

## Auch Bäume müssen sterben: Wohin geht denn dann der Kohlenstoff?

Der menschengemacht rasche Klimawandel wird maßgeblich von der Zunahme des Gases Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) in der Atmosphäre angetrieben. Eine nicht mehr ganz neue Erkenntnis, die bereits die Spatzen von den Dächern pfeifen. Wirksame Begrenzung der  $\text{CO}_2$ -Konzentration in der Atmosphäre würde daher wesentlich zur Linderung beitragen. Die in diesem Zusammenhang angestrebte „Kohlenstoff-Neutralität“ hat dabei zum Ziel, dass in der Bilanz nicht mehr  $\text{CO}_2$  in die Atmosphäre ausgestoßen wird, als gleichzeitig wieder gebunden wird.

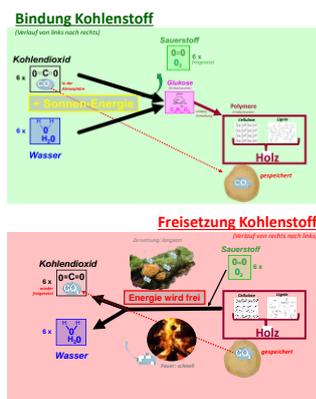
Wichtigstes Instrument ist die drastische Minderung des menschengemachten  $\text{CO}_2$ -Ausstoßes. Keine Frage, dazu gehört maßgeblich die Abkehr von fossilen Energieträger wie z.B. Erdöl. Aber auch die Reduktion des Einsatzes von Materialien, die aus fossilen Rohstoffen hergestellt werden (v.a. Plastik). Denn bei deren Verbrennung wird bisher im Erdmantel gespeicherter Kohlenstoff in Form von  $\text{CO}_2$  in die Atmosphäre freigesetzt. Ähnliches gilt auch für die Verwendung von Baustoffen wie Beton oder Stahl. Bei deren Herstellung gelangen große Mengen  $\text{CO}_2$  in die Atmosphäre. Und zu guter Letzt wäre es bestimmt auch hilfreich, der Atmosphäre  $\text{CO}_2$  zu entziehen und in Form festen Kohlenstoffs zu speichern.

In diesem Zusammenhang können Bäume durchaus eine Rolle spielen. Das wird vor allem dann deutlich, wenn man sich den Weg des Kohlenstoffs im Leben und Sterben von Bäumen sowie bei der Holznutzung vors Auge ruft. Dem Verständnis halber seien daher dazu vorneweg ein paar „klugscheissernde“ Ausführungen erlaubt (Abbildung 1):

**Bindung von Kohlenstoff.** In ihren grünen Blättern oder Nadeln bilden Bäume aus  $\text{CO}_2$  (aus der Luft) und Wasser (aus dem Boden) im ersten Schritt der Photosynthese Kohlenhydrate in Form von Einfachzuckern. Außerdem wird dabei – nicht ganz unwichtig – Sauerstoff freigesetzt. Die für diesen Prozess benötigte Energie stammt von der Sonne.

In nachfolgenden Prozessen werden dann die Einfachzuckern zu langkettige Molekülen zusammengesetzt (Polymere), aus denen auch das Holz besteht. Lebende Bäume entziehen also der Atmosphäre  $\text{CO}_2$  und speichern es in Form „Sonnenenergie-angereicherten“ Holzes.

**Freisetzung von Kohlenstoff.** Beim Abbau des Holzes verläuft der Prozess umgekehrt. Das Holz wird wieder in seine Ausgangsbestandteile zerlegt: Wasser und  $\text{CO}_2$ . Dabei wird Sauerstoff verbraucht, die ursprünglich aus der Sonne gespeicherte Energie wird wieder frei und der vorher im Holz gebundene Kohlenstoff entweicht in Form von  $\text{CO}_2$  wieder in die Atmosphäre. Das trifft übrigens für das Verbrennen von Holz genauso zu, wie beim Abbau von Totholz durch Organismen.



**Abbildung 1:** Bindung und Freisetzung von Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) aus der Atmosphäre bei der Bildung von Holz (obere Grafik) und dem Abbau bzw. Verbrennen von Holz (untere Grafik).

Allerdings: Während beim Verbrennen in kurzer Zeit die gespeicherte Energie als Wärme frei wird, verläuft der Abbau durch Organismen (z.B. Pilze) langsamer und die Organismen nutzen die freiwerdende Energie als Lebensquelle. Für die Kohlenstoff-Bilanz ist dieser Unterschied aber unerheblich: am Ende des Prozesses ist das gesamte CO<sub>2</sub> wieder freigesetzt.

Wenn also bei der Holznutzung am Ende das gesamte CO<sub>2</sub> wieder frei wird, worin besteht denn dann überhaupt der Beitrag zur angestrebten Kohlenstoff-Neutralität? Tatsächlich gibt es dazu verschiedene Möglichkeiten:

- *Erweiterung Waldspeicher.*

Werden aus dem Holz langlebige Produkte (z.B. Möbel, Dachstühle) gefertigt, bleibt das der Atmosphäre entzogene CO<sub>2</sub> über die gesamte Lebensdauer gespeichert. Damit kann in diesem „Holzspeicher“ außerhalb Waldes zusätzlich Kohlenstoff gespeichert werden.

Allerdings wird am Ende der Lebensdauer der Produkte das CO<sub>2</sub> beim Abbau bzw. Verbrennen dieser Holzprodukte selbstverständlich wieder frei wird. Der Holzspeicher erweitert damit zwar den Waldspeicher. Sobald er jedoch vollständig gefüllt ist, endet der Effekt und er leistet bei ausgeglichener Bilanz (Zugang neuer Holzprodukte = Abgang alter Holzprodukte) keinen laufenden zusätzlichen Beitrag mehr.

- *Ersatz nicht-regenerativer Energieträger.*

Der Klassiker: Brennholz. Natürlich wird auch hier das gespeicherte CO<sub>2</sub> wieder frei. Aber: die CO<sub>2</sub>-Bilanz bei Brennholz ist neutral. Es wird daher warm, ohne dass dabei - wie bei fossilen Energieträgern – zusätzliches CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre gelangt. Und: dieser Effekt wiederholt sich jedes Mal, wenn Holz verbrannt wird. Und zwar unabhängig davon ob Brennholz direkt aus dem Wald verwendet wird, oder ob Holzprodukte erst später am Ende ihrer Nutzungsdauer verbrannt werden.

- *Substitution Energie-intensiv hergestellter Baustoffe.*

Für die Herstellung vieler gängiger Baustoffe wie beispielsweise Zement oder Stahl braucht es große Mengen an Energie. Da dafür i.d.R. nicht-regenerative Energieträger eingesetzt werden (müssen), ist die CO<sub>2</sub>-Bilanz solcher Baustoffe ausgesprochen kritisch. Werden solche Baustoffe durch Holz ersetzt, tritt an die Stelle ihrer ausgesprochen negativen CO<sub>2</sub>-Bilanz die nahezu neutrale Bilanz des Baustoffs Holz. Dieser sogenannte Substitutionseffekt hat ein enormes Ausmaß und tritt jedes Mal erneut ein, wenn mit Holz anstelle anderer Baustoffe gearbeitet wird.

Als Zwischenfazit lässt sich daher festhalten: Die (sinnvolle) Nutzung von Holz aus bewirtschafteten Wäldern – wo die Bäume beim Einschlag quasi gezielt zum Sterben gebracht werden – wirkt sich durch Speicher- und vor allem Substitutionseffekte zweifellos günstig auf die Kohlenstoffbilanz aus.

Darüber hinaus wird derzeit allerdings intensiv diskutiert, ob sich dieser günstige Effekt nicht auch einfach dadurch erreichen lässt, dass die Bewirtschaftung eingestellt und alles Holz im Wald verbleibt. Die Vorstellung ist dabei die, dass die in aus der Bewirtschaftung entlassenen Wäldern ansteigende Holzvorräte an lebenden und toten Bäumen (Totholz) auf die Kohlenstoffbilanz mindestens ebenso vorteilhaft auswirken, wie Holzproduktspeicher und Substitutionseffekten bei Holznutzung in bewirtschafteten Wäldern.

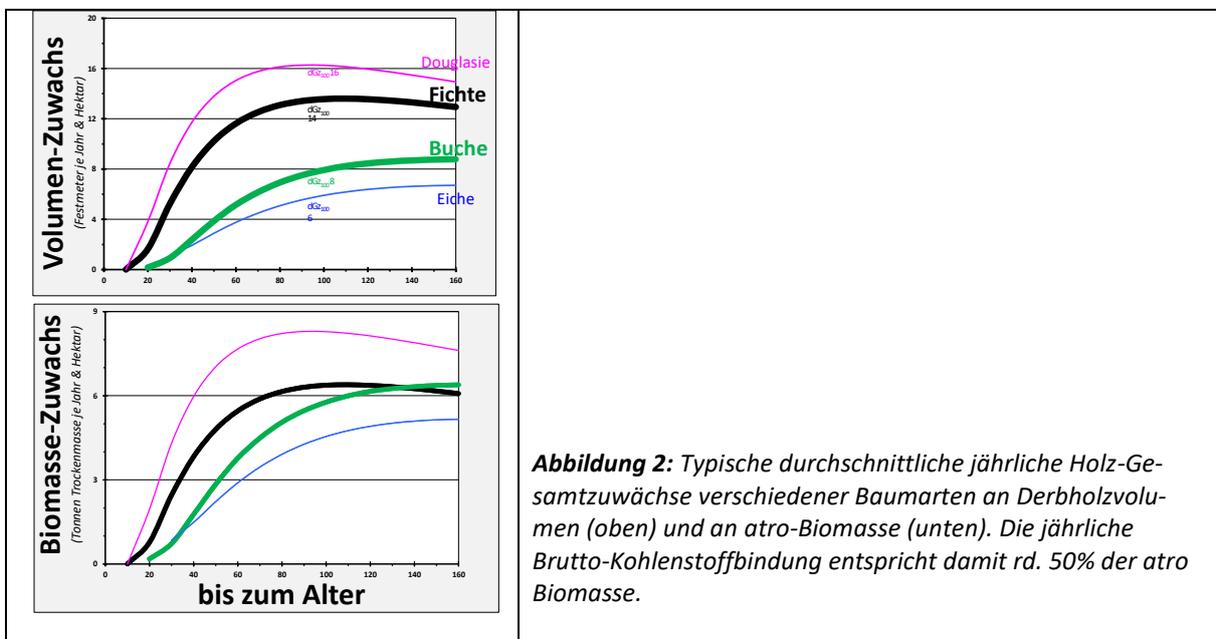
Die Gretchen-Frage ist nun: Trifft das auch wirklich und/oder nachhaltig zu? Tatsächlich sind an der postulierten überlegenen Kohlenstoffspeicherung in aus der Bewirtschaftung entlassenen Wäldern erhebliche Zweifel angebracht. Verantwortlich sind dafür unter anderem folgende Aspekte.

- **Abnehmende Brutto-Kohlenstoffbindung.**

Die Brutto-Kohlenstoffbindung eines Bestandes entwickelt sich proportional zum Zuwachs. Bei Berücksichtigung des holzartentypischen spezifischen Gewichts läßt sich aus dem Volumenzuwachs das produzierte Trockengewicht an Biomasse berechnen (Abbildung 2). Die Biomasse ist ein direkter Indikator für den aus der Luft gebundenen Kohlenstoff, da sie – weitestgehend unabhängig von der Holzart – etwa zur Hälfte aus Kohlenstoff besteht.

Gut zu sehen: Insbesondere bei den Nadelbäumen nehmen Volumen und Biomasse-Zuwachs bereits relativ früh wieder ab. Mit zunehmendem Alter nimmt damit notgedrungen – auch in unbewirtschafteten Wäldern – die jährliche Brutto-Kohlenstoffbindung ab.

Bei Laubbäumen ist die Entwicklung mit zunehmendem Alter zwar weniger stark ausgeprägt – besteht im Prinzip aber ebenso.

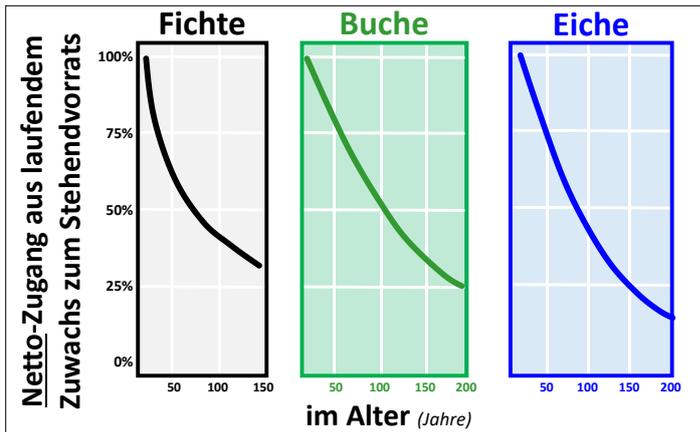


- **Abnehmende Netto-Zuwachsaneicherung.**

In (nahezu) undurchforsteten Beständen nimmt mit zunehmendem Alter nicht nur der Zuwachs selbst ab. Gleichzeitig sinkt auch der Netto-Anteil des Zuwachses, der zur Erhöhung des Stehendvorrates lebender Bäume beiträgt (Abbildung 3). Der Grund liegt in dem in nicht durchforsteten Beständen zunehmenden Konkurrenzdruck:

Dadurch sterben Bäume ab. Deren gespeicherter Kohlenstoff verbleibt zwar zunächst noch als Totholz im Bestand. Da dieses jedoch über kurz oder lang von Organismen abgebaut wird, geht der im Totholz gespeicherte Kohlenstoff bereits mittelfristig weitestgehend wieder als  $\text{CO}_2$  zurück in die Atmosphäre und wirkt sich ungünstig auf die Kohlenstoffbilanz der Bestände aus.

Im Gegensatz dazu greifen in bewirtschafteten Beständen Vor- und Hauptnutzung natürlicher Mortalität weitestgehend vor. Damit entsteht weniger Totholz und das der Nutzung zugeführte Holz trägt via Holzproduktspeicher und Substitutionseffekten zur Verbesserung der Kohlenstoff-Bilanz bei.



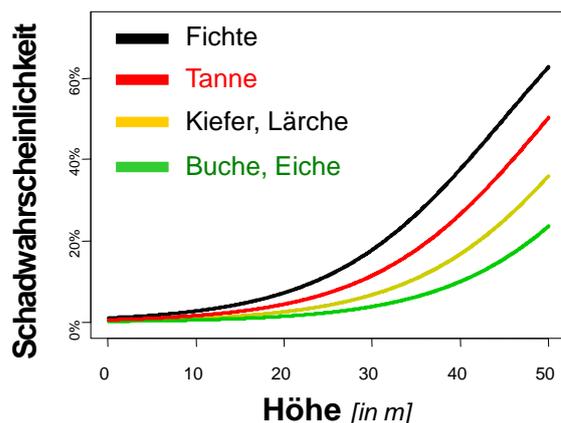
**Abbildung 3:** Anteil des Zuwachses der zur Erhöhung des Stehendvorrates in nur minimal durchforsteten Beständen beiträgt. Dargestellt ist die Netto-Bilanz aus (absolutem) laufendem Zuwachs und Abgang durch infolge zunehmender Konkurrenz absterbender Bäume.

- **Zunehmende Schadrissen.**

Wenn in Beständen die Holznutzung eingestellt wird, steigen selbstverständlich (zunächst) die aufstockenden Holzvorräte an. Mit zunehmendem Alter werden die Bestände aber gleichzeitig auch höher. Damit nimmt das Risiko, dass die anwachsenden Vorräte Opfer von Sturmschäden werden deutlich zu (Abbildung 4). Außerdem erhöhen Sturmschäden insbesondere in Nadelbaum-Beständen zudem auch noch die Gefahr von Borkenkäfer-Kalamitäten.

Abgestorbenen Bäume und Schadholz bleiben dann zwar vorübergehend noch in Form von Totholz als Kohlenstoffspeicher im Bestand erhalten. Da das Totholz aber über kurz oder lang von Organismen abgebaut wird, geht der im Totholz gespeicherte Kohlenstoff bereits mittelfristig weitestgehend wieder als CO<sub>2</sub> zurück in die Atmosphäre.

Derzeit ist zwar noch nicht vollständig geklärt, in welchem Umfang aus Totholz-Abbau stammender Kohlenstoff unmittelbar in den Boden gelangt und dort dauerhaft gespeichert werden kann – sicher ist lediglich: wirklich viel ist es nicht ....



**Abbildung 4:** Zusammenhänge zwischen Baumart, -höhe und Sturmschadensrisiko. Die Risikokurven sind berechnet für eine Windstärke, die der Stärke des Sturmes „Lothar“ in Lee des Nordschwarzwaldes entspricht.

Die Einstellung der Holznutzung in bisher bewirtschafteten Wäldern trägt zwar aufgrund steigender Vorräte an lebenden Bäumen und Totholz zumindest kurzfristig in der Tat zur Kohlenstoffbindung bei. Aber:

- mit zunehmendem Alter sind für die anwachsenden Vorräte steigende Ausfallrisiken verbunden,

- die Zuwächse lassen im Vergleich zu wuchskräftigeren jüngeren Beständen nach - und damit die Kohlenstoffbindung,
- durch Verzicht auf Holznutzung fallen die für die Kohlenstoffbilanz förderlichen Wirkungen des Holz-Produktspeichers und ganz besonders der Substitutionseffekte weg.

Und die Moral von der Geschicht':

Alles in allem, führt der Verzicht auf Holznutzung in bisher bewirtschafteten Beständen nicht wirklich zu einer Verbesserung der Kohlenstoffbilanz. Zumindest mittel- bis längerfristig ist sogar das Gegenteil der Fall. Außerdem – für Forstbetriebe und Waldbesitzer nicht ganz unwichtig – die lebensnotwendigen Erträge aus Holznutzung gibt es nur in bewirtschafteten Wäldern ....