

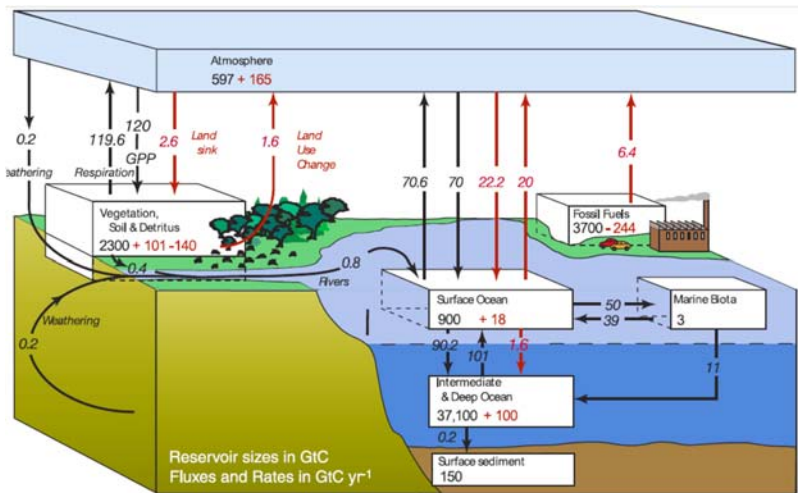
**Kohlenstoffdioxid CO<sub>2</sub> als essentielles Gas für das Leben auf der Erde** CO<sub>2</sub> aus dem Erdinneren wird von aktiven aber auch inaktiven Vulkanen freigesetzt und vom Boden, Wasser und Gestein sowie Pflanzen wiederum aufgenommen. Lebewesen (Bakterien, Tiere und Menschen) atmen Sauerstoff ein und CO<sub>2</sub> wieder aus. Pflanzen und Algen (Phytoplankton) als Grundpfeiler der Nahrungskette nehmen CO<sub>2</sub> auf und atmen O<sub>2</sub> wieder aus. Dieser Prozess wird als Photosynthese bezeichnet. CO<sub>2</sub> ist also ein essentielles Gas für das Leben auf der Erde.

Die Zusammensetzung der Luft<sup>1</sup>: 78 % Stickstoff, 21 % Sauerstoff, 0,93% Edelgase, 0,04% CO<sub>2</sub>

**Der globale Kohlenstoffkreislauf**

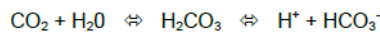
Die Abbildung stellt den globalen Kohlenstoffkreislauf dar. Die durchschnittlichen jährlichen Flüsse sind in Gigatonnen Kohlenstoff pro Jahr ((GtC)/a) angegeben. (Datenbasis von 1750-1994; verändert nach [1])

Schwarze Pfeile und Zahlenwerte kennzeichnen vorindustrielle Flüsse; in Rot dargestellt sind die hinzukommenden „anthropogenen, d.h. vom Menschen verursachte“ Flüsse.

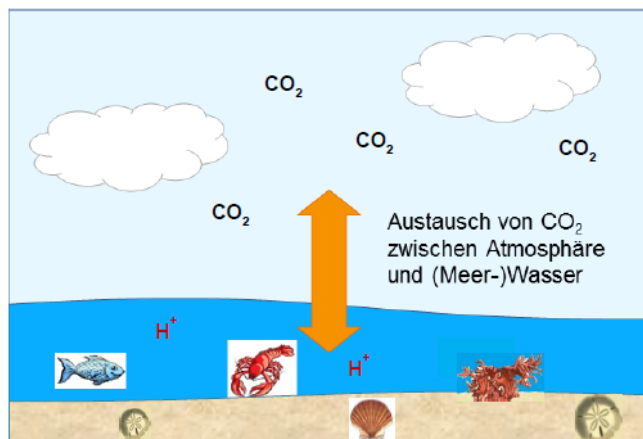


**Ozeane als riesige CO<sub>2</sub>-Speicher**

CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre - aber auch aus Sedimenten und Muschelkalk - löst sich im Meerwasser und bildet dort die mittelstarke „Kohlensäure“. Diese spaltet sich im Wasser auf in Hydrogencarbonat-Ionen und Protonen, die für die Säurewirkung verantwortlich sind und den pH-Wert des Wassers senken können. Die Gleichung lautet:



Das Hydrogencarbonat-Anion wirkt dabei als sogenanntes Pufferion, d.h. es bindet als Base bei einem Überschuss an Protonen diese, zerfällt wieder in H<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub>, das anschließend in die Atmosphäre entweicht. Dabei hängt die CO<sub>2</sub>-Menge, die im Wasser gelöst werden kann, von Druck und Temperatur ab. Je höher der Druck und je kälter das Wasser ist, desto mehr CO<sub>2</sub> kann sich lösen.

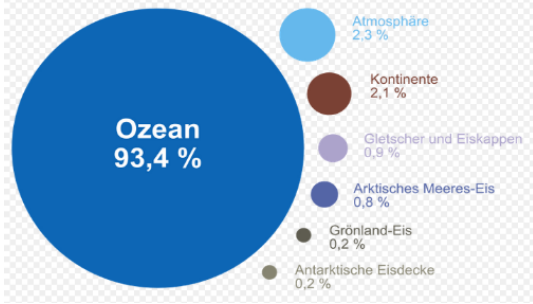


Der Luftdruck auf der Erde ist recht konstant. Die Temperatur jedoch änderte sich im Laufe der Erdgeschichte immer wieder und wird das wahrscheinlich auch weiterhin tun. Langfristig höhere Temperaturen in den Ozeanen bewirken, dass weniger CO<sub>2</sub> gelöst werden kann, deshalb das CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre ausgast und die Konzentration dort steigt. Aktuell liegt die mittlere Temperatur der Ozeane, wie auch die der bodennahen Atmosphäre bei 15°C.

Damit stellen die Ozeane einen sehr wichtigen Speicher für CO<sub>2</sub> und Einflussfaktor auf das Klima dar. Der reale „Versauerungseffekt“ durch atmosphärisches CO<sub>2</sub> ist jedoch sehr gering, da der Verdünnungseffekt durch das große Wasservolumen der Ozeane enorm ist. Einen großen Einfluss auf die Versauerung der Meere haben auch Prozess- und Abwassereinleitungen und der Eintrag von Pestiziden und Nährstoffüberschüssen an Nitraten und Phosphaten sowie SO<sub>2</sub> in Form von saurem Regen.

### Auswirkungen auf das Klima

#### Wohin geht die Erderwärmung?

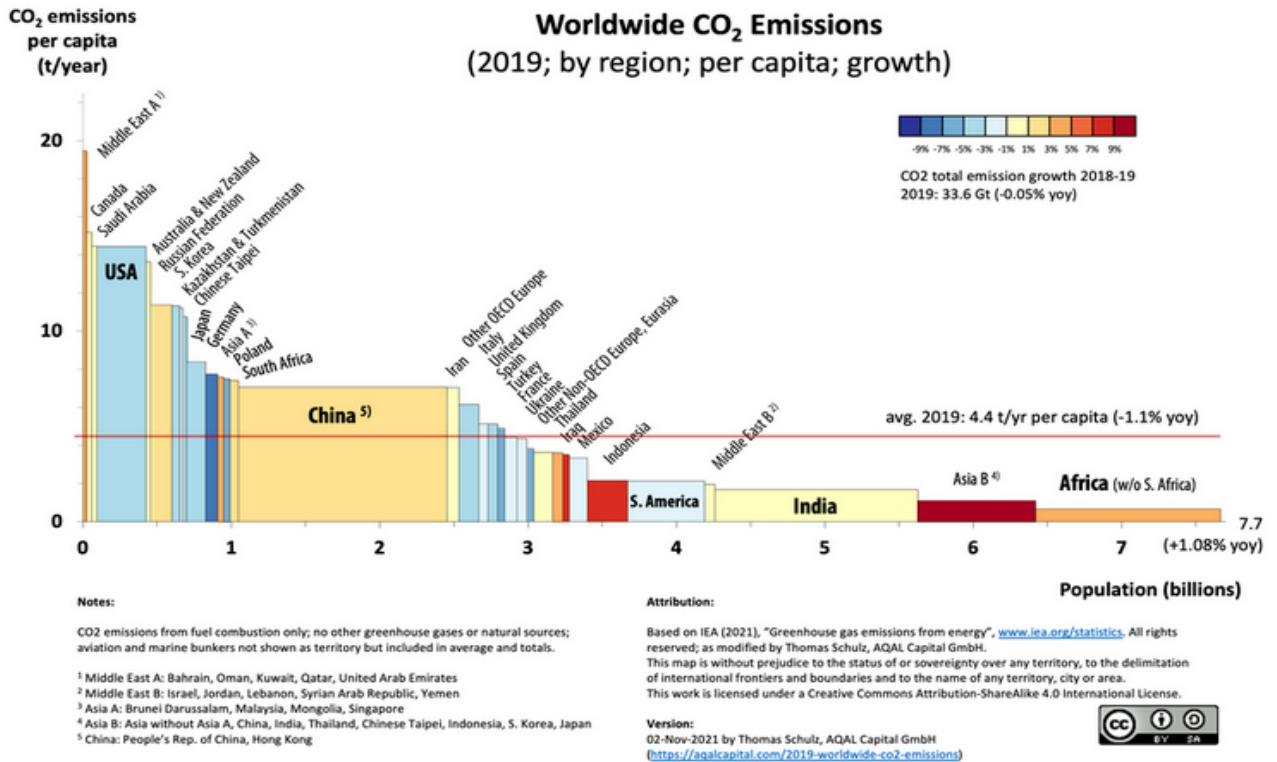


Die Wirkung von Kohlenstoffdioxid und anderen Treibhausgasen auf das Klima ist nicht nur negativ für das Leben auf der Erde. Denn ohne diese Gase lägen die Temperaturen auf der Erde im Mittel nicht bei +15 °C, sondern bei ca. -18 °C. Inwieweit die durch den Menschen seit der industriellen Revolution freigesetzten Mengen an CO<sub>2</sub> das Klima tatsächlich verändert haben, ist angesichts der kurzen Messzeiten von oft nur wenigen Jahrzehnten und aufgrund der komplizierten Prozesse, die das Klima der Erde steuern, nach wie vor mit Unsicherheiten behaftet.

Klimagas	Klimawirksamkeit (global warming potential, GWP)	Quellen	Atmosphärische Verweildauer	Anstieg in der Atmosphäre (1750 – 2000)
Wasser als Gas (H <sub>2</sub> O(g))	< 1	Wasserverdunstung	gering	unbekannt
Kohlenstoffdioxid (CO <sub>2</sub> )	1	Verbrennung fossiler Brennstoffe (Kohle, Gas, Öl, Benzin), Fahrzeuge, Kraftwerke, Heizung, Brandrodung, Mülldeponien, Atmung von Menschen, Tieren, Mikroorganismen	< 150 Jahre *	+ 35%
Lachgas (N <sub>2</sub> O)	296	Stickstoffdüngung, Brandrodung, Verbrennung von Biomasse, Reisanbau, Mülldeponien, Kraftverkehr	114 Jahre	+ 10%
Methan (CH <sub>4</sub> )	23	Landwirtschaft (Reisanbau), Sumpf-, Moor-, Feuchtgebiete, Mülldeponien/Abfall-wirtschaft, Viehhaltung (v.a. Wiederkäuer wie Rinder), Gewinnung und Verbrennung fossiler Energieträger (Kohle, Öl, Gas)	12 Jahre	+ 120%
Halogenierte Kohlenwasserstoffe (z.B. FCKW)	Bis 20.000	Treibgas in Spraydosen, Lösemittel, Kühlmittel, Schaummittel	> 1.000 Jahre	Nicht natürlich
Ozon (O <sub>3</sub> ), bodennah		Aus Stickstoffoxiden und Kohlenwasserstoffen mit Hilfe von UV-Strahlung		
Schwefelhexafluorid (SF <sub>6</sub> )	Bis 20.000		3.2000 Jahre	Nicht natürlich

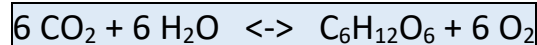
Zu den klimarelevanten Gasemissionen zählen CO<sub>2</sub> noch weitere Gase. Vor allem Methan und Lachgas tragen erheblich stärker zum Treibhauseffekt (GWP = Global Warming Potential) und somit auf die Zusammensetzung der Luft in der Atmosphäre bei als CO<sub>2</sub>. Besonders schädlich wirken halogenierte Kohlenwasserstoffe auf die Ozonschicht aus, die die schädliche UV-Strahlung der Sonne adsorbiert. In sehr vielen Anwendungsbereichen sind sie deshalb heute verboten.

Die untenstehende Graphik vermittelt die weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Ländern und Einwohnern für das Jahr 2019.



**Boden und Pflanzen sind ein „gigantischer CO<sub>2</sub>-Speicher“** Die Erdoberfläche besteht nur zu 30 % aus Landmasse und davon ist nur ein Teil von Pflanzen bedeckt. Ein Drittel dieser Fläche entfällt auf Wüsten und Hochgebirge ohne nennenswerte Vegetation. Dennoch wirken Boden und Pflanzen weltweit als gigantischer Kohlenstoffspeicher. Unter besonderen geologischen Bedingungen werden aus belebter und abgestorbener Materie Kohle, Öl, Gas und Gashydrate gebildet. Diese sind die fossilen Energierohstoffe, die durch die intensive Nutzung in den letzten 100 Jahren zur Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre von 0,03% auf jetzt 0,04 % geführt haben.

**Photosynthese** Pflanzen nehmen im Rahmen der Photosynthese CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre auf und wandeln es mit Hilfe von Sonnenlicht in Sauerstoff, der an die Atmosphäre abgegeben wird, sowie in Glucose um:



Daraus wird deutlich, dass es für Pflanzen keineswegs nachteilig ist, wenn der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft ansteigt. So werden die Pflanzen in Gewächshäusern bewässert, gedüngt und oft mit CO<sub>2</sub> begast, um dessen Partialdruck in der Luft zu erhöhen, um höhere Erträge durch erhöhte Photosyntheseaktivität zu erzielen. Dieser beträgt in der Luft 0,038 Vol. % und in Gewächshäusern durch CO<sub>2</sub>-Zuführung bei ca. 0,08 Vol. %.

Sobald eine Pflanze stirbt, kann sie keine Photosynthese mehr betreiben. Sie wird dann von Mikroorganismen zersetzt, die im Rahmen ihrer Atmung das gebundene CO<sub>2</sub> wieder in die Atmosphäre entlassen. Das natürliche Sterben von Pflanzen wird verstärkt durch großflächige Rodungen von Wäldern.

**Der Boden als Kohlenstoffspeicher** Ebenso wie im Ozean sind auch im Boden und in den Pflanzen, die auf ihm wachsen, gigantische Kohlenstoffmengen gespeichert. Doch auch hier ist die Bindung von CO<sub>2</sub> nicht dauerhaft. Das Gas kann sowohl durch Druckerniedrigung in der Atmosphäre als auch durch Temperaturerhöhung aus dem Boden ausgasen. Dieser Effekt ist besonders ausgeprägt für Permafrostböden (also Dauerfrostböden) und Moore. Klimatische Veränderungen wirken sich direkt auf die Vegetation und damit den CO<sub>2</sub>-Haushalt aus. Versiegelung von Bodenflächen führt dazu, dass die Bodenbildung und damit auch die CO<sub>2</sub>-Fixierung gestoppt oder zumindest stark behindert werden.



Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor auf die CO<sub>2</sub>-Speicherung im Boden ist die landwirtschaftliche Nutzung. Bei normaler Bewirtschaftung enthalten Böden große Mengen abgestorbener Substanz (Humus und Huminstoffe), die Kohlenstoff temporär speichert und die Böden fruchtbar macht. Mit der Zeit wird dieser Kohlenstoff langsam unter Freisetzung von CO<sub>2</sub> abgebaut. Am Ende dieses mikrobiologischen Abbaus sind alle Huminstoffe wieder in anorganische Materie, also CO<sub>2</sub> und andere anorganische Verbindungen umgewandelt. Um diesem Verlust entgegenzuwirken, benötigen Böden

daher eine ständige Zufuhr von neuem Humus. Eine Bodennutzung, die die gesamte lebende Materie von den Feldern erntet, wie dies z.B. bei der Produktion von Pflanzen zur Erzeugung von Biokraftstoffen der Fall ist, hat also mittel- und langfristig negative Folgen für die Böden. Durch die Abnahme des Gehaltes an organischem Kohlenstoff nimmt die Fruchtbarkeit der Böden ab.

**Speicherung und Nutzung des CO<sub>2</sub>** Für die Abscheidung und anschließende Speicherung von CO<sub>2</sub> (CCS) bestehen zahlreiche verschiedene Möglichkeiten – sowohl in den Ozeanen als auch auf den Kontinenten. Keine der Optionen kann jedoch als ideal eingeschätzt werden, da entweder die Dauerhaftigkeit nicht sichergestellt werden kann oder hohe Kosten verursacht werden. Mittels CCU, also der Abscheidung und anschließenden Verwendung des CO<sub>2</sub>, kann das Gas genutzt und somit vom „Schadstoff“ zum „Rohstoff“ werden.

## AB 1 Kenndaten zum persönlichen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck

### Was ist der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck?

Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck (*carbon footprint*) erfasst die Menge an CO<sub>2</sub>-Emissionen, die ein Produktionsprozess, ein Produkt oder ein Mensch in einer bestimmten Zeit verursacht. Diese CO<sub>2</sub>-Bilanz zeigt auf, wie man im Durchschnitt dasteht: Bei einem großen Fußabdruck, werden überdurchschnittlich viele Emissionen verursacht; ein kleiner Fußabdruck hingegen impliziert ein klimafreundliches Leben.

Möchte man wissen, wie die persönliche **Klimabilanz** aussieht, kann der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck mit Hilfe von Kalkulatoren berechnet werden. Hierzu sind einige Angaben zum Stromverbrauch, Heizbedarf, Konsumverhalten, Essgewohnheiten und Transport notwendig. Bei dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck handelt es sich um einen eindimensionalen Ansatz der Ökobilanzierung. Entwickelt wurde das Modell des CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von Wackernagel und Rees im Jahre 1994.

➔ Hier ist der Link zum Kalkulator <https://www.carbonfootprint.com/calculator.aspx>

**Beispiel:** Ein regional geernteter **Apfel** hat eine bessere Klimabilanz als einer aus Neuseeland oder Chile. Oder etwa nicht?

Sicher stimmt das für einige Monate nach der Ernte. Denn der Apfel kommt nach der Ernte ins Kühlhaus und wird dort bei +0°C gelagert. Das kostet Energie. Je länger der Apfel dort gelagert wird, umso mehr Energie wird verbraucht.

Liegen die Äpfel länger als ein halbes Jahr im Kühlhaus, kann der Apfel aus Chile (also von der Südhalbkugel, wo er gerade frisch geerntet wurde und noch nicht lange im Kühlhaus lag) eine bessere CO<sub>2</sub>-Bilanz haben als der heimischer Apfel.

**Möglichkeiten:** Der Mensch kann seinen Carbon Footprint am besten reduzieren, indem er:

- weniger Auto fährt bzw. beim nächsten Autokauf ein deutlich sparsameres Modell wählt.
- oder sich einen sparsameren Fahrstil angewöhnt.
- die Temperatur im Haus um 1-2 Grad reduziert.
- sein Haus gut wärmeisoliert.
- seine Urlaubsziele näher an der Heimat aussucht.

und bei den Lebensmitteln folgende Regeln beherzigt:

- frisch ist meist besser als verarbeitet
- lokal oder regional ist besser als aus Übersee importiert, wenn es frisch geerntet ist
- weniger Fleisch ist klimafreundlicher als mehr Fleisch
- wenn Fleisch, dann kein rotes Fleisch
- „**bio**“ ist nicht prinzipiell besser als „**nicht bio**“, auch nicht beim Fleisch

Besonders beim Wohnen und bei der Mobilität gibt es sehr große CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale. Sie übersteigen die CO<sub>2</sub>-Einsparungen bei der Nahrung um ein Vielfaches.

## Und was tun Unternehmen, um ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren?

Um sich seriös für Klimaschutz zu engagieren, befassen sich Unternehmen mit dem „CO<sub>2</sub>-Fußabdruck.“ So versucht der Versicherungskonzern *Allianz* mit der Umweltorganisation *WWF* seit Anfang 2008 zu erforschen, wie der „CO<sub>2</sub>-Fußabdruck“ von Finanzprodukten zuverlässig ermittelt werden kann, um seine Klimastrategie und Produktentwicklung daran orientieren.

Unternehmen verschiedener Branchen analysieren seit 2009 im Projekt „Product Carbon Footprint“ (PCF) die CO<sub>2</sub>-Emissionen einzelner Produkte entlang ihrer Wertschöpfungsketten: von Beschaffung, Verarbeitung und Transport bis zur Nutzung und Entsorgung. An dem vom Freiburger Öko-Institut, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und dem *WWF* getragenen Projekt beteiligten sich u.a. die *BASF*, *dm-Drogeriemarkt*, *Frosta*, *Henkel*, *Rewe*, *Tchibo*, *Tetra Pak*, *Deutsche Telekom* und *Tengelmann*.

Entsprechende Forschungen gibt es auch in Großbritannien und anderen Ländern. Die Fallstudien zeigten, dass es möglich ist, CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke von so unterschiedlichen Produkten wie Toilettenpapier, Erdbeeren, Eiern, Getränkkartons, Profi-Klebern, Kommunikationsprodukten oder Sporttaschen methodisch sauber und vergleichbar zu erfassen. Dafür eignet sich die internationale Ökobilanzierungsnorm ISO 14040/44. Allerdings ist die Methode wegen komplizierter Beschaffungsketten sehr aufwändig und einige Unternehmen haben inzwischen auch wieder Abstand davon genommen. Trotzdem ist sie hilfreich: Unternehmen können emissionsreiche Phasen der Wertschöpfung und Einsparpotenziale identifizieren. Entstehen die Emissionen vorwiegend in der Nutzungsphase, wie bei Waschmitteln, können die Hersteller ihren Kunden Spartipps geben. Nicht zuletzt lässt sich feststellen, ob Produkte durch ihre Anwendung zum Klimaschutz beitragen – für einige Unternehmen ist das bereits ein Verkaufsargument oder eine Möglichkeit, sich unter den Wettbewerbern hervorzuhaben.

Andere Unternehmen wollen in Kooperation mit Subunternehmen und dem Angebot klimaneutraler Produkte und Leistungen ihre CO<sub>2</sub>-Effizienz im nächsten Jahrzehnt oder bis 2015/2020 um 20 oder 30 Prozent steigern. Das ist ehrgeizig. Aber es ist auch problematisch, denn die Unternehmen setzen in der Regel keine Ziele zur absoluten Emissionssenkung. Das aber bedeutet: Wenn das jeweilige Unternehmen stark wächst, steigen auch die verursachten Emissionen. Nur bei wenigen gilt die Maßgabe, das Firmenwachstum von den Emissionen zu entkoppeln und so zu einer „Low Carbon Society“, einer emissionsarmen Gesellschaft beizutragen.

Für einen Vergleich existierender Studien zum CO<sub>2</sub>-Fußabdruck hat das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW) eine Studie durch das Öko-Institut Freiburg erstellen lassen. Fazit: Klare Aussagen bleiben schwer, da sich die Basisstudien in ihrer Vorgehensweise unterscheiden, beispielsweise ob Einkaufsfahrten, die Lagerung und Zubereitung für die CO<sub>2</sub>-Bilanz berücksichtigt werden.

Des Weiteren wird zurzeit ein internationaler Standard entwickelt, die ISO-Norm 14067. Hierin wird Beobachtern zufolge die prinzipielle Vorgehensweise für Klimagasbilanzen von Produkten und deren Kommunikation voraussichtlich festgeschrieben. Forschungs- und Standardisierungsbedarf besteht aber darüber hinaus laut Öko-Institut hinsichtlich Erarbeitung und Einigung auf so genannte „Product Category Rules“. Darunter versteht man, dass sich die relevanten Anspruchsgruppen (siehe Stakeholder) auf einheitliche Rahmenbedingungen zur Bilanzierung für bestimmte Produktgruppen einigen. Dazu gehören die Festlegung der Bezugsgröße, einheitliche Annahmen z.B. zu Prozessdaten und Nutzungsmustern, vergleichbare Datenqualität und Detailtiefe.

Quelle: [https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/co2\\_fussabdruck\\_1568.htm](https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/co2_fussabdruck_1568.htm) abgerufen am 26.01.18