

# Teil 3: Der Waldspeicher

## Wald: CO<sub>2</sub>-Senke oder CO<sub>2</sub>-Quelle?

### Die Photosynthese

Die Photosynthese ist die wichtigste Reaktion auf der Welt, denn sie stellt die Energieversorgung für jegliches höhere Leben auf der Erde sicher. Grüne Pflanzen sind durch diese Reaktion dazu in der Lage anorganischen Kohlenstoff in organischen Kohlenstoff umzuwandeln. Anorganischer Kohlenstoff in Form von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Wasser werden in den Chloroplasten der Pflanzenzellen mithilfe von Chlorophyll und Licht in organischen Kohlenstoff in Form von Zucker (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) umgewandelt. Bei dieser Reaktion entsteht zusätzlich das für den Menschen überlebenswichtige Nebenprodukt Sauerstoff (O<sub>2</sub>) [2]. In einem Kubikmeter Holz werden durch Photosynthese ca. 270 kg Kohlenstoff gespeichert. Dies entspricht einem CO<sub>2</sub>-Äquivalent von 991 kg. Vereinfacht gesagt: Ein Kubikmeter Holz kompensiert die Emission von einer Tonne CO<sub>2</sub> [12].

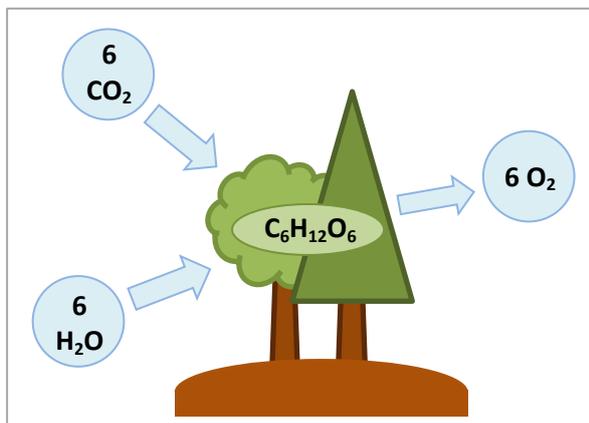


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Photosynthese im Wald. Eigene Darstellung nach [2].

### Kohlenstoffkreislauf

Auf unserer Erde existieren etwa 75 Billionen Tonnen Kohlenstoff. Der größte Teil davon befindet sich mit 99,95 % im Gestein. Die restlichen 0,05 % des Kohlenstoffs sind in Ozeanen, im Boden, in Lebewesen und in der Luft gespeichert und wirken auf den ersten Blick unbedeutend.

Der zweite Blick verdeutlicht jedoch, dass es sich bei dem globalen Kohlenstoffkreislauf um ein komplexes System handelt, das bereits auf kleinste Veränderungen reagiert. In der Luft ist lediglich ein Anteil von 0,001% des gesamten Kohlenstoffvorkommens gespeichert [19, 21]. Dennoch sind der Klimawandel und dessen Folgen im Wesentlichen auf die Erhöhung der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre zurückzuführen [7].

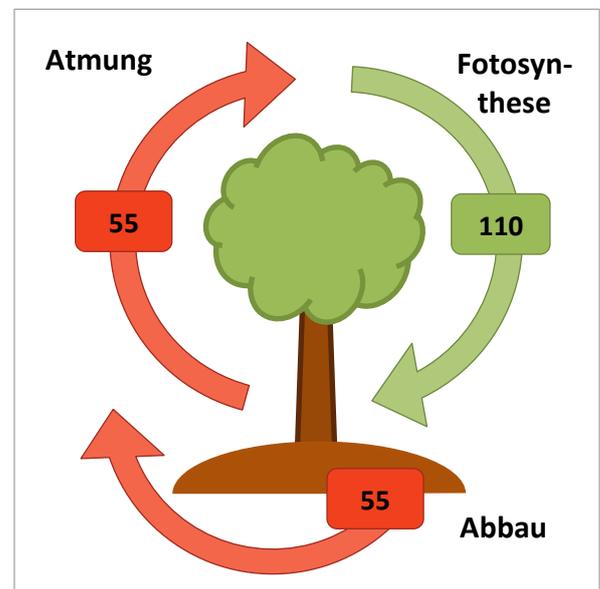


Abbildung 2: Schematische Darstellung des globalen Kohlenstoffkreislaufs im Boden und im Wald in Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub>. Eigene Darstellung nach [5, 6].

In der Biosphäre sind aktuell etwa 800 Gigatonnen und in der Atmosphäre 850 Gigatonnen Kohlenstoff gespeichert [6, 21]. Das Kohlendioxid in der Luft steht über Photosynthese und Atmung (Energiegewinnung aus Kohlenhydratmolekülen) mit Lebewesen in Verbindung. Im Boden liegt der Kohlenstoff größtenteils als totes Pflanzenmaterial vor, das durch Abbau wieder in Kohlendioxid umgewandelt wird und zurück in die Atmosphäre gelangt. Ohne Störungen oder Eingriffe befindet sich dieses System in einem natürlichen Gleichgewicht [6]. Der Atmosphäre wird genauso viel Kohlenstoff entzogen, wie ihr wieder zugeführt wird (Abbildung 2).



Abbildung 3: Der Wald und der Boden sind wichtige terrestrische Kohlenstoffspeicher (Foto: N. Grüner).

## Waldbodenspeicher

Auch der Waldboden enthält je nach Bodentiefe und Horizont verschiedene Anteile organischer Substanz. Der größte Anteil der organischen Substanz ist im Humus gespeichert. Der Humus nimmt im Boden in der Regel von oben nach unten ab. Bei konstanten Standortfaktoren stellt sich in Waldböden über längere Zeit hinweg ein Gleichgewicht zwischen Abbau und Anlieferung der organischen Substanz ein [22].

Die Konstanz der Standortfaktoren und folglich auch dieses Gleichgewicht sind durch klimatische Veränderungen gefährdet. Bei höheren Temperaturen und genügend Feuchtigkeit beschleunigt sich der Abbau des Kohlenstoffvorrats im Oberboden. Die unteren Bodenhorizonte reagieren hingegen erst mittel- bzw. langfristig auf klimatische Veränderungen. Der Kohlenstoffvorrat im Waldboden kann insgesamt als stabil gegenüber kurzfristigen Veränderungen angesehen werden [16, 22, 23]. Die Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung zeigen sogar, dass die Kohlen-

stoffvorräte in Deutschland stabil geblieben oder gestiegen sind [1, 23]. Auch ein Verlust von Kohlenstoff aus dem Waldboden durch Waldbewirtschaftung ist in Deutschland nicht belegt [17, 18].

## CO<sub>2</sub>-Bilanz des Waldes

Der Wald wird als Senke bezeichnet, wenn die Kohlenstoffbindung durch Fotosynthese größer ist, als die Freisetzung von Kohlenstoff durch Atmung oder Abbauprozesse [12]. Neben Mooren stellen die Wälder auf der Erde die wirksamste terrestrische Kohlenstoffsенке dar. Gründe hierfür sind ihre großflächige Ausdehnung und die hohe Kohlenstoffdichte des Holzes [24]. Der Wald in Nordrhein-Westfalen speichert ohne Berücksichtigung des Waldbodenspeichers zurzeit 605 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>. Zusätzlich entzieht er der Atmosphäre jährlich 4 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> [10]. Diese Senkenleistung ist jedoch nur bis zu einer natürlichen Obergrenze möglich, da auch das Wachstum der Wälder als natürlicher Prozess einer Sättigungsfunktion unterliegt [13].

### Exkurs: Globales Problem Entwaldung

Eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder wie in Deutschland findet nicht in allen Teilen der Erde statt. Insbesondere in den Tropen und Subtropen, aber auch im borealen Nadelwald wird der Wald großflächig durch Entwaldung zerstört. Auf diese Weise gelangen sehr große Mengen an Kohlenstoff aus den Bäumen und dem Boden in die Atmosphäre. Die globale Waldzerstörung hat einen Anteil von 16% an den weltweiten Treibhausgasemissionen [12, 20].

Tritt der umgekehrte Fall ein und dem Wald wird mehr Kohlenstoff entzogen, als er durch Photosynthese binden kann, wird er zur Kohlenstoffquelle. Störungen des intakten Waldgefüges können als direkte Folge von Sturmschäden oder Insektenkatastrophen auftreten. Findet ein derartiger Insektenbefall zudem in einem aus der Nutzung genommenen Wald statt, wird dieser zur Kohlenstoffquelle. Im Nationalpark Bayerischer Wald beispielsweise wurden 4.000 ha durch Borkenkäfer befallen – dies entspricht in etwa einer Freisetzung von 1,2 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> [11].



Abbildung 4: Eine 30 m hohe Fichte mit einem Durchmesser von 50 cm speichert ca. 4 Tonne CO<sub>2</sub> [9] (Foto: N. Grüner).

Aktuell ist der Wald in NRW und auch in Deutschland eine CO<sub>2</sub>-Senke. Diese Senkenfunktion nimmt seit 1990 jedoch kontinuierlich ab [14]. Gründe hierfür sind zum einen der Altersklassenaufbau der Nachkriegswälder und zum anderen ein zyklisches Nutzungsverhalten. Modellierungen zur Waldentwicklung und zum Holzaufkommen

(WEHAM) gehen sogar davon aus, dass der deutsche Wald in den kommenden vier Jahrzehnten zur CO<sub>2</sub>-Quelle wird [3, 13].

### C-Speichervermögen der Baumarten

Das Kohlenstoffspeichervermögen von Bäumen unterliegt einer speziellen Wachstumsfunktion. Junge Bäume wachsen relativ schnell und entziehen der Atmosphäre viel Kohlenstoff. Bei älteren Bäumen hingegen lässt das Wachstum mit der Zeit nach und die Speicherleistung bezüglich des Kohlenstoffs sinkt. Die höchste Senkenleistung erreicht ein Baum, wenn sein durchschnittlicher Gesamtzuwachs kulminiert ( $dGZ_{max}$ ) [13]. Dies geschieht je nach Baumart und Standort zu unterschiedlichen Zeitpunkten.

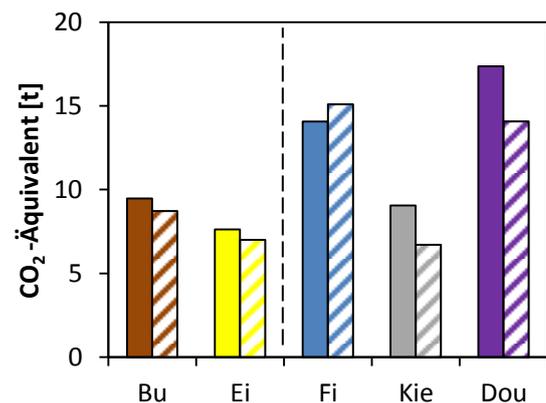


Abbildung 5: Laufender Zuwachs je Hektar und Jahr nach Baumartengruppen in Deutschland und NRW (schraffiert) in Tonnen CO<sub>2</sub>-e. Eigene Darstellung nach [8, 15].

In Abbildung 5 ist der laufende Zuwachs je Hektar und Jahr von ausgewählten Baumartengruppen in Nordrhein-Westfalen und in Deutschland dargestellt. Es zeigt sich, dass die Baumartengruppen Fichte und Douglasie aktuell den höchsten Zuwachs und somit auch die höchste Senkenleistung aufweisen. Diese liegt für die Fichte bei 14 (D) bzw. 15 (NRW) Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent und für die Douglasie bei 14 (NRW) bzw. 17 (D) Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Die Baumartengruppen Buche, Eiche und Kiefer bewegen sich im Rahmen von knapp 7 bis 9,5 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Diese Werte spiegeln die jährliche Senkenleistung der Bäume wieder. Der absolute Gesamtspeicher für die Baumarten wird hierbei nicht berücksichtigt.

## Einfluss der Bewirtschaftung

Unterschiedliche Bewirtschaftungsformen des Waldes wirken sich direkt auf dessen Kohlenstoffvorrat aus. Es zeigt sich, dass ungenutzte Wälder den höchsten Kohlenstoffspeicher in der lebenden und toten Biomasse aufweisen. Die klassische Waldbewirtschaftung hat im Vergleich zum naturnahen Waldbau einen etwas geringeren Kohlenstoffvorrat in der Biomasse (Abbildung 6).

Der Waldspeicher ist jedoch nicht die einzige Klimaschutzleistung, die durch den Wald erbracht wird. Bewirtschaftete Wälder erzielen durch die Nutzung des Holzes eine zusätzliche CO<sub>2</sub>-Senkenleistung. Der Kohlenstoff bleibt auch nach der Ernte weiterhin in Holzprodukten gespeichert oder kann andere energieintensivere Materialien ersetzen. **In ungenutzten Wäldern ist die zusätzliche CO<sub>2</sub>-Senkenleistung marginal, die klassische Waldbewirtschaftung und der naturnahe Waldbau weisen eine hohe CO<sub>2</sub>-Senkenleistung auf.** Der Grund hierfür ist, dass sich bewirtschaftete Wälder durch Entnahme von Biomasse wiederholt in einer Aufbauphase befinden. Der Vorrat ist geringer, aber die zusätzliche Senkenleistung ist dauerhaft höher [13].

## Grenzen des Waldspeichers

Die Auswahl von Maßnahmen, um die Klimaschutzleistung der Wälder dauerhaft zu sichern und zu erhöhen, hängt primär von dem betrachteten System und den Systemgrenzen ab. Unterschiedliche zeitliche und räumliche Grenzen führen zu widersprüchlichen Schlussfolgerungen. Betrachtet man lediglich die Klimawirkung innerhalb des Waldes (Waldökosystemansatz), dann bleiben die bereits genannten zusätzlichen Klimaschutzwirkungen durch Holznutzung und Substitutionseffekte unberücksichtigt. Es ist jedoch wissenschaftlich belegt, dass die höhere Akkumulation von Kohlenstoff im Waldspeicher in unbewirtschafteten Wäldern die Minderung von Emissionen durch stoffliche und energetische Substitution nicht kompensieren kann [4, 10, 12, 13].

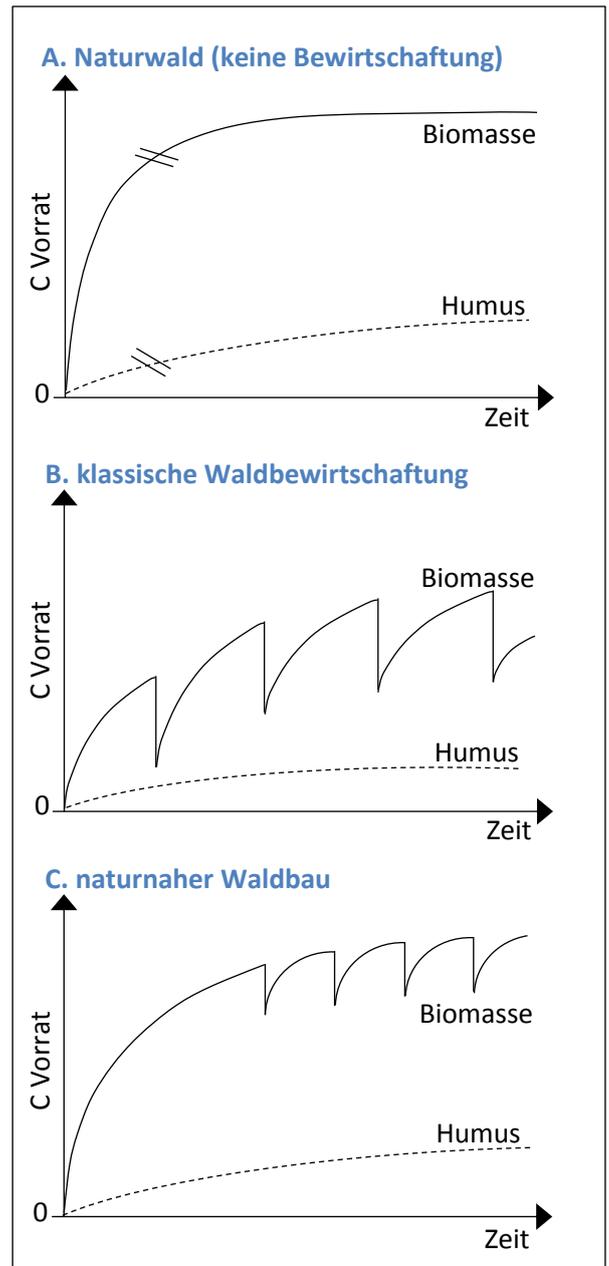


Abbildung 6: Kohlenstoffvorrat in Biomasse und Humus im unbewirtschafteten Naturwald (A), bei klassischer Waldbewirtschaftung (B) und bei naturnahem Waldbau (C). Der Beginn der Vorratskurven unterstellt eine Aufbauphase, die allerdings insbesondere in einem unbeeinflussten Naturwald nicht realistisch erscheint. Quelle: [13] verändert.

Ziel der Waldbewirtschaftung muss es sein die verschiedenen Interessen sinnvoll miteinander zu kombinieren. Den Fokus nur auf die Senkenleistung der Wälder zu legen führt zur Benachteiligung anderer waldbaulicher Zielsetzungen, wie beispielsweise der Biodiversität. Klimaschutz ist eine weitere wichtige Leistung der multifunktionalen Wälder Nordrhein-Westfalens.



- [1] BLOCK J., GAUER J. 2012. Waldbodenzustand in Rheinland-Pfalz. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Nr. 70/12, 228 S.
- [2] CAMPBELL N.A., REECE J.B., URRY L.A., CAIN M.L., WASSERMAN S.A., MINORSKY P.V., JACKSON R.B. 2016. Campbell Biologie Gynmasiale Oberstufe. 2. Auflage. Pearson
- [3] DUNGER K., BÖSCH B., POLLEY H. 2005. Das potentielle Rohholzaufkommen 2002 bis 2022 in Deutschland. AFZ-Der Wald 60 (3), 114–116
- [4] ERLER J., BECKER G., SPELLMANN H., DIETER M., AMMER C., BAUHUS J., BITTER A., BOLTE A., KNOKE T., KÖHL M., MOSANDL R., MÖHRING B., SCHMIDT O., FRHR V. TEUFFEL K. 2012. Forstwissenschaftler bemängeln Umweltgutachten 2012 des SRU. AFZ-Der Wald 18, 22-26
- [5] HÄCKEL H. 2008. Meteorologie. 6. Aufl. Stuttgart
- [6] HEINRICH D., HERGT M. 2002. dtv-Atlas Ökologie. 5. Auflage. Deutscher Taschenbuch Verlag, München
- [7] IPCC 2014. Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) [Hauptautoren, R.K. PACHAURI und L.A. MEYER (Hrsg.)]. IPCC, Genf, Schweiz. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, 2016
- [8] JOHANN HEINRICH VON THÜNEN-INSTITUT. 2012. Dritte Bundeswaldinventur (2012). <https://bwi.info> Letzter Aufruf: 10.11.2017
- [9] KLEIN D., SCHULZ C. 2011. Kohlenstoffspeicherung von Bäumen. LWF-Merkblatt 27
- [10] KNAUF M., FRÜHWALD A. 2013. Beitrag des NRW Clusters ForstHolz zum Klimaschutz. Studie von Knauf Consulting und Prof. Dr. ARNO FRÜHWALD (Zentrum Holzwirtschaft der Universität Hamburg) in Kooperation mit Prof. Dr. MICHAEL KÖHL (Zentrum Holzwirtschaft der Universität Hamburg) im Auftrag des MINISTERIUMS FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN und des LANDESBETRIEBS WALD UND HOLZ NORDRHEIN-WESTFALEN, Hrsg. LANDESBETRIEB WALD UND HOLZ NORDRHEIN-WESTFALEN, Münster, Mai 2013
- [11] KÖHL M., FRÜHWALD A., KENTER B., OLSCHOFSKY K., KÖHLER R., KÖTHKE M., RÜTER S., PRETZSCH H., RÖTZER T., MAKESCHIN F., ABIY M., DIETER M. 2009. Potenzial und Dynamik der Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holz: Beitrag des deutschen Forst- und Holzsektors zum Klimaschutz. Landbau-forschung - vTI Agriculture and Forestry Research 327, 103-109
- [12] KÖHL M., PLUGGE D., GUTSCH M., LASCH-BORN P., MÜLLER M., REYER C. 2017. Wald und Forstwirtschaft. In: BRASSEUR G., JACOBS D., SCHUCK-ZÖLLER S. (Hrsg.) Klimawandel in Deutschland. Berlin u. Heidelberg, 193-201
- [13] KRUG J., KÖHL M. 2010. Bedeutung der deutschen Forstwirtschaft in der Klimapolitik. AFZ-Der Wald 17, 30-33
- [14] KRUG J., KÖHL M., RIEDEL T., BORMANN K., RÜTER S., ELSASSER P. 2009. Options for accounting carbon sequestration in German forests. Carbon Balance Manag 4:5
- [15] LANDESBETRIEB WALD UND HOLZ NORDRHEIN-WESTFALEN 2016. Die Wälder Nordrhein-Westfalens im Blick. Ergebnisse der landesweiten Waldinventur 2014.
- [16] MELILLO J.M., FREY S.D., DEANGELIS K.M., WERNER W.J., BERNARD M.J., BOWLES F.P., POLD G., KNORR M.A., GRANDY A.S. 2017. Long-term pattern and magnitude of soil carbon feedback to the climate system in a warming world. Science 358 (6359), 101-105
- [17] MUND M. 2004. Carbon pools of European beech forests (*Fagus sylvatica*) under different silvicultural management. Forschungszentrum Waldökosysteme der Universität Göttingen, Reihe A, Bd. 189. 263 S.
- [18] MUND M., SCHULZE E.D. 2006. Impacts of forest management on the carbon budget of European beech (*Fagus sylvatica*) forests. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 177 (3/4)47-63
- [19] PAEGER J. 2015. Ökosystem Erde. Das Zeitalter der Industrie. Kohlenstoffkreislauf und Klimawandel. <http://www.oekosystem-erde.de/html/kohlenstoffkreislauf.html> Letzter Zugriff: 27.10.2017
- [20] PISTORIUS T. 2012. Der Wald in der Klimapolitik. [www.waldwissen.net](http://www.waldwissen.net) Letzter Zugriff: 21.09.2017
- [21] REICHSTEIN M. 2015. Universell und Überall. Der terrestrische Kohlenstoffkreislauf im Klimasystem. In: MAROTZKE J., STRATMANN M. (Hrsg.) Die Zukunft des Klimas. Neue Erkenntnisse, neue Herausforderungen. Ein Report der Max-Planck-Gesellschaft. Beck, München, 123–136
- [22] SCHUBERT A. 2010. Organisch gebundener Kohlenstoff im Waldboden. LWF aktuell 78, 11-14
- [23] WELLBROCK N., BOLTE A., FLESSA H. 2016. Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland. Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008. Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut, 550 S. Thünen Rep 43
- [24] WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT AGRARPOLITIK, ERNÄHRUNG UND GESUNDHEITLICHER VERBRAUCHERSCHUTZ UND WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT WALDPOLITIK 2016. Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung. Gutachten. Berlin