale Kohlenstofftragfähigkeit (Holzvorrat). Dieser oberen Grenze sind wir in Mitteleuropa sehr nahe, durch den Klimawandel wird die maximale Kohlenstofftragfähigkeit sinken. Dagegen könnte der verstärkte Anbau von Douglasien helfen.**
- 5. Eine rechtzeitige Verjüngung des Waldes ist auch aus Gründen des Klimaschutzes sinnvoll, weil der Wald mit zunehmendem Alter immer weniger Kohlendioxid bindet, d.h. mit zunehmendem Alter tendiert die Waldsenke gegen null. Der nachfolgende junge Wald nimmt dauerhaft mehr Kohlenstoff auf als der vorausgegangene alte Bestand.**

Antworten auf häufig gestellte Fragen

- 6. Waldbestände müssen durch Jungbestandspflege und Durchforstung gepflegt werden, um die Konkurrenz zwischen den Bäumen zu regeln. Dadurch wird der verbleibende Waldbestand stabilisiert, weil pro Baum mehr Licht, mehr Wasser und mehr Nährstoffe zur Verfügung stehen.**
- 7. Bäume aus gepflegten Waldbeständen haben größere Dimensionen und bessere Qualitäten, sie können damit zu einem höheren Anteil stofflich verwertet werden, was Vorteile für den Klimaschutz hat. Die optimale Bestandesdichte muss vom Förster vor Ort jeweils neu abgeschätzt werden.**
- 8. Bei Jungbestandspflege und Durchforstung fällt dünnes Waldrestholz an, das sinnvollerweise zu einem großen Teil energetisch genutzt wird.**
- 9. Dadurch kann ein hoher Zuwachs gesichert werden, denn mit zunehmender Bestandesdichte geht der Zuwachs und damit die Waldsenke nach und nach zurück.**
- 10. Gepflegte Wälder sind effektivere Kohlenstoffsinken als ungepflegte Wälder.**
- 11. Der Wald ist Klimaschützer durch den Kohlenstoffspeicher Wald, die Holzprodukte und den Humus im Waldboden sowie durch die Substitutionseffekte bei der energetischen und stofflichen Nutzung des Holzes.**

Antworten auf häufig gestellte Fragen

12. Pro Kubikmeter geernteten Holzes wird die Emission von rund einer Tonne an fossilem CO₂ vermieden, indem der stoffliche Anteil in Holzprodukte, z.B. Holzhäuser und Möbel, überführt wird. Resthölzer und Späne werden, z.B. in Form von Pellets, verbrannt. Diese Vermeidung ist permanent, also quasi auf ewig.

13. Wachsenlassen würde bedeuten, dass der Kohlenstoff nur vorübergehend im Wald gespeichert wird, bis der Wald durch Überalterung und Klimawandel abstirbt und zur Quelle wird. Dies wäre nicht nachhaltig, weil unsere Kinder und Enkel mit hohen CO₂-Emissionen aus den absterbenden Wäldern belastet würden.

14. Die Totholzmenge in unseren Wäldern ist um ein Drittel angestiegen, für die Artenvielfalt im Wald ist aber nicht die Menge an Totholz, sondern die Vielfalt der Habitate und Baumarten entscheidend. Dabei erweisen sich Buchenwälder als weit weniger bedeutsam für die Biodiversität, als weithin angenommen. Der Wirtschaftswald hat durch seine Baumartenvielfalt und die mosaikartig über die Fläche wandernde Auflichtung eine höhere Biodiversität als der sich selbst überlassene Wald.

Antworten auf häufig gestellte Fragen

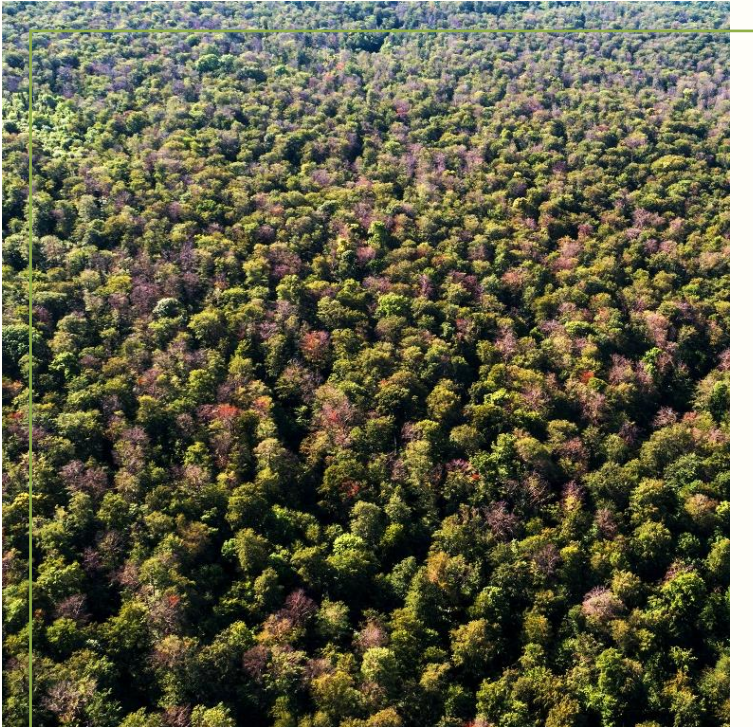
15. Die Zersetzung von Totholz läuft relativ schnell ab, der Massenverlust beträgt bei mittleren Stammdurchmessern je nach Baumart zwischen 50 und 70 % innerhalb von 10 Jahren. Dünnes Holz, z.B. Waldrestholz, wird noch schneller abgebaut. Totholz der Buche zersetzt sich besonders schnell, das Holz von Fichten und Douglasien sehr viel langsamer. Totholz setzt dieselbe Menge an CO₂ frei wie Verbrennen. Die energetische Nutzung ist die unter Klimagesichtspunkten bessere Alternative, sozusagen der Beipass zur Verrottung, weil dabei fossiles CO₂ vermieden wird.

16. Die Forderung, der stofflichen Nutzung Vorrang einzuräumen, ist richtig und wird in Deutschland voll umgesetzt. Stammholz wird in Deutschland praktisch nicht verbrannt. Holz, das stofflich verwertet werden kann, ist deutlich teurer als Brennholz, niemand würde für sein Brennholz den Stammholzpreis bezahlen.

17. Holz ist ein Koppelprodukt, man kann das für Holzprodukte vorgesehene Holz nicht getrennt von den Resthölzern ernten.

18. Der Wald in Deutschland ist trotz allem auch aktuell Klimaschützer, weil die Substitutionseffekte die Verringerung des Waldspeichers bei weitem überkompensieren.

Sind Naturschutzwälder im Klimawandel stabiler als naturnah bewirtschaftete Wälder?

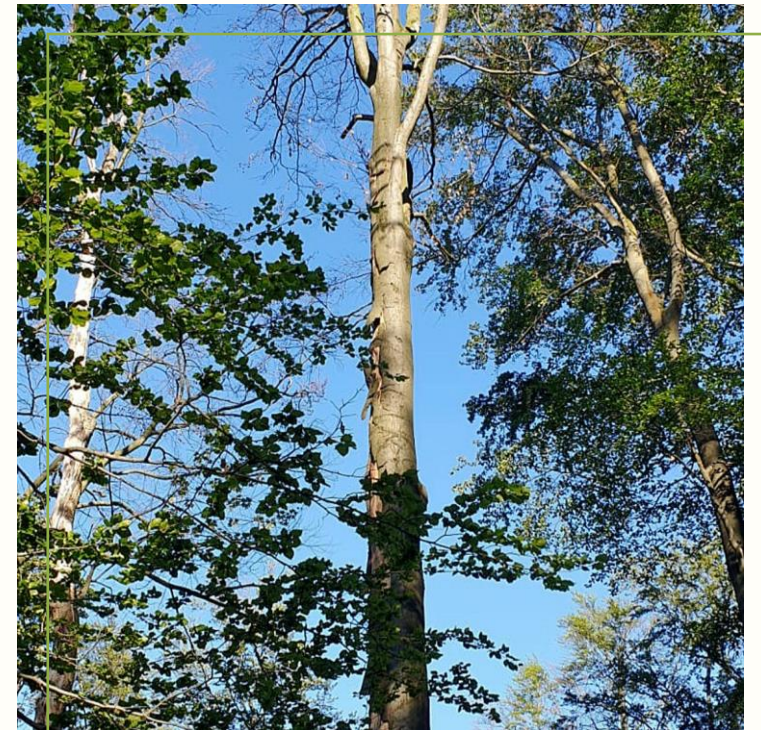


HESE, S. (Uni Jena 2019)



Nein

**Hainich und Heilige Hallen
Naturschutzwald seit
1870/1900**



Fritzlar, D. (2019)

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Sie können mich gerne kontaktieren

irslinger@gmx.de

Berechnung der Substitution durch Ernte von 1 m³ Holz

1 m³ Holz enthält 0,25 t C = 0,917 t CO₂

1 t C bildet beim Verbrennen $44/12$ t CO₂ = 3,667 t CO₂

Substitution [t CO₂-eq]

10 % Verrottung

$$0,1 * 0,917 * 0,00 = 0,0$$

60 % energetische Verwertung

$$0,6 * 0,917 * 0,67 = 0,369$$

30 % stoffliche, dann energetische Verwertung

$$0,3 * 0,917 * 2,17 = 0,597$$

Summe Substitution je m³ Holz

0,966

[Atomgewicht C = 12; Atomgewicht Sauerstoff = 16; Molekulargewicht CO₂ = 44]

Der Waldspeicher

- **1 m³ Holz = 0,25 t Kohlenstoff (C)**
- **1 Kg Kohlenstoff entspricht 3,667 kg Kohlendioxid (CO₂)**
(Verhältnis der Atomgewichte: CO₂ : C = 44 : 12 = 3,667)
- **1 m³ Holz bindet 0,917 t CO₂**
- **Derbholzvorrat in Deutschland: 335 m³ pro Hektar, dies entspricht 84 t C bzw. 307 t CO₂ pro Hektar**
- **Waldfläche in Deutschland 10,9 Mio. Hektar, dies entspricht 916 Mio. t C bzw. 3,3 Milliarden t CO₂**
- **Gesamter Waldspeicher 2,2 Mrd. t C bzw. 8,1 Mrd. t CO₂**
(einschl. Nicht-Derbholz, Wurzeln, Humus, Totholz)

Derbholz: ≥ 7 cm Durchmesser

Literaturhinweise

Literaturhinweise Bioenergie und Substitution

CHURKINA G ET AL. 2020 Buildings as a global carbon sink. *Nature Sustainability* 3: 269–276.

COWIE AL, BERNDES G, BENTSEN NS, BRANDÃO M, CHERUBINI F, EGNELL G, GEORGE B, GUSTAVSSON L, HANEWINKEL M, HARRIS ZM, JOHANSSON F, JUNGINGER M, KLINE KL, KOPONEN K, KOPPEJAN J, KRAXNER F, LAMERS P, MAJER S, MARLAND E, NABUURS GJ, PELKMANS L, Applying a science-based systems perspective to dispel misconceptions about climate effects of forest bioenergy. *GCB Bioenergy* 13:1210-1231. [<https://doi.org/10.1111/gcbb.12844>].

HENNENBER H, PFEIFFER M, BÖTTCHER H, REISE J. 2024: Kurzstudie zur Modellierung der THG-Bilanz der lebenden Bäume im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) des Projektionsberichts. UBA Forschungskennzahl 3722 41 5110.

SATHRE R, SCHAUB M, TATTERSALL SMITH JR C, SOIMAKALLIO S, VAN DER HILST F, WOODS J, XIMENES FA 2021 Applying a science-based systems perspective to dispel misconceptions about climate effects of forest bioenergy. *GCB Bioenergy* 13:1210-1231. [<https://doi.org/10.1111/gcbb.12844>].

IRSLINGER R 2021A Waldwildnis ist der falsche Weg. In: *topagrar* 50 (10):48-50.

IRSLINGER R 2021B Fossile Emissionen vermeiden, anstatt sie in Wäldern zu speichern : Erwiderung auf LUICK und GROSSMANN in *AFZ-DerWald* 19/2021, „Urwälder und alte Wälder im Kontext des Klimaschutzes“. In *AFZ-DerWald*, 21:39-42.

IRSLINGER R 2022A Waldlandschaften in der Klimakrise : Risikopatient und Problemlöser zugleich. *Artenschutzreport* 46:26-52.

IRSLINGER R 2022B Waldlandschaften für Klimaschutz : Fossile Emissionen vermeiden, anstatt sie in Wäldern zu speichern. In: Bemann, A.; IRSLINGER, R.; ANDERS, K. (HRSG.): *Vom Glück der Ressource : Wald und Forstwirtschaft im 21. Jahrhundert*. München, oekom Verlag:175-191.

IRSLINGER, R. 2023A Einschlagstopp ist kein Klimaschutz. In *AFZ-DerWald*, 3:35-38. Irslinger R 2022a Waldlandschaften in der Klimakrise : Risikopatient und Problemlöser zugleich. *Artenschutzreport* 46:26-52.

IRSLINGER R 2023B Nichts heizt sauberer als Holzpellets : Bauen und Heizen mit Holz sind keine Gegensätze.

<https://www.das-marburger.de/2023/10/nichts-heizt-sauberer-als-holzpellets-bauen-und-heizen-mit-holz-sind-keine-gegensaetze/>

KUITTINEN M, ZERNICKE C, SLABIK S, HAFNER A 2021 How can carbon be stored in the built environment? A review of potential options, *Architectural Science Review*.

NABUURS GJ, DELACOTE P, ELLISON D, HANEWINKEL M, HETEMÄKI L, LINDNER M 2017 By 2050 the Mitigation Effects of EU Forests Could Nearly Double through Climate Smart Forestry. *Forests*, 8, pp 484-498.

Literaturhinweise

Literaturhinweise Bioenergie und Substitution

PRETZSCH H, DEL RÍO M, ARCANGELIAL C, BIELAK K, DUDZINSKA M, FORRESTER DI, KOHNLE U, LEDERMANN T, MATTHEWS R, NAGEL, R, NINGRE F, NORD-LARSEN T, SZELIGOWSKI H, BIBER P 2023 Competition-based mortality and tree losses. An essential component of net primary productivity. *Forest Ecology and Management* 544: 121204.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121204>

ROEBROEK CTJ, DUVEILLER G, SENEVIRATNE SI, DAVIN EL, CESCATTI A 2023 Releasing global forests from human management : How much more carbon could be stored? *Science* 380:749–753.

SCHULZE ED, ROCK J, KROIHER F, EGENOLF V, WELLBROCK N, IRSLINGER R, BOLTE A, SPELLMANN H 2021 Klimaschutz mit Wald : Speicherung von Kohlenstoff im Ökosystem und Substitution fossiler Brennstoffe. *Biol Unserer Zeit* 51(1):46-54.

SCHULZE ED, SIERRA C, EGENOLF V, WOERDEHOFF R, IRSLINGER R, BALDAMUS C, STUPAK I, SPELLMANN H 2020 The climate change mitigation effect of bioenergy from sustainably managed forests in Central Europe. *Global Change Biology-Bioenergy* 12(3):1-12.

SCHULZE ED , BOURIAUD O , IRSLINGER R , VALENTINI R 2022 The role of wood-harvest from sustainably managed forests in the carbon cycle. In: *Annals of Forest Science* 79(17):13 pp.

UMWELTBUNDESAMT (UBA) 2022 Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger : Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2021. *Climate Change* 50/2022:1-170.

Literaturhinweise Waldökologie und Naturschutz

AGGESTAM F, KONCZAL A, SOTIROV M, WALLIN I, PAILLET Y, SPINELLI R, LINDNER M, DERKS J, HANEWINKEL M, WINKEL G 2020 Can nature conservation and wood production be reconciled in managed forests? A review of driving factors for integrated forest management in Europe. *Journal of Environmental Management* 268.

EGENOLF V, SCHÜNGEL J, BRINGEZU S, SCHALDACH R 2023 The impact of the German timber footprint on potential species loss in supply regions. *Science of the Total Environment* 901:165897

Literaturhinweise

Literaturhinweise Waldökologie und Naturschutz

FAHRIG L 2020 Why do several small patches hold more species than few large patches? *Global Ecol Biogeogr.* 2020;00:1–14.

GUNDERSEN P, THYBRING EE, NORD-LARSEN T, VESTERDAL L, NADELHOFFER KJ, JOHANNSEN VK 2021 Old-growth forest carbon sinks overestimated. *Nature* vol 591, pp E21-E23.

KEITH, H., MACKEY, B.G. & D.B, LINDENMAYER 2009 Re-evaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(28):11635-11640.

NAGEL R, MEYER P, BLASCHKE M, FELDMANN E 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. *Front. For. Glob. Change* 6:1099558.

SABATINI FM, DE ANDRADE RB, PAILLET Y, ÓDOR P, BOUGET C, CAMPAGNARO T, GOSELIN F, JANSSEN P, MATTIOLI W, NASCIMBENE J, SITZIA T, KUEMMERLE T, BURRASCANO S 2019 Trade-offs between carbon stocks and biodiversity in European temperate forests. *Global Change Biology* 25, pp 536-548.

SCHALL P, HEINRICHS S, AMMER C, AYASSE M, BOCH S, BUSCOT F, FISCHER M, GOLDMANN K, OVERMANN J, SCHULZE ED, SIKORSKI J, WEISSER, WW, WUBET T, GOSSNER, MM 2020 Can multi-taxa diversity in European beech forest landscapes be increased by combining different management systems? *J Appl Ecol.* 2020; 57 : 1363-1375.

SCHULZE ED, AMMER, C. 2015 Konflikte um eine nachhaltige Entwicklung der Biodiversität: Spannungsfeld Naturschutz und Forstwirtschaft. *Biol Unserer Zeit* 51(5): 304-314.

SCHULZE ED 2023 Gedanken zum Artenschutz nach dem Montreal-Abkommen vom Dezember 2022. *Artenschutzreport* 50:19-23.

SEIBOLD S, GOSSNER MM, SIMONS NK, BLÜTHGEN N, MÜLLER J, AMBARLI D, AMMER C, BAUHUS J, FISCHER M, HABEL JC, LINSENMAIR KE, NAUSS T, PENONE C, PRATI D, SCHALL P, SCHULZE ED, VOGT J, WÖLLAUER S, WEISSER WW 2019 Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers. *Nature* 574, pp 671-688.