

CO₂-Kompensation durch Bäume: Quantifizierung der CO₂-Aufnahme und Einführung der Einheit "Baumtage"

Niedl, Manfred, Höhere Graphische Bundes-Lehr- und Versuchsanstalt, Wien

Abstract

Dieser Artikel synthetisiert aktuelle Literatur zur CO₂-Sequestrierung durch Bäume, um die durchschnittliche jährliche Aufnahme zu quantifizieren. Er berücksichtigt die Variabilität durch Spezies, Alter, Umwelt und Management. Eine durchschnittliche jährliche CO₂-Absorptionsrate wird ermittelt und in eine tägliche Metrik umgerechnet. Zur Vereinfachung der Kommunikation wird die neue Einheit "Baumtage" eingeführt, definiert als die durchschnittliche tägliche CO₂-Absorptionskapazität eines Baumes. Der Artikel erläutert die Nützlichkeit von "Baumtage" zur Quantifizierung der Kompensation täglicher CO₂-Emissionen und diskutiert Einflussfaktoren sowie die Grenzen baumbasierter Lösungen im Klimaschutz.

1. Einleitung: Die entscheidende Rolle der Wälder im globalen Kohlenstoffkreislauf

Die globale Erwärmung hat die atmosphärischen CO₂-Konzentrationen von 280 Teilen pro Million (ppm) im Jahr 1850 auf $420,2 \pm 0,5$ ppm im Jahr 2023 ansteigen lassen.¹ Jährlich werden schätzungsweise 3,3 Milliarden Tonnen Kohlenstoff freigesetzt.¹ Wälder fungieren als entscheidende natürliche Kohlenstoffsenken.² Sie speichern über eine Billion Tonnen CO₂ in ihrer Biomasse und binden jährlich zusätzlich 4 Milliarden Tonnen netto, trotz eines Verlusts von 6 Milliarden Tonnen CO₂ durch tropische Entwaldung.⁵ Wald-Kohlenstoffsequestrierungsprogramme können etwa 25 % der globalen CO₂-Minderungsziele erreichen; die restlichen 75 % erfordern eine Reduzierung fossiler Emissionen.⁵

Dieser Artikel quantifiziert die durchschnittliche jährliche CO₂-Aufnahme pro Baum, rechnet diese in tägliche Äquivalente um und führt "Baumtage" als intuitive Einheit ein. Er untersucht Einflussfaktoren und diskutiert den breiteren Kontext baumbasierter Klimailösungen.

2. Mechanismen der Kohlenstoffdioxidabsorption durch Bäume

Die Photosynthese stellt den grundlegenden biochemischen Prozess dar, durch den Bäume CO₂ aus der Atmosphäre aufnehmen.¹ Während dieses Prozesses nehmen die Blätter atmosphärisches CO₂ und Wasser auf und nutzen die Energie des Sonnenlichts sowie das Pigment Chlorophyll, um diese Ausgangsstoffe in chemische Verbindungen wie Glukose (Zucker) umzuwandeln, die der Ernährung des Baumes dienen. Als lebenswichtiges Nebenprodukt wird Sauerstoff in die Atmosphäre freigesetzt.⁶ Durch die Photosynthese wird atmosphärisches CO₂ assimiliert und chemisch in die Zellstrukturen des Baumes, hauptsächlich Zellulose, integriert, wodurch seine Konzentration in der Atmosphäre reduziert wird.¹ Bemerkenswerterweise kann ein Baum, um sein Volumen um einen Kubikmeter zu erhöhen, fast eine Million Kubikmeter Luft von ihrem CO₂-Gehalt reinigen.⁶

Kohlenstoff wird in Stamm (ca. 60 %), Ästen (15 %), Laub (5 %) und Wurzeln (20 %) gespeichert.⁷ Ober- und unterirdische Biomasse sind bedeutende Kohlenstoffspeicher, die über 40 % des gesamten gespeicherten Kohlenstoffs ausmachen.¹ Der Kohlenstoffgehalt beträgt etwa 47,5 % der Baumtrockenmasse.⁶ Für 1 kg Kohlenstoff in Biomasse werden 3,67 kg CO₂ aus der Atmosphäre benötigt (Molmasse CO₂: 44, Kohlenstoff: 12).⁶

3. Quantifizierung der CO₂-Sequestrierung: Durchschnittliche jährliche Aufnahme pro Baum

Die jährliche CO₂-Absorption eines Baumes variiert stark. EcoTree schätzt den Durchschnitt auf 25 kg pro Jahr, mit einer Bandbreite von 10 bis 40 kg CO₂ pro Jahr.⁶ Die Arbor Day Foundation gibt an, dass ein ausgewachsener Baum mehr als 48 Pfund (etwa 21,8 kg) CO₂ pro Jahr aufnehmen kann.⁷ Über eine Lebensdauer von 40 Jahren akkumuliert ein Baum fast eine Tonne CO₂.⁹ Weltweit absorbieren Baumpflanzen zwischen 0,42 und 0,65 Pentagramm Kohlenstoff pro Jahr.¹ In feuchten tropischen Regionen können Wälder bis zu 11 Tonnen CO₂ pro Hektar und Jahr aufnehmen, bei schnell wachsenden Holzarten sogar über 30 Tonnen CO₂-Äquivalent pro Hektar und Jahr.⁵

Die Variabilität der Absorptionsraten (z.B. 10-40 kg/Jahr, ~25 kg/Jahr, ~22 kg/Jahr) zeigt, dass ein universeller Durchschnitt eine Vereinfachung ist. Artenspezifische Merkmale wie Holzdichte und Wachstumsraten sind entscheidend.⁶ Schnell wachsende Arten wie der Silber-Ahorn zeigen höhere Absorptionsraten als langsam wachsende wie die Europäische Buche.⁹

Die folgende Tabelle 1 fasst die durchschnittlichen jährlichen CO₂-Aufnahmeraten für ausgewählte Baumarten zusammen und verdeutlicht die Bandbreite der

Sequestrierungsfähigkeiten:

Tabelle 1: Durchschnittliche jährliche CO₂-Aufnahmeraten ausgewählter Baumarten

Baumart	Durchschnittliche CO ₂ -Aufnahme pro Jahr (kg)	Durchschnittliche tägliche CO ₂ -Aufnahme (kg/Tag)	Lebensdauer (Jahre)	Gesamte CO ₂ -Sequestrierung (kg)	Wachstumsrate	Bemerkenswerte Region
Silber-Ahorn	206.2	0.565	55	11340	Schnell	Östliche USA
Teak (Tectona grandis)	50.0	0.137	50	2540	Moderat-Schnell	Südostasien
Douglasie	38.2	0.105	50	3810	Moderat	Pazifischer Nordwesten, USA
Amerikanischer Amberbaum	21.8	0.060	40	907	Schnell	Südöstliche USA
Europäische Buche	16.0	0.044	80	1270	Langsam	Europa
Afrikanische Mahagoni	2.3	0.006	40	91	Moderat	West- & Zentralafrika

Quelle: Daten primär abgeleitet aus.⁹

4. Einführung von "Baumtage": Eine Einheit für die tägliche CO₂-Kompensation

Um eine tägliche CO₂-Aufnahmerate zu ermitteln, wird der durchschnittliche jährliche Absorptionswert mathematisch durch die Anzahl der Tage in einem Jahr (typischerweise 365 Tage) geteilt. Betrachtet man den häufig zitierten Durchschnitt von 25 kg CO₂ pro Jahr für einen Baum ⁶:

- Tägliche Aufnahme = $25 \text{ kg CO}_2 / 365 \text{ Tage} \approx 0,0685 \text{ kg CO}_2 \text{ pro Tag}$.
- Dies entspricht etwa 68,5 Gramm CO₂, die pro Tag absorbiert werden.

Für die Definition von "Baumtage" wird der Wert von 25 kg/Jahr (ca. 68,5 g/Tag) als repräsentativer Durchschnitt gewählt.

Definition: Die CO₂-Aufnahme eines Baumes an einem Tag heißt "Baumtag", sie ist die durchschnittliche Menge an CO₂, die ein einzelner, gesunder, ausgewachsener Baum an einem Tag aus der Atmosphäre aufnimmt.

Erläuterung: Diese Einheit vereinfacht die Kommunikation der CO₂-Kompensation. Ein "Baumtag" entspricht 0,0685 kg CO₂. Verursacht eine Aktivität 1 kg CO₂-Emissionen pro Tag, könnten diese theoretisch durch etwa $1 \text{ kg} / 0,0685 \text{ kg/Baumtag} \approx 14,6$ Baumtage kompensiert werden, d.h. die tägliche Absorptionskapazität von etwa 15 Bäumen.

5. Faktoren, die das CO₂-Sequestrierungspotenzial von Bäumen beeinflussen

Das CO₂-Sequestrierungspotenzial von Bäumen wird durch biologische, umweltbedingte und managementbezogene Faktoren beeinflusst.

Biologische Faktoren

Die CO₂-Bindung variiert stark zwischen Baumarten aufgrund von Unterschieden in Holzdichte, Wachstumsraten und Biomasseakkumulation. ⁶ Schnell wachsende Arten wie Silber-Ahorn binden mehr CO₂ als langsam wachsende wie die Europäische Buche. ⁹ Junge Bäume wachsen schneller und binden anfangs mehr CO₂, während reife Bäume enorme Kohlenstoffmengen in ihrer Biomasse speichern. ¹ Die Blattfläche und Photosyntheseeffizienz bestimmen die CO₂-Aufnahme. ¹ Kohlenstoff wird in ober- und unterirdischer Biomasse gespeichert. ¹

Umweltfaktoren

Klima (Temperatur, Niederschlag, Bodenfeuchtigkeit) beeinflusst die Wachstumsraten erheblich.¹⁰ Feuchte Tropen binden bis zu 11 Tonnen CO₂ pro Hektar/Jahr, trockenere Gebiete weniger als 4 Tonnen CO₂-Äquivalent pro Hektar/Jahr.⁵ Bodeneigenschaften, besonders organisches Material, sind entscheidend für die Kohlenstoffspeicherung, da Böden das größte terrestrische Kohlenstoffreservoir sind.¹¹ Landschaftsmerkmale wie Höhe und Hangneigung beeinflussen das Wachstum.¹ Natürliche Störungen wie Waldbrände und Schädlingsbefall können gespeicherten Kohlenstoff freisetzen.¹²

Managementpraktiken

Aufforstung wandelt Flächen in Wald um, wobei junge Wälder Zeit benötigen, um signifikanten Kohlenstoff zu akkumulieren.⁵ Managementmaßnahmen wie das Verschieben von Holzfällungen, aktives Pflanzen, Ausdünnen, Waldbrandbekämpfung und Düngung können die Sequestrierung verbessern.⁵ Nachhaltige Waldbewirtschaftung maximiert langfristig den Minderungsnutzen.¹⁴ Die Verhinderung der Entwaldung ist entscheidend, da sie eine der größten CO₂-Emissionsquellen bleibt (ca. 6 Milliarden Tonnen CO₂ jährlich durch tropische Entwaldung).⁵ Die Verlängerung der Kohlenstoffbindung in geernteten Holzprodukten (z.B. Bauholz) verlängert deren Senkenfunktion.¹⁴

Biophysikalische Effekte

Wälder beeinflussen das Klima auch durch Albedo (Reflexion der Sonnenstrahlung) und Transpiration.¹² Dunkle Bäume absorbieren mehr Sonnenstrahlung, was lokal erwärmen kann. Transpiration kann kühlend wirken.¹² Diese Effekte sind bei der Bewertung großer Aufforstungsprojekte wichtig. Bäume bieten zudem Vorteile wie Luft- und Wasserreinigung, Kühlung und Stressreduktion.¹⁶

6. Einschränkungen und breiterer Kontext der baumbasierten CO₂-Kompensation

Diskussion der Herausforderungen

Der in Bäumen gespeicherte Kohlenstoff ist nicht permanent und kann durch Zersetzung oder Störungen (Brände, Schädlinge, Holzeinschlag) freigesetzt werden.³

Kohlenstoffsequestrierungsprogramme können unter "Leckage" leiden, wo Schutzbemühungen an einem Ort zu Entwaldung anderswo führen.⁵ Obwohl weltweit 14 Millionen Hektar in Europa und 2 Milliarden Hektar weltweit theoretisch für die Aufforstung zur Verfügung stehen⁵, hat

die Umwandlung von Agrarland hohe Opportunitätskosten. Junge Wälder brauchen Zeit, um signifikanten Kohlenstoff zu akkumulieren; Sequestrierungsraten erreichen ihren Höhepunkt nach etwa 10 Jahren und nehmen danach ab, oft nach 20 Jahren vernachlässigbar.⁵ Trotz Potenzial wird die Umsetzung oft durch mangelnde wirtschaftliche Anreize und politische Rahmenbedingungen behindert. Naturbasierte Kohlenstoffprojekte in Europa machen weniger als 1 % des gehandelten Volumens auf dem freiwilligen Kohlenstoffmarkt aus.¹³ Die Bereitschaft zu investieren (z.B. zu 30 US-Dollar pro Tonne CO₂) beeinflusst das Ausmaß der zusätzlichen Sequestrierung.⁵ In einem effizienten Programm könnten 42 % der Kohlenstoffspeicherung durch reduzierte Entwaldung, 31 % durch Waldbewirtschaftung und 27 % durch Aufforstung erreicht werden.⁵

Die Rolle der Bäume innerhalb einer breiteren Klimaminderungsstrategie

Bäume sind entscheidend, aber keine alleinige Lösung für die Klimakrise.¹⁵ Andere natürliche Kohlenstoffsinken wie Torfgebiete sind ebenso wichtig, da sie 42 % des gesamten Bodenkohlenstoffs speichern und den in allen anderen Vegetationstypen übertreffen.¹⁵ Die Mehrheit (etwa 75 %) der angestrebten globalen CO₂-Minderung muss aus der Reduzierung fossiler Brennstoffemissionen stammen.⁵ Waldbasierte Lösungen ergänzen, ersetzen aber nicht die Dekarbonisierung. Die Nutzung von Holz für langlebige Produkte verlängert die Kohlenstoffbindung.¹⁴ Eine umfassende Minderung erfordert auch die Reduzierung von Lebensmittelabfällen und nachhaltigere Ernährungsgewohnheiten.¹⁵

7. Fazit und Zukunftsausblick

Bäume sind unverzichtbare natürliche Kohlenstoffsinken, die CO₂ durch Photosynthese absorbieren. Die jährliche CO₂-Absorption variiert von 10 kg bis über 200 kg, abhängig von Art, Alter und Umweltbedingungen. Repräsentative Durchschnitte liegen bei 25 kg/Jahr oder 21,8 kg/Jahr. Die Einheit "Baumtage" (ca. 0,0685 kg CO₂/Tag) bietet eine intuitive Metrik zur täglichen CO₂-Kompensation. Die Wirksamkeit baumbasierter Lösungen hängt von biologischen Eigenschaften, Umweltfaktoren und Managementpraktiken ab. Wichtige Überlegungen sind die Unterscheidung zwischen Brutto- und Netto-Sequestrierung, die temporäre Natur der Kohlenstoffspeicherung und der Schutz alter Wälder.

Baumbasierte Lösungen sind wertvoll, aber keine alleinige Lösung. Eine effektive Klimaminderung erfordert einen ganzheitlichen und integrierten Ansatz, der gleichzeitig tiefgreifende Emissionsreduktionen, den Schutz und die Wiederherstellung vielfältiger natürlicher Kohlenstoffsinken (einschließlich Torfgebieten) und nachhaltiges Ressourcenmanagement umfasst.

Referenzen

1. Full article: A review of the carbon sequestration potential of fruit trees and their implications for climate change mitigation: The case of Ethiopia, Zugriff am Juli 4, 2025, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311932.2023.2294544>
2. Large Trees Dominate Carbon Storage in Forests East of the Cascade Crest in the United States Pacific Northwest - Frontiers, Zugriff am Juli 4, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/forests-and-global-change/articles/10.3389/ffgc.2020.594274/full>
3. Carbon Storage by Urban Forests - National Park Service, Zugriff am Juli 4, 2025, <https://www.nps.gov/articles/000/uerla-trees-carbon-storage.htm>
4. (PDF) Forests and the Carbon Cycle - ResearchGate, Zugriff am Juli 4, 2025, https://www.researchgate.net/publication/281376154_Forests_and_the_Carbon_Cycle
5. Forest Carbon Sequestration* - IMF eLibrary, Zugriff am Juli 4, 2025, <https://www.elibrary.imf.org/downloadpdf/display/book/9781616353933/ch05.pdf>
6. How much CO2 does a tree absorb? Let's get carbon curious!, Zugriff am Juli 4, 2025, <https://ecotree.green/en/how-much-co2-does-a-tree-absorb>
7. The Power of One Tree - The Very Air We Breathe | Home - USDA, Zugriff am Juli 4, 2025, <https://www.usda.gov/about-usda/news/blog/power-one-tree-very-air-we-breathe>
8. ecotree.green, Zugriff am Juli 4, 2025, <https://ecotree.green/en/how-much-co2-does-a-tree-absorb#:~:text=A%20tree%20absorbs%20approximately%205kg%20of%20CO2%20per%20year&text=But%20really%20a%20tree%20absorbs,For%20fun!>
9. How Much CO2 Does a Tree Absorb? | What is Green Living?, Zugriff am Juli 4, 2025, <https://whatisgreenliving.com/how-much-co2-does-a-tree-absorb/>
10. The value of trees – more than carbon storage | Spring 2023 - Agriculture Victoria, Zugriff am Juli 4, 2025, <https://agriculture.vic.gov.au/support-and-resources/newsletters/sheep-notes-newsletter/spring-2023/the-value-of-trees-more-than-carbon-storage>
11. Forest Carbon Cycle | Center for Accelerator Mass Spectrometry, Zugriff am Juli 4, 2025, <https://cams.llnl.gov/cams-competencies/terrestrial-carbon-cycle/forest-carbon-cycle>
12. Other Factors Influencing Forest Carbon Storage, Zugriff am Juli 4, 2025, <https://climate-woodlands.extension.org/other-factors-influencing-forest-carbon-storage/>
13. Europe's land carbon sink declines, but its potential stays high, Zugriff am Juli 4, 2025, <https://www.eea.europa.eu/en/newsroom/news/europes-land-carbon-sink-declines-but-its-potential-stays-high>
14. Forestry - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Zugriff am Juli 4, 2025, <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg3-chapter9-1.pdf>

15. IPCC report: Planting trees isn't enough to save us from the climate crisis - Grist Magazine, Zugriff am Juli 4, 2025, <https://grist.org/article/ipcc-report-planting-trees-isnt-enough-to-save-us-from-the-climate-crisis/>
16. 8 Reasons To Plant a Tree This Arbor Day, Zugriff am Juli 4, 2025, <https://www.arborday.org/perspectives/8-reasons-plant-tree-arbor-day>
17. EU forests could balance emissions for millions - Arbonics, Zugriff am Juli 4, 2025, <https://www.arbonics.com/knowledge-hub/carbon-sequestration-potential-eu-forests>