Dieser Beitrag ist in der **Nummer 45 (2/2020)** des Lehrermagazins *lebens.mittel.punkt* **erschienen. Unter www.ima-lehrermagazin.de** finden Sie die ganze Ausgabe zum Download!

Humusaufbau für den Klimaschutz

Unsere Böden enthalten große Mengen an Kohlenstoff – und sie könnten noch viel mehr aufnehmen, und zwar durch Humusaufbau. Damit ließe sich sogar der Klimawandel verlangsamen. Der Baustein erklärt vereinfacht, was Humus für die Umwelt leistet und wie LandwirtInnen und GärtnerInnen zu KlimawirtInnen werden.

LERNZIELE UND KOMPETENZEN

Fächer: Erdkunde, Wirtschaft, AG Umwelt, Chemie

Die Schülerinnen und Schüler

- beschreiben den globalen Kohlenstoffkreislauf;
- bearbeiten einen Sachtext mit Fragen zu Dauerhumus als CO_2-Senke;
- erklären und vergleichen Methoden zum Humusaufbau (Garten und Acker);
- erläutern das Prinzip von CO_2- und Humuszertifikaten;
- bestimmen im Labor den Humusgehalt einer Probe.

SACHINFORMATION

KOHLENSTOFF IST ÜBERALL

Alle Bausteine des Lebens enthalten Kohlenstoff (C). C steckt auch im Gestein, in fossilen Brennstoffen wie Kohle, in Torf, Bodenhumus und der Atmosphäre. Ohne Kohlendioxid (CO_2) aus der Luft könnte keine Pflanze wachsen und Biomasse wie pflanzliche Nahrung bilden.

Bei vielen Prozessen werden C-haltige Gase freigesetzt: etwa bei biologischer Atmung und Zersetzung bzw. Fäulnis, Vulkanausbrüchen, Verwitterung von (Kalk-)Gestein und Verbrennung von Stoffen wie Erdöl, Kohle oder Holz. Zu viel Kohlendioxid (CO_2) und Methan (CH_4) in der Atmosphäre sind schädlich, weil sie zum Klimawandel beitragen.

CO_2 wird der Atmosphäre durch die Fotosynthese der Pflanzen entzogen und in Biomasse organisch gebunden. Wird diese im Boden zersetzt, entsteht dort Humus, in dem Kohlenstoff mittel- bis langfristig festgelegt ist. Humusaufbau bietet ein großes Potenzial zum Klimaschutz, aber auch zum Schutz der Böden vor Starkregen und Dürre (Struktur und Wasserspeichervermögen) und zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit.

58 PROZENT C IM HUMUS!

Humus ist abgestorbene organische Substanz im Boden und entsteht durch Zersetzung von Pflanzenresten, Bodenorganismen und deren Ausscheidungen. Leicht abbaubarer Nährhumus (1/3) wird von stabilem Dauerhumus (2/3) unterschieden. Er bietet eine langsam fließende Nährstoffquelle.

Mit einem Anteil von 58 % ist C der wichtigste Baustein des Humus – neben Stickstoff (N), der auch in allem Lebendigen steckt. Das C/N-Verhältnis im Humus von Ackerböden liegt bei etwa 10:1. Demnach enthält 1 t Humus neben 580 kg C auch 58 kg N.

Unterschiedliche Gehalte an organischem Kohlenstoff (C_{org}) im gesamten Boden resultieren u. a. aus Entstehung, Klima und Nutzung der Böden. Sandböden weisen geringe Gehalte auf, Torfböden hingegen hohe. In Deutschland enthält 1 Hektar Mineralböden unter Acker in den obersten 30 cm im Mittel 61 t C_{org} und unter Grünland 88 t C_{org}. Etwa 1/10 der Ackerfläche verliert Humus. Tiefer im Boden nimmt der Gehalt durch natürliche Prozesse ab. Die Humusgehalte sollen im Sinne des Boden- und Klimaschutzes gesteigert werden.

BÖDEN ALS CO_2-SENKE

Rechenbeispiele zeigen das große Potenzial des Bodens als CO_2-Senke: Ein Hektar schwach humoser Boden mit einem Humusgehalt von nur 2 % enthält in den obersten 30 cm schon 52 t gebundenen Kohlenstoff. Ein Humusaufbau von 2 auf 2,6 % könnte so viel CO_2/ha festlegen (C-Sequestrierung), wie in der darüberliegenden Luftsäule enthalten ist. Die ca. 80 km hohe Luftsäule über der Fläche von einem Hektar enthält nämlich mit rund 15 t C (bzw. 55 t CO_2) im Vergleich zum Boden relativ wenig Kohlenstoff.
Bei der UN-Klimakonferenz 2015 in Paris entstand die „4 Promille Initiative“: Eine Erhöhung der Humusgehalte in allen Böden der Welt um 4 ‰ pro Jahr könnte die durch Menschen bedingten

© i.m.a e. V. | Foto: VHE (Aufmacher)

Komposte werden bevorzugt nach der Getreideernte ausgebracht. Bis auf wenige Monate im Jahr ist die Kompostausbringung ganzjährig möglich.

CO_2-Emissionen weitgehend kompensieren, auch wenn Anreicherung und Speicherkapazität von Natur aus zeitlich und mengenmäßig begrenzt sind. Das 4‰-Ziel ist optimistisch, aber erreichbar – der Weg dorthin noch weit.

Derzeit wird untersucht, wie die C-Festlegung in landwirtschaftlich genutzten Böden und der Handel mit CO_2-Zertifikaten nachprüfbar gestaltet werden können. Wiederherstellung und Vernässung von Torfmooren, Agroforstsysteme, Zufuhr organischer Dünger wie Kompost und Erhalt von Grünland gelten als Ansatzpunkte. Für die Forstwirtschaft soll die Umweltministerkonferenz im Herbst 2021 Honorarmodelle vorschlagen.

MASSNAHMEN FÜR MEHR HUMUS

Humus kann auf Ackerflächen durch Fruchtfolgen mit mehr Fruchtarten und humusmehrende Kulturen wie tief wurzelnde Hülsenfrüchte angereichert werden. Weiterhin tragen regelmäßige organische Düngung, möglichst ganzjährige Begrünung und z. T. auch reduzierte Bodenbearbeitung und Direktsaat zur Humusmehrung bei. Das Optimieren des pH-Werts (Kalken), eine bedarfsgerechte Düngung und/oder eine Bewässerung erhöhen die Erträge und steigern über mehr Wurzel- und Ernterückstände den Humusgehalt.

Die ökologische und die regenerative Landwirtschaft setzen für die Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit besonders auf Humusaufbau und beurteilen Anbauverfahren deshalb mit Blick auf ein ausgewogenes Bodenleben und die Stoffwechselaktivität der Pflanzen. Kernpunkt ist der im Humus gebundene Kohlenstoff. Vergleichbare Ansätze lassen sich in Gartenbau und Hausgarten umsetzen. Laub, das im Herbst als Streuschicht verrottet, trägt zum Erhalt des Bodenhumus bei. Gras- sowie Gehölzschnitt und sogar Kaffeesatz im Komposthaufen entsprechen dem, was LandwirtInnen mit organischen Düngern, Ernteresten, Zwischenfrüchten und phosphatarmem Kompost (aus Grünschnitt) im Ackerbau machen.

Mit Ernteprodukten entzogene Nährstoffe müssen ersetzt werden, um die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten. Die organische Düngung hat dabei eine Sonderrolle, da sie dem Boden neben Nährstoffen auch gebundenen Kohlenstoff zuführt und damit als Grundlage für den Humusaufbau dient. Auch die Qualität der organischen Dünger zählt: 1 t frischer Kompost liefert rund 71 kg C, der im Boden verbleibt. Wie oben erwähnt muss das Verhältnis zum Stickstoff (N) stimmen, also muss der Boden für den Aufbau von Humus auch mit N versorgt werden. Dies gelingt am besten mit N-haltigen Substraten wie eben Kompost.

HUMUSAUFBAU: 5 PRAKTISCHE SCHRITTE

- **Belebend düngen:** Organische Substanz ist Nahrung für das Bodenleben, bringt Umsetzungs- und Humifizierungsprozesse in Gang, stabilisiert die Bodenstruktur.
- **Unterboden lockern:** Pflanzenwurzeln schaffen Poren, die u. a. für den Luft- und Wasserhaushalt des Bodens wichtig sind (z. B. Versickerung von Regen).
- **Dauerhaft begrünen:** Pflanzen schützen den Boden vor Verschlämmung und Erosion und verhindern die Auswaschung von Nährstoffen.
- **Gründüngung zur Rotte bringen:** Flache Einarbeitung lockert den Boden und regt durch Sauerstoffzufuhr den Ab- und Umbau des organischen Materials an.
- **Für höchste Fotosyntheseleistung:** Organisches Material belebt den Boden, der z. B. Trockenheit besser abpuffert und abiotischen Stress für die Pflanzen reduziert – die Fotosyntheseleistung steigt.

LINK- UND MATERIALTIPPS

- Anknüpfende Themen und Materialien aus Lehrermagazin, z. B. in Heft 20 (Bodenarten) und 44 (Humus) unter ima-lehrermagazin.de
- Sonderheft „Komposthaufen und Biotonne“ und Unterrichtsposter „Boden“ unter ima-shop.de
- Materialsammlung unter bodenwelten.de/content/unterrichtsmaterialien
- VHE-Magazine „HuMuss Garten“ und „HuMuss Land“ unter vhe.de/publikationen/humuss/
- Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Auftrag der Bundesregierung unter thuenen.de/de/boden/ → Bodenzustandserhebung Landwirtschaft

METHODISCH-DIDAKTISCHE ANREGUNGEN

Das Thema schließt sich gut an alle Unterrichtseinheiten zu Bodenqualität und Klimawandel an. Die (an-)organischen Bestandteile des Bodens sollten den SchülerInnen bekannt sein. Die Jugendlichen können sich das Thema mit dem Text selbst erarbeiten und Fragen in Kleingruppen klären. Die ersten Aufgaben auf **Arbeitsblatt 1** und das **Extrablatt** erklären den Wert von Humus und verdeutlichen die immense Bedeutung des Elements C. Weitere Aufgaben behandeln Dauerhumus als CO_2-Senke. Bevor die Klasse mit **Arbeitsblatt 2** Methoden zum Humusaufbau in Garten und Acker erläutert, bestimmt sie im Schullabor mit dem Versuch auf der **Sammelkarte** den Humus- bzw. C-Gehalt einer Probe. Diskutieren Sie dessen Potenzial für Humusaufbau. Abschließend lernen die SchülerInnen mit der **Statistikgrafik** (S. 25) die Idee der CO_2- und Humuszertifikate zur Förderung von Humus kennen. Im Glühversuch der **Sammelkarte** verbrennt die organische Substanz, der mineralische Boden bleibt als Rückstand übrig. So kann der Humus indirekt bestimmt werden.

©i.m.a e. V. | Foto: VHE (Kompost)

Kohlenstoff und Humus

1 **Lies die Sachinformation und markiere wichtige Begriffe.**

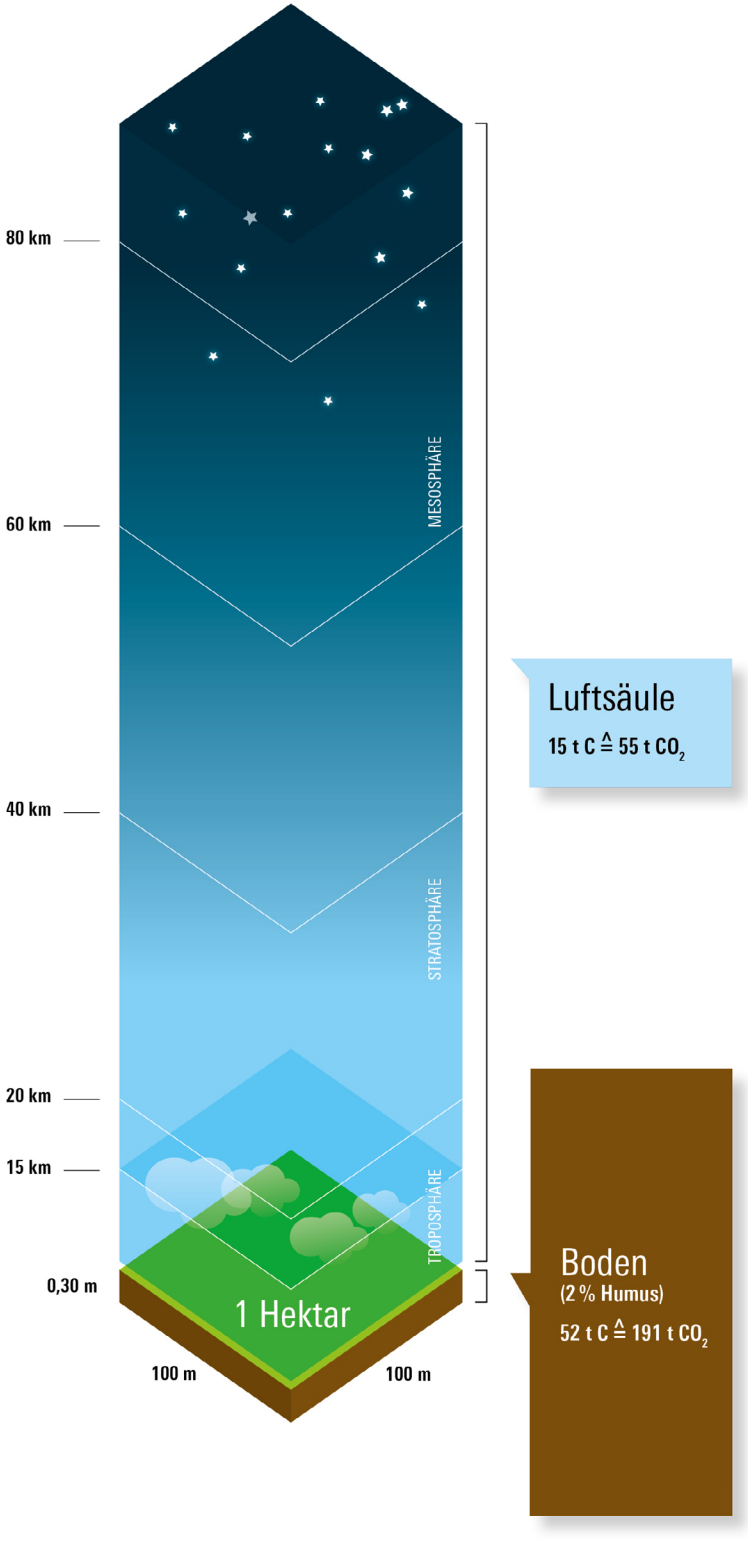
2 **Verschaffe dir mit dem Extrablatt einen Überblick über das C-Vorkommen der Erde. Vergleiche die Mengen.**

3 **Beschreibe die Vorgänge der C-Kreisläufe auf der Erde: Wird mehr gebunden oder freigesetzt? Welche Werte steigen langfristig?**

4 **Beantworte die folgenden Fragen zum Text:**

- **Wie kommt das CO_2 aus der Luft in den Humus im Boden?**
- **Welche Böden sind besonders humusreich? Wo findet man von Natur aus wenig Humus?**
- **Wie viel Kohlenstoff enthält der Boden und wie viel kann er aufnehmen?**
- **Was besagt die „4-Promille-Initiative“?**

Kohlendioxid- bzw. Kohlenstoffgehalte
in der Luftsäule über einem Hektar Grund



©i.m.a e. v. | Grafik: VHE (Datengrundlage wikipedia „Luft“)

Bodenhumus als CO_2-Senke

① Liste nochmal alle Maßnahmen auf, die im Text genannt wurden, und erläutere kurz, was dort gemacht wird. Recherchiere online unter www.agrilexikon.de, falls du die Begriffe nicht kennst.

② Vergleiche die Angaben der Tabelle, welche Maßnahmen der Landwirtschaft wie viele Tonnen C pro Jahr und Hektar binden können.

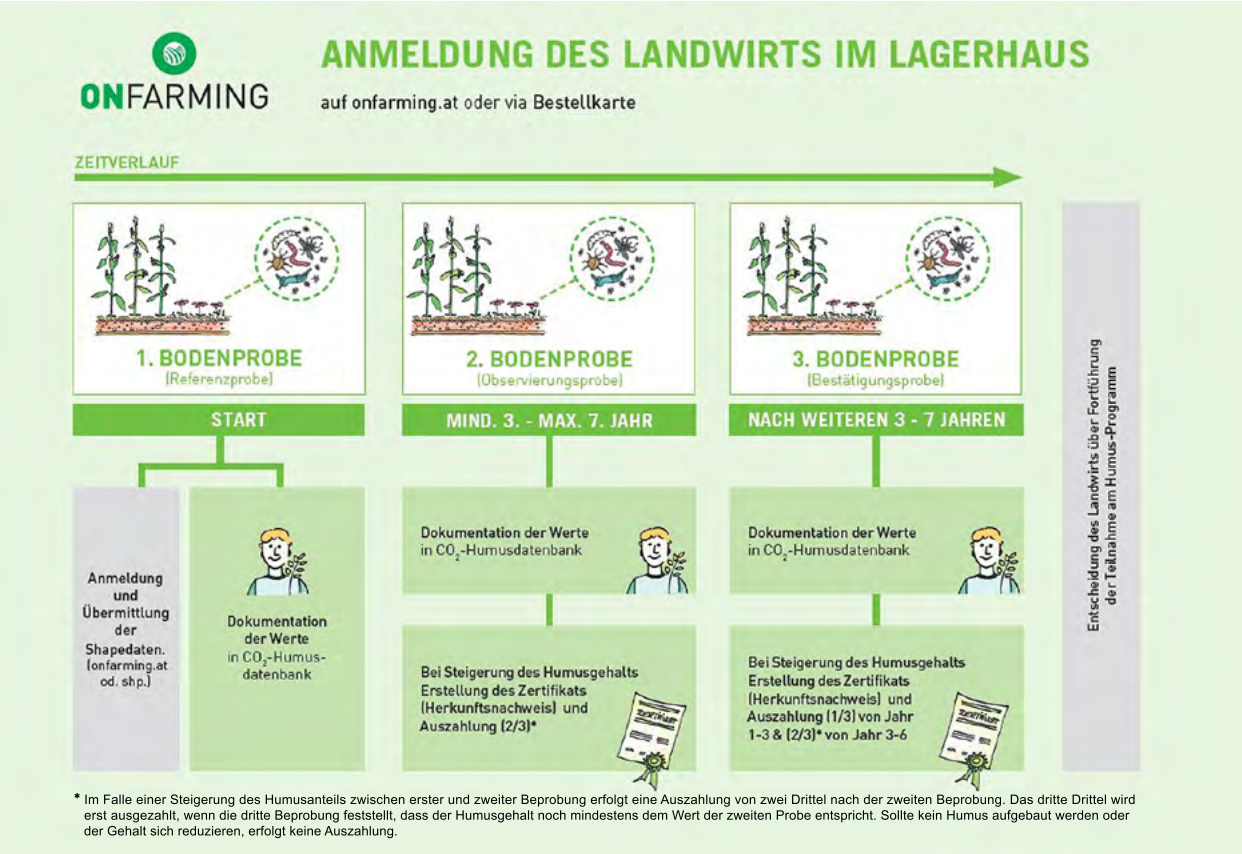
Tabelle 2: Potenziale der C-Bindung
zusammengestellt anhand eigener Messungen und der Literatur

Maßnahme	C-Bindung t ha^{-1} a^{-1}	Erläuterungen
Umwandlung von Ackerland in Grünland, begrünte Dauerbrache	> 1,0	dauerhafte Bodenbedeckung und Zufuhr organischer Substanz, fehlende Bodenbearbeitung
Anbau mehrjähriger Leguminosen und deren Gemenge mit Gräsern	> 0,5	abhängig vom Ertrag, der Nutzungsdauer und der Bestandszusammensetzung
Düngung mit Stalldung und Komposten	> 0,5	abhängig von der Menge und der Qualität der organischen Substanz
Reduzierte Bodenbearbeitung (pfluglos, Direktsaat)	0 bis 0,25	abhängig vom Standort (Boden, Klima), der Fruchtfolge und Düngung
Umstellung auf ökologischen Landbau	0 bis 0,5	abhängig von der Vorbewirtschaftung (dem Humus-Ausgangsgehalt) sowie der Art des ökologischen Landbaus (Struktur, Intensität, Anbauverfahren)

③ Erläutere 3 Gründe, warum sich nicht alle Maßnahmen uneingeschränkt umsetzen lassen.

©i.m.a e.V. | Tabelle: nach H&K aktuell 01/2_2011, Seite 1-4, Prof. Dr. agr. habil. Kurt-Jürgen Hülsbergen

Kohlenstoff im Boden (ver)kaufen



Um die Leistung des Humusaufbaus bzw. der CO_2-Bindung zu honorieren, entstand die Idee des Handels mit CO_2-Zertifikaten. Spezielle Programme von Genossenschaften, Stiftungen und Unternehmen bringen LandwirtInnen und Unternehmen bzw. private UnterstützerInnen und KlimapatInnen zusammen. Sie schließen Verträge. Die teilnehmenden LandwirtInnen fördern durch gezielte Bodenbearbeitung und Pflanzungen den Humusaufbau und erhöhen so die CO_2-Speicherung im Boden (Klimafarming, Carbon Farming). Regelmäßige Bodenproben weisen die Gehalte nach. Für die gebundene Menge wird ein Zertifikat ausgestellt (Soil Carbon Credits), das an KäuferInnen vermarktet wird, die z. B. CO_2-Emissionen für Reisen und die Herstellung von Produkten kompensieren oder einfach Klimaprojekte unterstützen möchten. 1 Tonne CO_2 kostet z. B. 45 €. Das Geld geht als kleines Zubrot an die „CO_2-Bauern“, an die HändlerInnen bzw. KoordinatorInnen und teils in die Forschung.

Damit die Programme gerecht für Beteiligte und nachhaltig für die Umwelt sind, müssen sie einige Kriterien beachten: Messbarkeit der CO_2-Bindung, Erhalt des aufgebauten Humus sowie mögliche Über- und Verlagerungen bei Klima- und Bodeneffekten von Maßnahmen. Erste Initiativen fordern daher eine Klimabilanz aller Prozesse der teilnehmenden Betriebe.

© i.m.a e. V. | Grafik: Programm „Zukunft Erde" von Lagerhaus, Österreich

IDEEN FÜR DEN EINSATZ IM UNTERRICHT

Fächer: Erdkunde, Politik, Gemeinschaftskunde, Wirtschaft

Aufgaben zur Grafik:

- Erkläre nochmal kurz den Zusammenhang von Humus und CO_2 im Boden.
- Die Grafik zeigt ein Programm-Beispiel. Beschreibe den dargestellten Ablauf von Anmeldung bis Auszahlung.
- Nenne 3 Beispiele für typische KäuferInnen von solchen Zertifikaten. Wofür sind die Zertifikate wichtig?

Aufgaben zum Hintergrund:

- Recherchiere online weitere Infos zu solchen Projekten, z. B. unter **stiftunglebensraum.org**.
- In Deutschland nehmen mehr als 340 LandwirtInnen mit mehr als 14.000 ha am Humusaufbauprogramm der CarboCert GmbH teil. Schau in der Landkarte unter **carbocert.de** nach Teilnehmenden in deiner Region.
- Diskutiere mit deiner Klasse: Wie bewertet ihr die Grundidee des Handels mit CO_2-Zertifikaten zur Kompensation von CO_2-Ausstoß? Sollen auch LandwirtInnen, die vorher womöglich humuszehrend gewirtschaftet haben, Geld für den Humusaufbau bekommen?

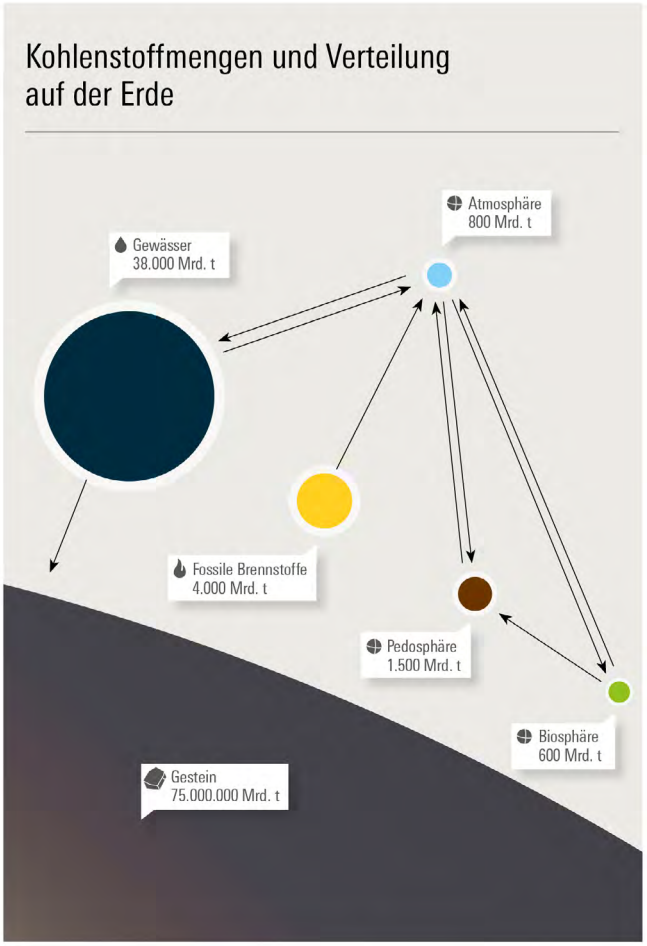
© i.m.a e. V.

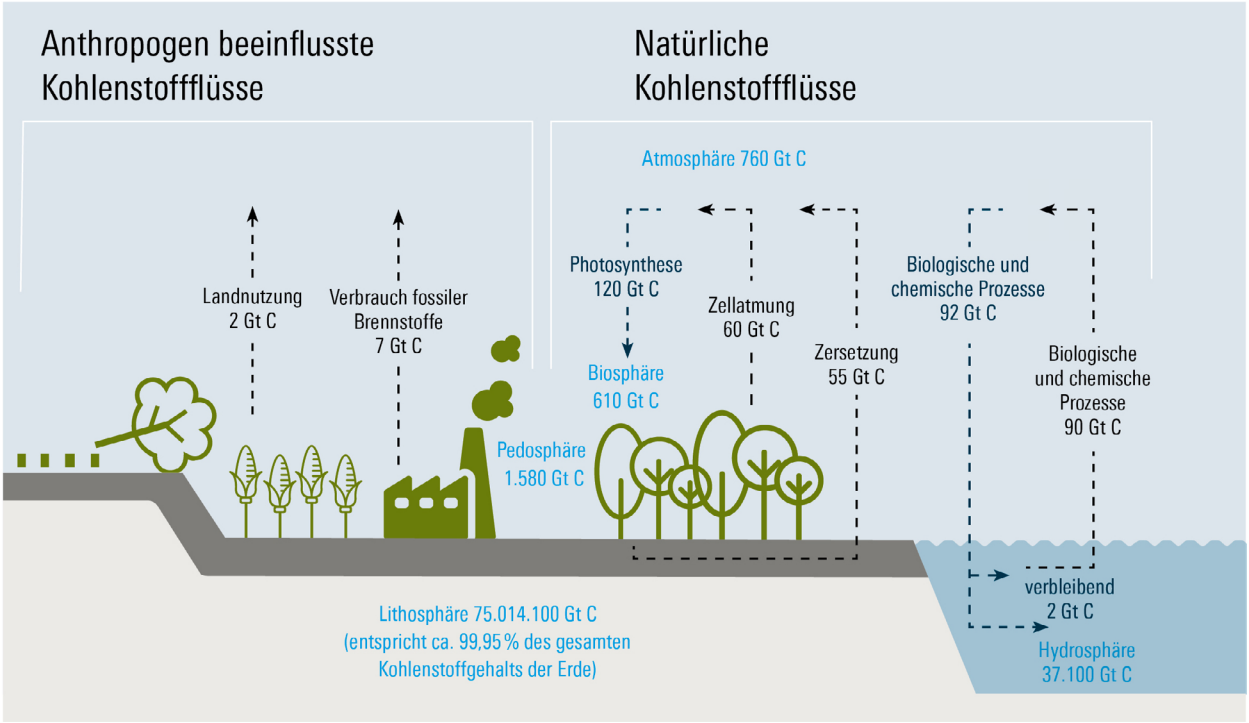
Kohlenstoff (C) als Baustoff von Leben und Materie

Hilfe: Übersetze erst die Fremdwörter und rechne die Zahlen um.

1 Gigatonne = 1 Mrd. Tonnen

Wie Humus im Boden CO_2 bindet, erklärt dir der Film von PlanetB unter youtu.be /Uya9mq55RAo





©i.m.a e.V. | Grafiken: VHE (Kohlenstoffmengen; Datengrundlage nach wikipedia „Kohlenstoffzyklus"); VHE, abgewandelt nach Stiftung Lebensraum (Kohlenstoffflüsse)