

# Der Wald eine C Senke – ist er das?

Christian Körner, Universität Basel



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

C ist Teil von  $\text{CO}_2$   
 $1 \text{ t C} = 3.7 \text{ t CO}_2$



Die Hälfte von Holz ist  
Kohlenstoff (C)

90% der globalen  
Pflanzenmasse steckt  
in Baumstämmen

0.043 % CO<sub>2</sub> oder 900 Milliarden Tonnen C

21 % O<sub>2</sub>, Sauerstoff (kaum verändert seit 400 Mio Jahren)

In diesen 'ewigen' Kreislauf hat sich der Mensch eingeklinkt  
→ Die Hälfte des C-Kreislaufs läuft über menschliche 'Konten'

Die Jahresbilanz ist netto null (nahezu)

Ein Jahresumsatz von etwa 100 Mrd t C

Treibhauseffekt



2025: 426 ppm CO<sub>2</sub>

1950: 311 ppm CO<sub>2</sub>

# CO<sub>2</sub> in Eisbohrkernen 800'000 Jahre 8 Eiszeiten

426 ppm CO<sub>2</sub>

2025 →

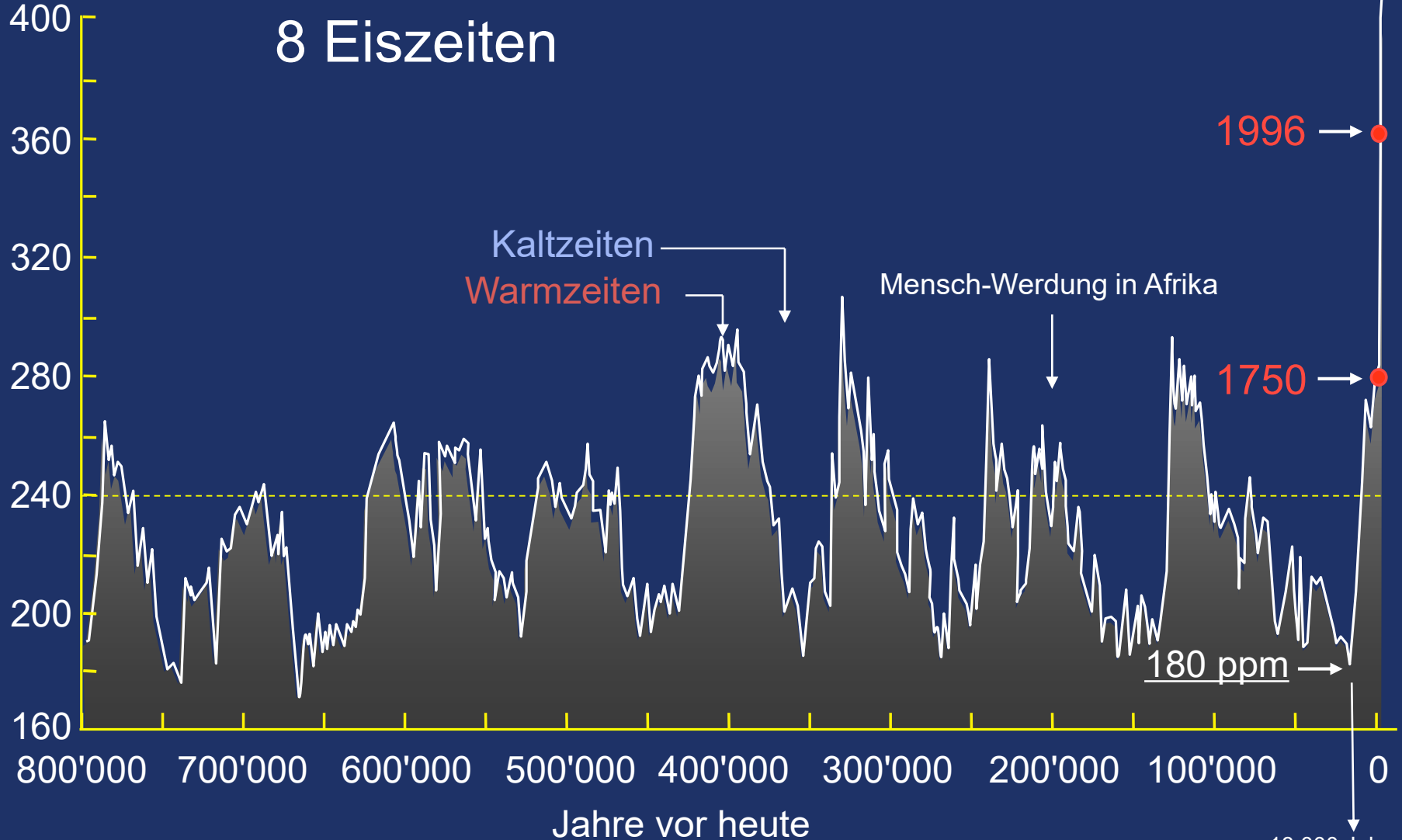
1996 →

1750 →

180 ppm →

18.000 Jahre  
vor heute

CO<sub>2</sub>-Konzentration (ppm)



CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch Verbrennung fossiler  
Energieträger  
jährlich etwa 9 Mrd t C als CO<sub>2</sub>

Die Hälfte davon  
bleibt in der Luft

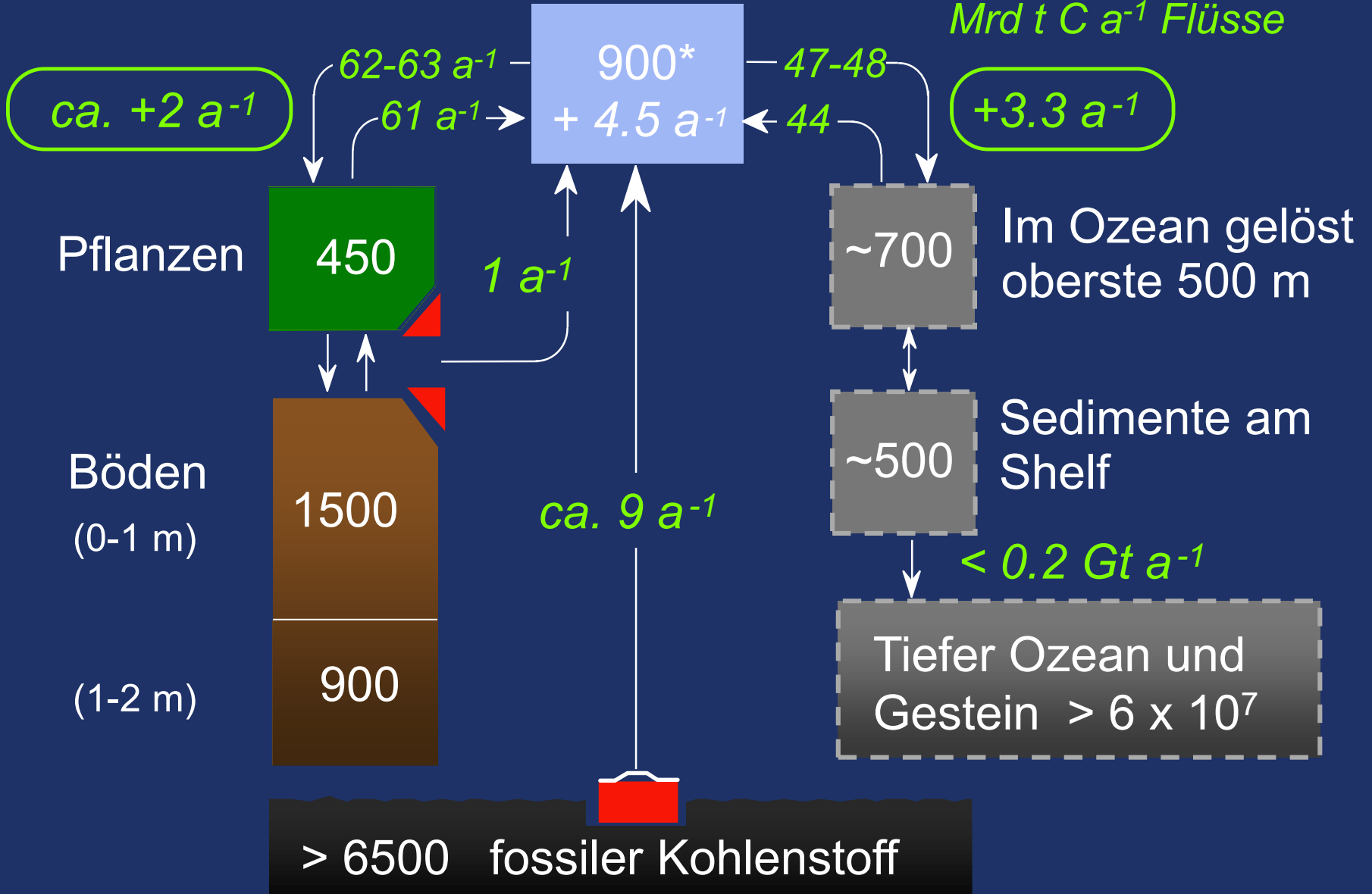


CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch Landnutzung  
(hier Brandrodung)  
Jährlich ca 1 Mrd t Kohlenstoff als CO<sub>2</sub>




# Atmosphäre

Mrd t C Vorräte  
*Mrd t C a<sup>-1</sup> Flüsse*



\* Schätzwert für 2025



Es zieht sich eine  
Sprachverwirrung wie ein roter  
Faden durch die C-Literatur

Senke:

Ein potientielles Speichervolumen

Sequestrierung:

Prozess des Befüllens einer Senke

Vorrat:

Der Inhalt einer Senke

In Genf vor 221 Jahren:

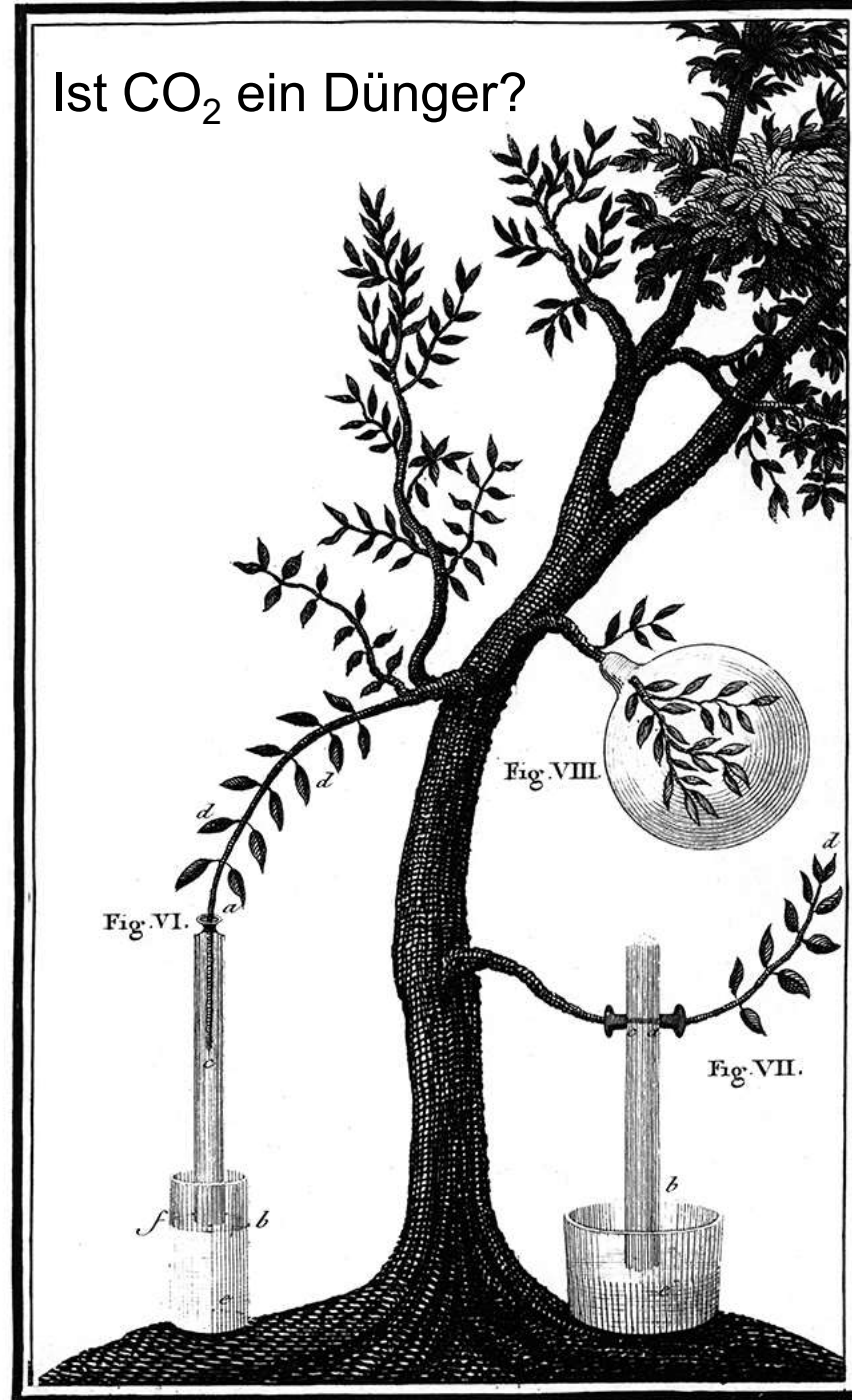
# Pflanzen leben von der Luft (CO<sub>2</sub>)

- **Nicolas-Théodore de Saussure (1804)**  
*Recherches chimiques sur la Végétation.* Paris.

Paving the road:

- **Jan Ingenhousz (1779)**  
*Experiments upon vegetables, discovering their great power of purifying the common air in the sun-shine, and of injuring it in the shade and at night.* P. Elmsly and H. Payne, London, UK.
- **Jean Senebier (1783)**  
*Recherches sur l'influence de la lumière solaire pour métamorphoser l'air fixe en air pur par la végétation.* Barthelemi Chirol, Geneva, Switzerland.

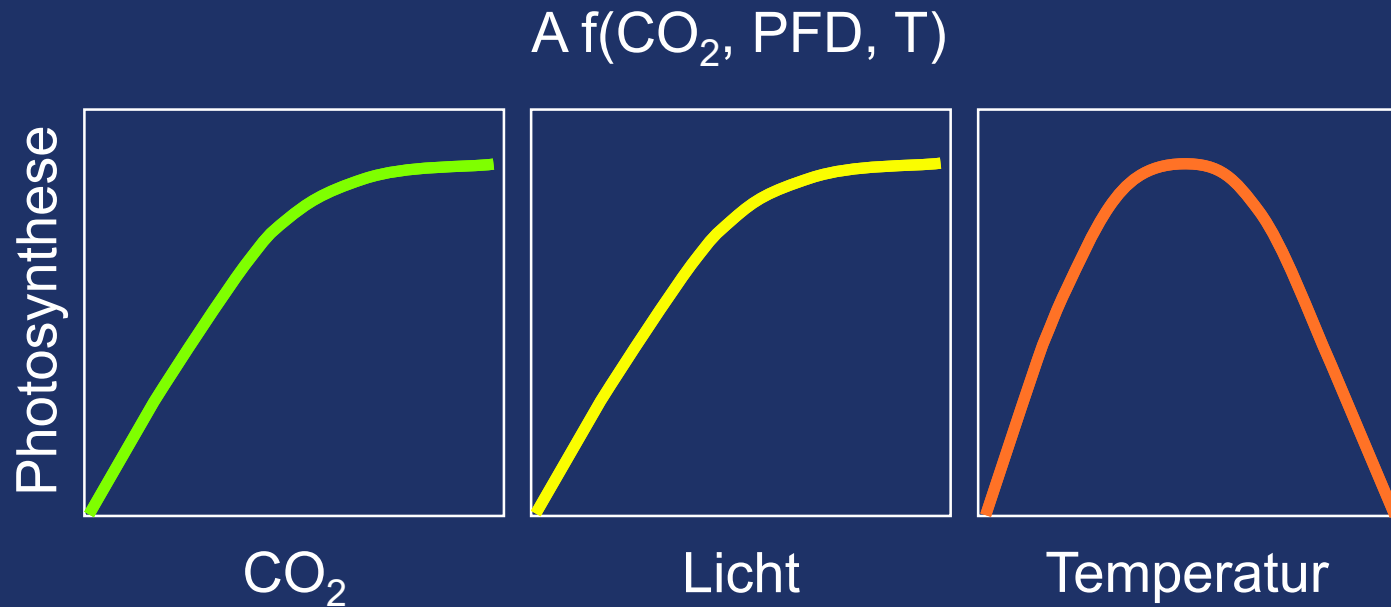
Ist CO<sub>2</sub> ein Dünger?





# Kohlenstofflimitierung ist in der Natur sehr selten

- ➔ Die Kohlenstoff-zentrierte Debatte und Modellierung rund um den Wald in einer CO<sub>2</sub>-reichen Welt, geht von C-Limitierung des Wachstums aus, und hat auch mit der simplen ‚Schönheit‘ der Beziehungs-Mathematik zu tun

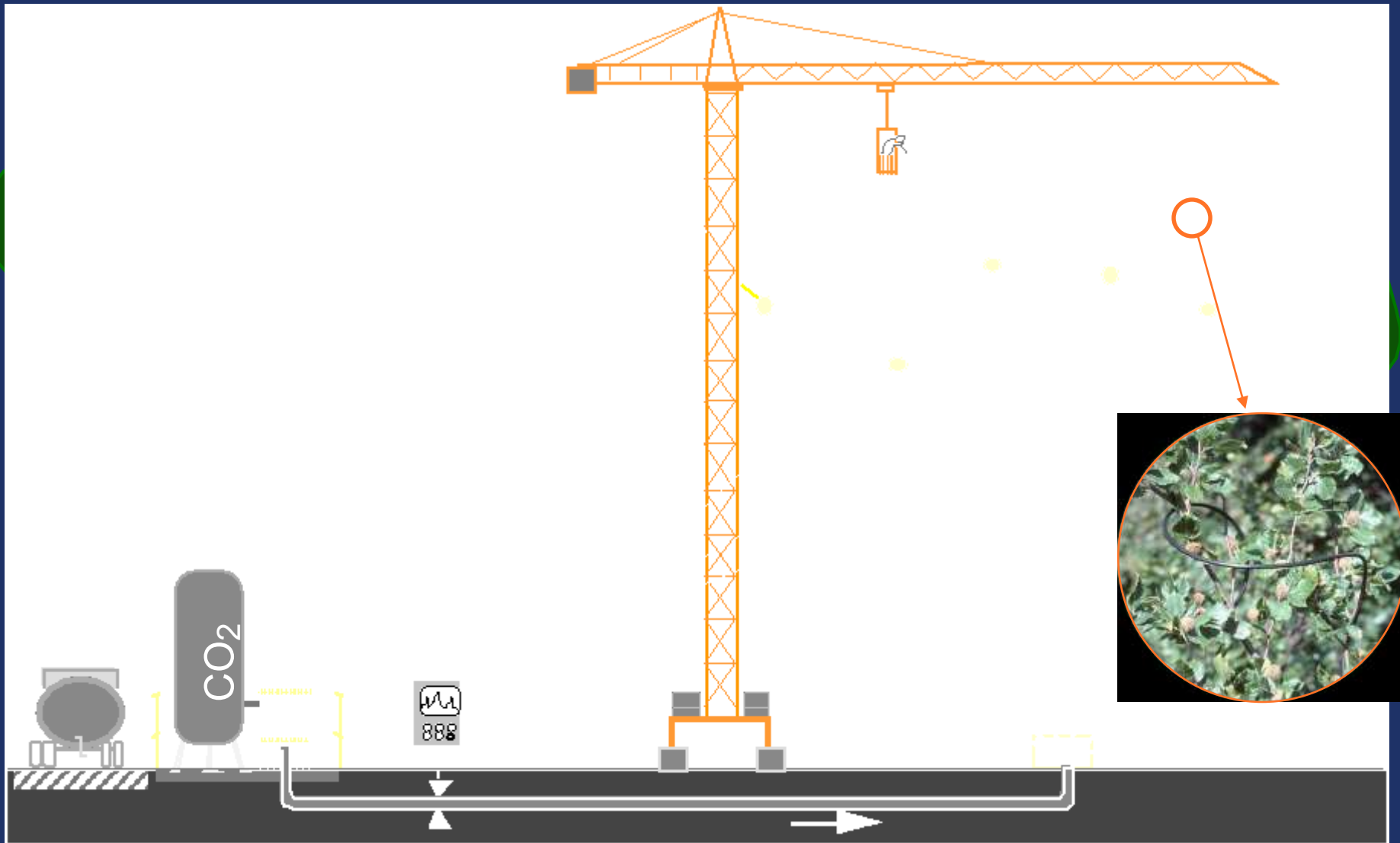


Kohlenstoff ist in freier Natur keine limitierende  
Ressource für das Wachstum  
→ mehr CO<sub>2</sub> fördert das Waldwachstum nicht

13 Jahre FACE in Naturwald

Swiss Canopy Crane I  
(1999-2019)  
Hofstetten bei Basel

# CO<sub>2</sub>-Anreicherung in einem Naturwald

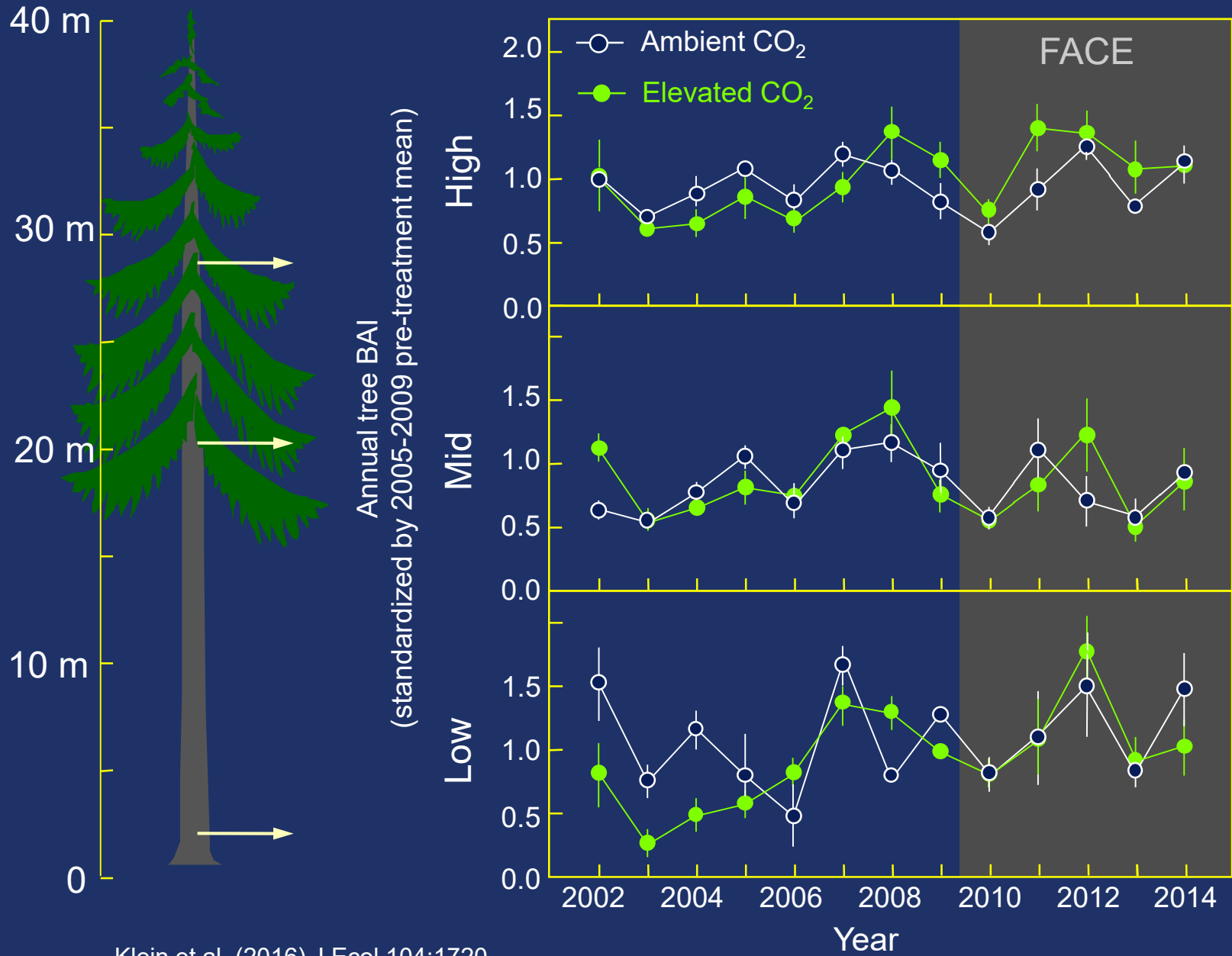


Gas control

CO<sub>2</sub> + <sup>13</sup>C tracer

Pepin and Körner (2002) *Oecologia*  
Körner et al. (2005) *Science*

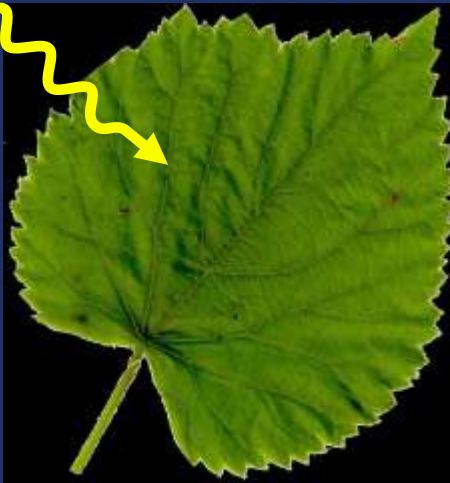
# Keine Wachstumsförderung bei der Fichte durch erhöhtes CO<sub>2</sub>



similar results by:  
 Bader et al (2013) J Ecology,  
 Sigurdsson et al (2013) Tree Phys,  
 Ellsworth et al. (2017) Nature Clim Change  
 Norby et al (2021) Tree Phys

Um eine Pflanze ‚zu bauen‘ braucht es Baumaterial, Transport und Arbeitskräfte und die geeigneten Baubedingungen (Entwicklungszustand, Temperatur, Turgor)

Die alte Vorstellung ging davon aus, dass Wachstum die unausweichliche Folge von Photosynthese sei. Heute ist klar: Die Senke steuert die Quelle



Quelle  
(Photosynthese)



Transport von  
Zucker an die  
Baustelle



Senke  
(Wachstum)

Körner C (2012) *BiuZ* 4:238  
→ Körner C (2015) *Current Opinion Plant Biology* 25:107  
For GPP-growth mismatch see: Cabon et al. (2022) *Science* 376:758

**Aber:**  
Pflanzen bestehen  
nicht nur aus  
C-Verbindungen

# Bodennährstoffe ermöglichen die CO<sub>2</sub> Aufnahme !

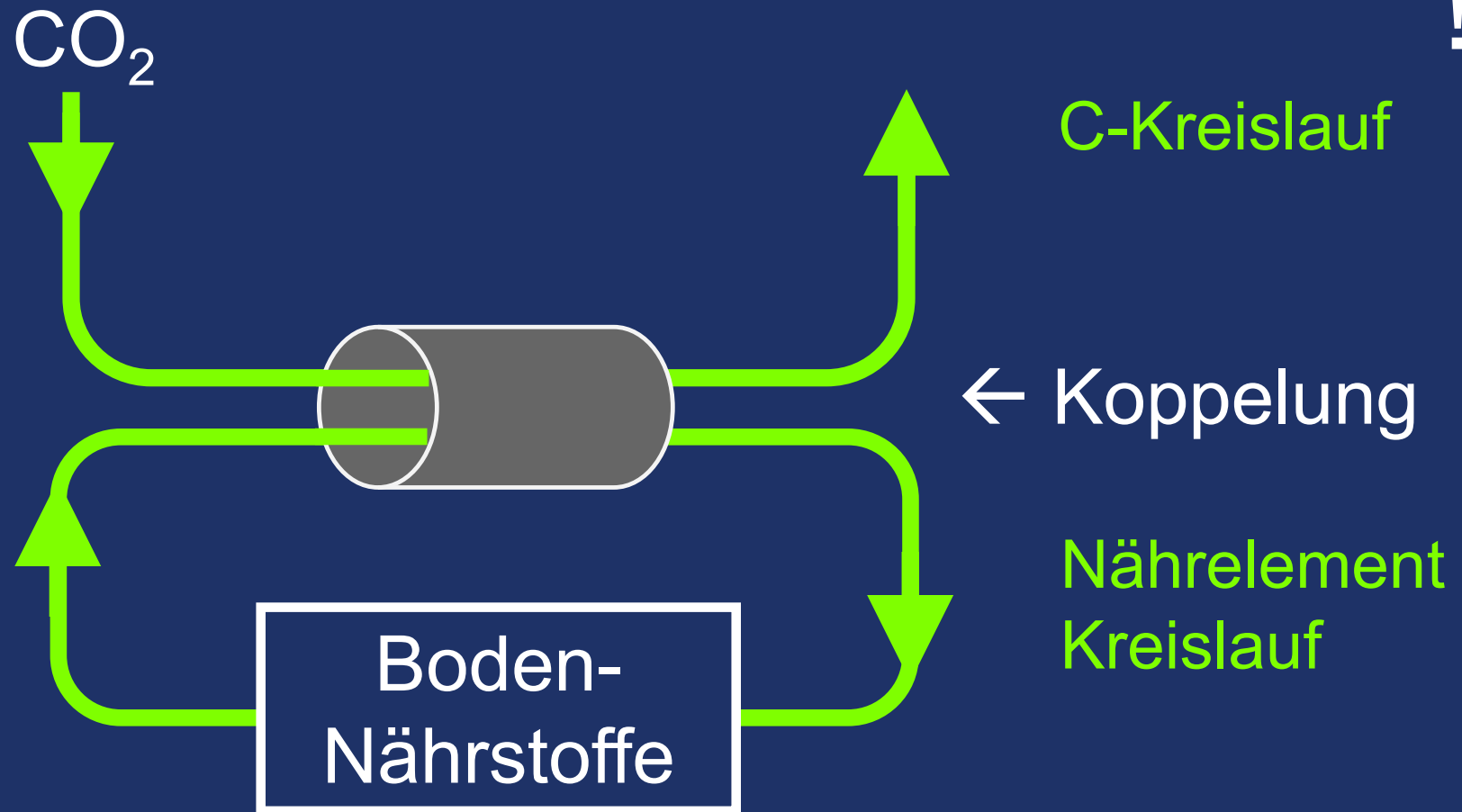
31 chemische Elemente für das Leben von Mikroben, Pflanzen und Tieren

Die Elemente des Lebens

																														2 <b>He</b> Helium 4.0
3 <b>Li</b> Lithium 6.9	4 <b>Be</b> Beryllium 9.0																													10 <b>Ne</b> Neon 20.2
																														18 <b>Ar</b> Argon 40.0
																														36 <b>Kr</b> Krypton 83.8
		21 <b>Sc</b> Scandium 45.0	22 <b>Ti</b> Titanium 47.9																											54 <b>Xe</b> Xenon 131.3
37 <b>Rb</b> Rubidium 85.5		39 <b>Y</b> Yttrium 88.9	40 <b>Zr</b> Zirkon 91.2	41 <b>Nb</b> Niobium 92.9			43 <b>Tc</b> Technetium 99	44 <b>Ru</b> Ruthenium 101.0	45 <b>Rh</b> Rhodium 102.9	46 <b>Pd</b> Palladium 106.4	47 <b>Ag</b> Silver 107.9	48 <b>Cd</b> Cadmium 112.4	49 <b>In</b> Indium 114.8		51 <b>Sb</b> Antimony 121.6	52 <b>Te</b> Tellurium 127.6													86 <b>Rn</b> Radon 222.0	
55 <b>Cs</b> Caesium 132.9		57 <b>La</b> Lanthanum 138.9	72 <b>Hf</b> Hafnium 178.5	73 <b>Ta</b> Tantalum 181.0			75 <b>Re</b> Rhenium 186.2	76 <b>Os</b> Osmium 190.2	77 <b>Ir</b> Iridium 192.2	78 <b>Pt</b> Platinum 195.1	79 <b>Au</b> Gold 197.0	80 <b>Hg</b> Mercury 200.6	81 <b>Tl</b> Thallium 204.4	82 <b>Pb</b> Lead 207.2	83 <b>Bi</b> Bismuth 209.0	84 <b>Po</b> Polonium 210.0	85 <b>At</b> Astatine 210.0													
	88 <b>Ra</b> Radium 226.0	89 <b>Ac</b> Actinium 132.9	90 <b>Th</b> Thorium 232.0	91 <b>Pa</b> Protactinium 231.0	92 <b>U</b> Uranium 238.0																									

... Einige sind redundant, aber c. 22 sind essentiell (nicht nur N!)

Der ökosystemare Kohlenstoffkreis ist so wie das Baumwachstum vom Nährstoffkreislauf getrieben



Körner C (2006) New Phytologist  
Körner C (2022) Tree Physiology

...und über Allem schwebt die schleichende Überversorgung der Landschaft mit Stickstoff durch anhaltende Stickstoffdeposition

ABER: Kein Organismus lebt von C und N allein

NEU: P, Mg, Mn, K, Limitierung



Braun et al 2010 Env Pollution  
Braun et al. 2017 Sci Tot Env



# Steuerung des Pflanzenwachstums

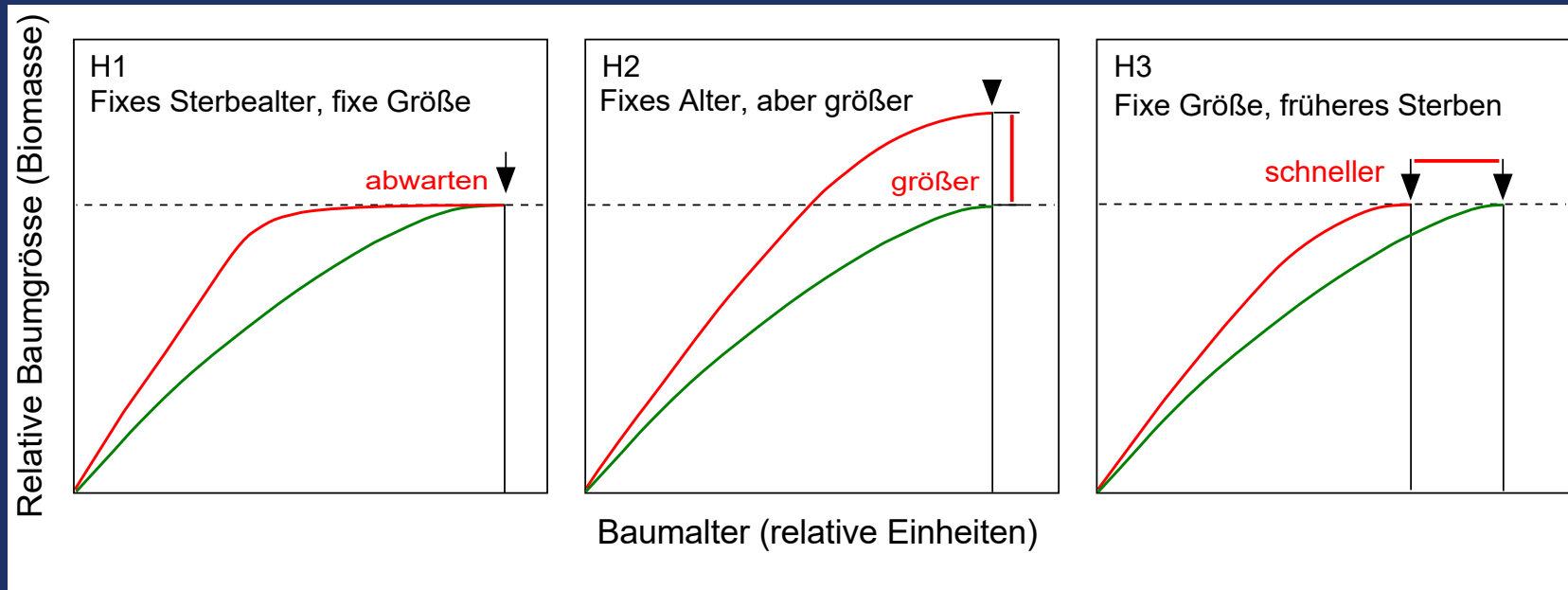
- Die Gewebebildung wird durch die am meisten begrenzende Resource bestimmt, und das ist in der Regel nicht der Kohlenstoff ( $\text{CO}_2$ )
- Die Rate der Gewebebildung steuert die  $\text{CO}_2$ -Aufnahme

Körner C (2003) Carbon limitation in trees. *J Ecol* 91:4-17

Körner C (2015) Paradigm shift in plant growth control.  
*Curr Opin Plant Biol* 25:107



# Was passiert mit dem Vorrat wenn Bäume schneller wachsen?



Unsinnige Hypothese,  
nur der Vollständigkeit  
halber

Warum sollten  
schneller wachsende  
Bäume grösser  
werden?

Schneller wachsende  
Bäume sterben früher  
oder werden früher  
geerntet



Schlüsselrolle der Wald-Dynamik...  
Die Verweildauer bestimmt den Vorrat  
... die Umtriebsrate, Mortalität, *turnover*

Körner C (2017) Science

PERSPECTIVES

CARBON SEQUESTRATION

# A matter of tree longevity

## Tree longevity rather than growth rate controls the carbon capital of forests

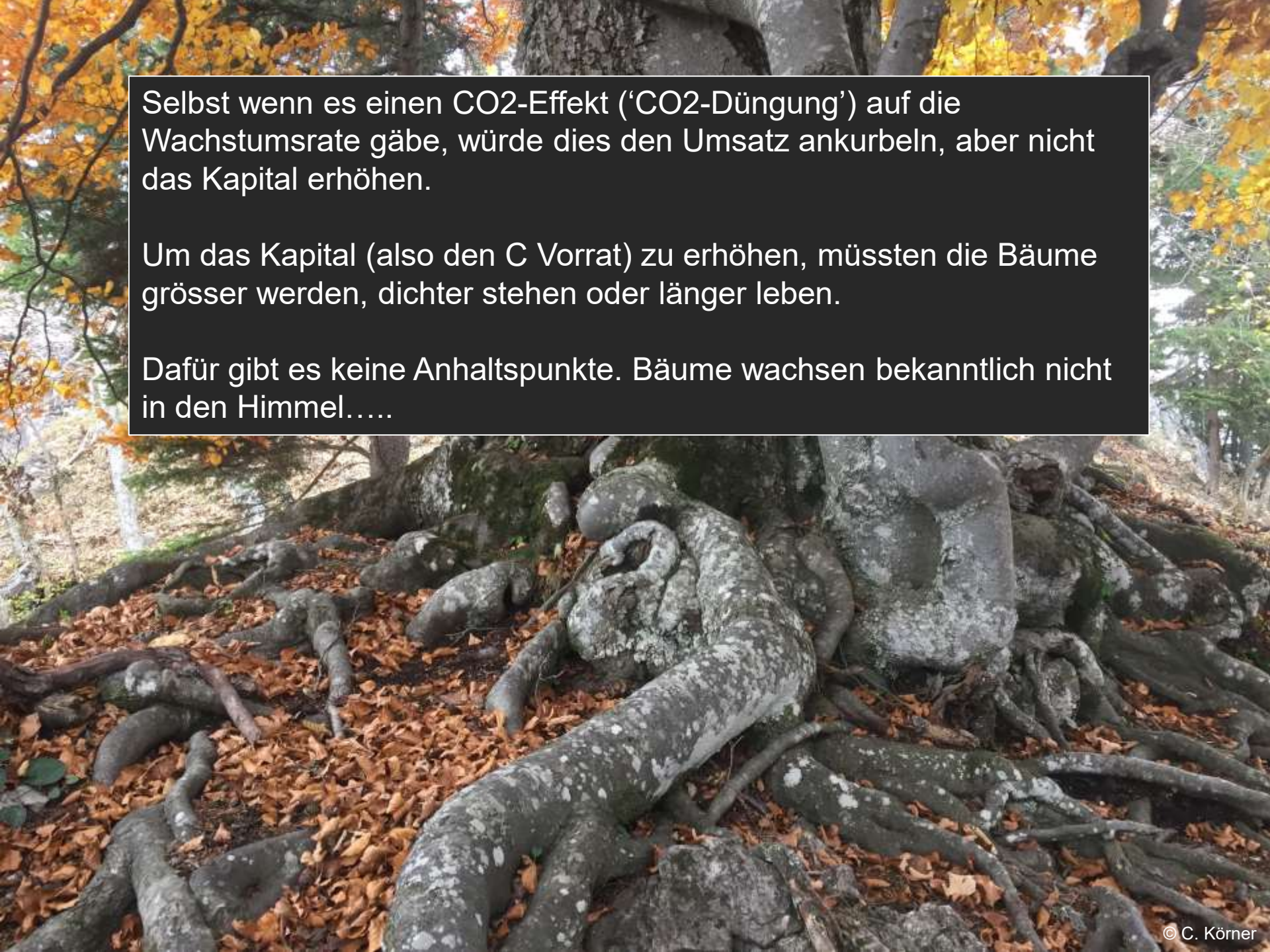
By Christian Körner

**T**here is much scientific and political interest in using the transfer of carbon

atmosphere back to the biosphere mitigates this debt, provided that the removal and subsequent storage last for as long as society considers an increasing greenhouse

ference in these carbon fluxes must remain stored in the system for hundreds of years.

If trees grow faster as result of growth-stimulating environmental change, they will either arrive more rapidly at harvesting size or pass through their natural life span faster. Should such a ramping up of the carbon pool (by faster growth) take place in synchrony over large areas, the result will be a transitory gain in carbon storage—often called “buying time”—followed by a slowing of growth and finally by a carbon release wave when these trees get older (2). This appears to be happen-



Selbst wenn es einen CO<sub>2</sub>-Effekt ('CO<sub>2</sub>-Düngung') auf die Wachstumsrate gäbe, würde dies den Umsatz ankurbeln, aber nicht das Kapital erhöhen.

Um das Kapital (also den C Vorrat) zu erhöhen, müssten die Bäume grösser werden, dichter stehen oder länger leben.

Dafür gibt es keine Anhaltspunkte. Bäume wachsen bekanntlich nicht in den Himmel.....

## Die UMSATZ - KAPITAL Konfusion in der Kohlenstoffdebatte

- Was zählt, ist nicht wie schnell der Kohlenstoff eingebaut wird (Waldwachstum)
- was zählt ist, wie LANGE er dort bleibt (und nicht wieder rezykliert wird)

'Wachstum' zusammen mit 'Ernte oder natürlichem Tod' sind **UMSATZ**größen

Umsatz sagt bekanntlich nichts übers Kapital aus

Die Menge an Kapital (C-Depot) wird von der **VERWEILDAUER** bestimmt





alamy stock photo

Mit dem Vorrat an Kohlenstoff in einem Wald ist das wie mit einer überlaufenden Badewanne:

Die Zulaufmenge sagt nichts über die Grösser der Wanne

Waldwachstum sagt nichts über den Holzvorrat, so wie Umsatz nichts über das Kapital sagt

# Biologisch CO<sub>2</sub> speichern oder fossiles C ersetzen

(1) Vorhandene, alte Wälder nicht zerstören.  
Es dauert 100-200 Jahre sie herzustellen

(2) Neue biologische Kohlenstoff-Depots  
schaffen durch Waldvermehrung – wo?



→ (3) Vorrat erhöhen, also Umtriebszeit verlängern  
(‘buying time’)

→ (4) Statt fossilem Kohlenstoff Biomasse-Kohlenstoff  
nutzen (Substitution)



Effekte sind sehr begrenzt aber nicht null !  
"Do it, but don't expect it to solve the problem"

Energie vom Acker gehört verboten

## CO<sub>2</sub>-Zertifikate

bescheinigen dem Käufer, dass das von ihm freigesetzte CO<sub>2</sub> durch den Verkäufer irgendwo wieder eingefangen gespeichert oder ersetzt wurde

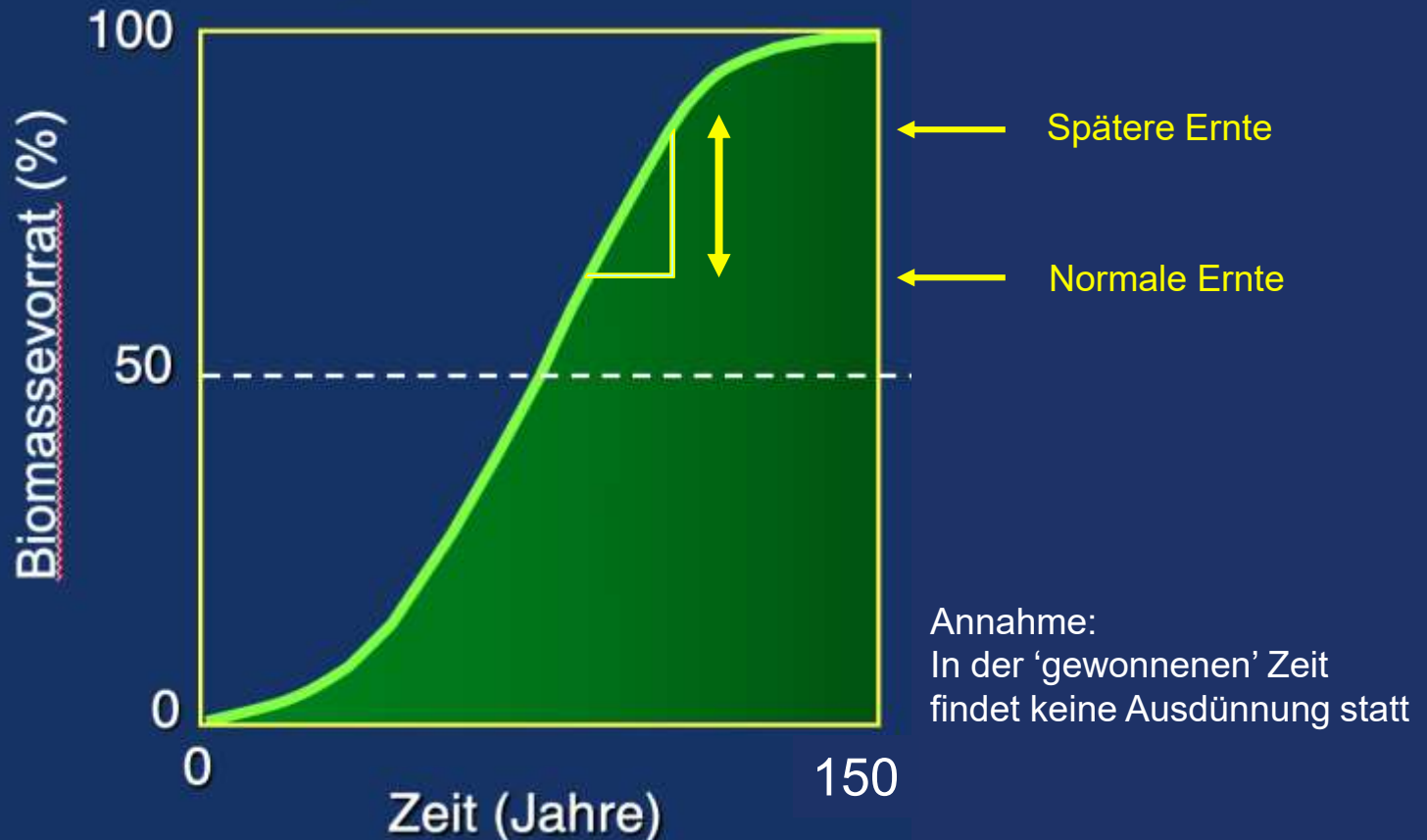
Dafür zahlt der Käufer und kauft sich so von der 'Schuld' frei

Auch Massnahmen zur Verminderung von CO<sub>2</sub>-Freisetzung kann man als Zertifikat verkaufen

Auch 'nichts tun' statt 'tun' kann man sich belohnen lassen  
Statt abholzen nicht abholzen. Nicht ernten, wann üblich...



Kann man sich eine verlängerte Umtriebszeit via C-Zertifikat vergüten lassen ?



Nur dann, wenn das Holz nicht einfach wo anders gekauft wird, also bei vermindertem Holzkonsum, egal wofür.... Wer soll das wollen?



Bauen mit Holz....

Die mittlere Verweildauer von Holz in der Wirtschaft und als Totholz im Wald ist ähnlich lang: 20 – 30 Jahre

Beide Arten von Vorräten haben ein Verfallsdatum und Risiken





Erntet man in jedem Jahr nur das eine Prozent des Waldes, um das dieser zuwächst, bleibt der Kohlenstoffspeicher konstant.

JANICK RAUF / NZF

## Ungenutzte Waldflächen für das gute Gewissen

*Zertifikatshandel mit Holz als Biomassespeicher ist nicht viel mehr als Greenwashing. Denn diese Speicherung hat ein Ablaufdatum und verhindert die Nutzung des nachwachsenden Rohstoffes. Gastkommentar von Christian Körner*

Einige Forstbetriebe in der Schweiz sind auf die Idee gekommen, sich die Bildung von Holzvorrat im Wald abgelten zu lassen und Zertifikate zu verkaufen, mit denen sich die Käufer in gutem Glauben von ihrer CO<sub>2</sub>-Schuld freikaufen können. Andere, wie vor kurzem die Schweizer Post, meinen, dass schon der blosse Besitz eines Waldes eine Wohltat fürs Klima ist.

Das Konzept dieser CO<sub>2</sub>-Zertifikate beruht auf der für einen bestimmten Zeitraum unterlassenen Nutzung des Waldes. Der so ungenutzte Wald wird also laufend älter und legt dabei jedes Jahr in seinem Holz Kohlenstoff fest. Trockenes Holz besteht zur Hälfte aus dem Element Kohlenstoff, das nach der natürlichen Verrottung oder nach Verbrennung als Kohlendioxid wieder in die Luft entweicht. In unserem Klima erreicht ein Baum etwa im Alter von 100 Jahren Hieb reife. Erntet man jedes Jahr nur das eine Prozent des Waldes, um das er zuwächst, bleibt der Vorrat (und damit der Kohlenstoffspeicher) insgesamt konstant.


Dieses Prinzip erkannte Hans Carl von Carlowitz schon im Jahr 1713 und begründete damit die Idee der Nachhaltigkeit der Waldnutzung. Erntet man nicht, was der Kern dieser Zertifizierungsmodelle ist, legen die Bäume weiter an Masse zu. Dieser Zuwachs wird als CO<sub>2</sub>-Zertifikat verkauft. Jedes Kind kann aber verstehen, dass Bäume nicht in den Himmel wachsen. Irgendeinmal sterben sie natürlich, holt sie der Borkenkäfer, oder ein Sturm legt den Wald flach (was umso wahrscheinlicher wird, je älter die Bäume werden). Die Speicherung ist also zeitlich begrenzt – wie lange, hängt im Nutzwald vom Förster ab.

Dieser Effekt ist also ein Geschäftsmodell mit Ablaufdatum. Dazu kommt eine weitere Schwachstelle, nämlich, dass in der Phase der Nichtnutzung das Potenzial des Waldes, fossile Bau- und Brennstoffe zu ersetzen, verfällt. Das müsste der Speicherleistung gegengerechnet werden: Mehr Speichern schliesst gleichzeitige Nutzung aus.

Nun kann man sagen, man zögert die Nutzung 20 Jahre hinaus, wartet also, bis der hieb reife Waldanteil jeweils 120 Jahre alt ist, und beginnt dann wieder mit der nachhaltigen Nutzung, entnimmt also jährlich nur, was jährlich zuwächst, aber auf diesem höheren Vorratsniveau. Diesen Vorratsprung und Nutzungsverzicht lässt man sich per Zertifikat abgelden. Ab diesem Zeitpunkt bleibt der Vorrat dann wieder konstant. Man kann dann keine neuen Speicherzertifikate mehr verkaufen.

Nutzen und Speichern geht nicht gleichzeitig

CO<sub>2</sub> Zertifikate aus dem Wald sind meist 'green washing'



Für den Kohlenstoffvorrat im Wald ist es bedeutungslos wem der Wald gehört

Die Schweizer Post kaufte 2023  
2400 ha Wald in Thüringen

# Windwurf

(Lothar, 26. Dezember 1999)



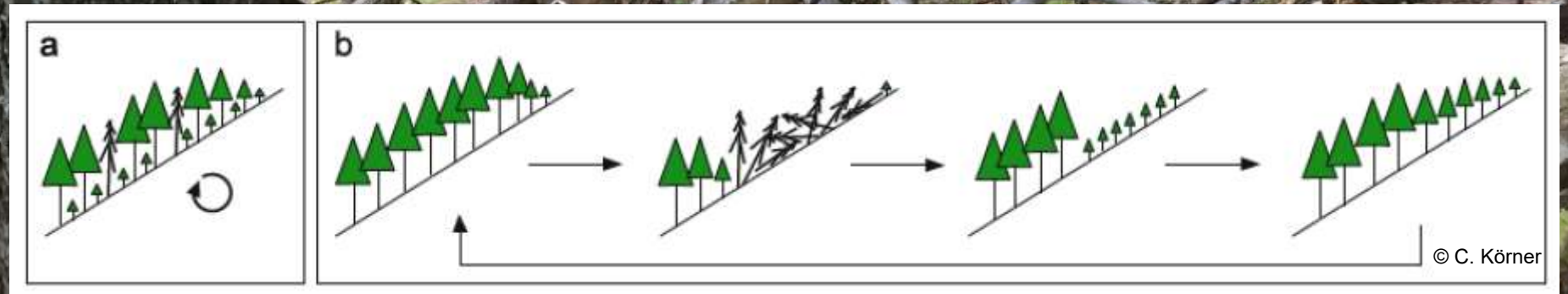
# Käfer



Feuer



Nichts tun...Wildnis erzeugen...  
Win-Win? Gewinn an Biodiversität und erhöhte C-Speicher?





Urwälder sind für die Biodiversität wichtig, die C-Speicherung ist nicht speziell hoch, sobald es eine natürliche Dynamik gibt.

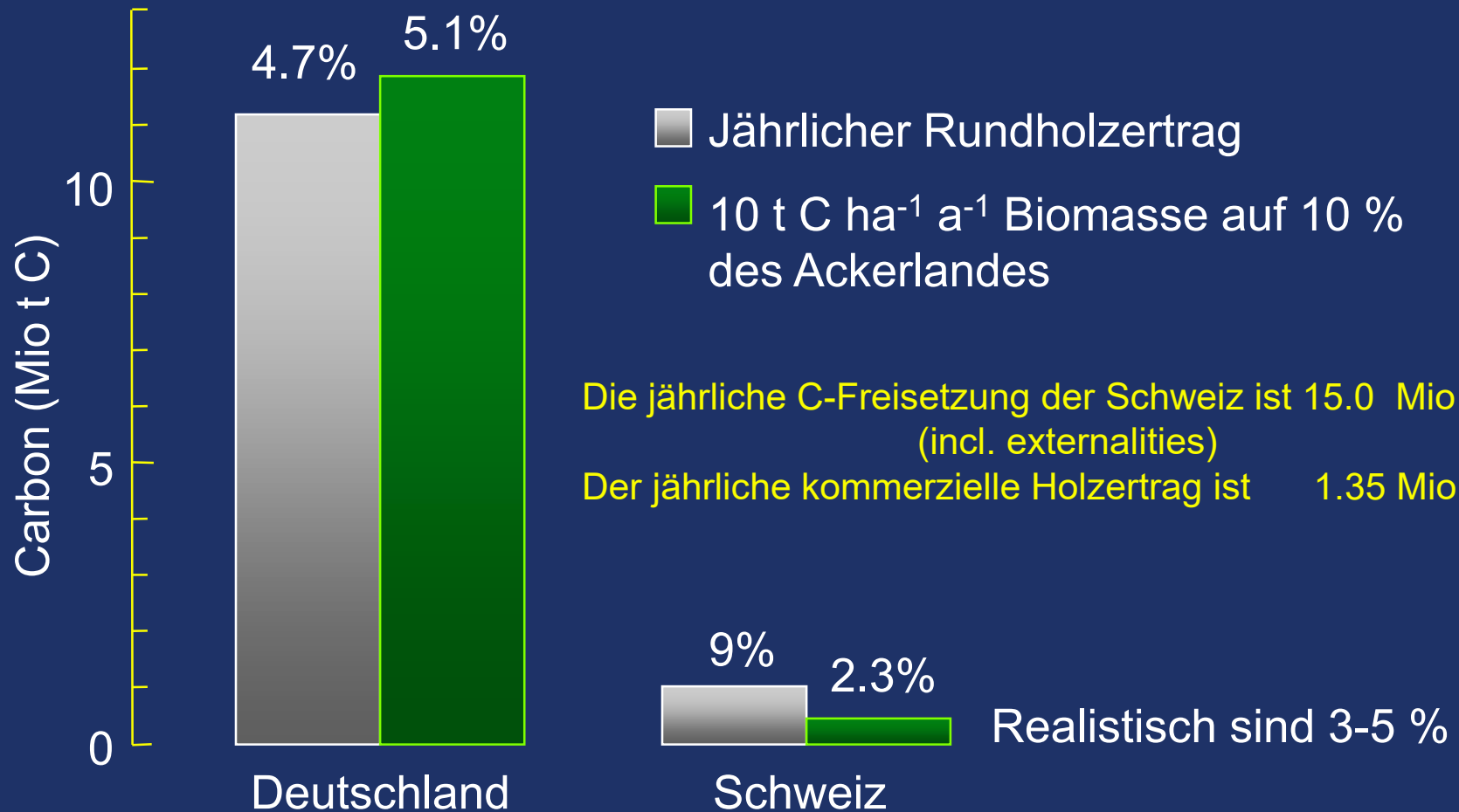


Schwyz, Schweiz: Regenstimmung im Bödmeren-Urwald. Auf einem unzugänglichen Plateau im Muothatal hat der größte Fichtenwald mit Urwaldcharakter im Alpenraum überlebt. Die älteste Fichte ist 484 Jahre alt. (c) Matthias Schickhofer



Zum Naturwald gehört Störung

# Substitutionspotential in % der fossilen C Emission (100%)



3-5 % Bio-Treibstoff einsetzen ist, wie mit 6.1 Liter (D) oder 6.3 Liter (CH) pro 100 km fahren, statt mit 6.6 Liter pro 100 km

Die CO<sub>2</sub>-Anreicherung in der Atmosphäre können wir nur sehr geringfügig mit dem Wald ‚bekämpfen‘

Realismus ist gefragt:

Würden wir den gesamten CH-Konsum an fossiler Energie heute durch den gesamten jährlichen Rundholzertrag der Schweizer Forstwirtschaft ersetzen, könnten wir 9 % fossiles C einsparen, realistisch sind <5 %

- Ein CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt auf den C-Speicher im Wald ist eine Illusion
- Was für den Vorrat zählt, ist die Umtriebszeit und nicht die Wachstumsgeschwindigkeit
- Bioenergie vom Acker verdrängt die Nahrungsproduktion





Und noch eine Bitte zum Schluss:  
Diesen Sprachmissbrauch vermeiden

Senke:	Ein potentiell <u>es Speichervolumen</u>
Sequestrierung:	<u>Prozess</u> des Befüllens einer Senke
Vorrat:	Der <u>Inhalt</u> einer Senke

[ch.koerner@unibas.ch](mailto:ch.koerner@unibas.ch)