



# **BOKU CO<sub>2</sub>-Kompensationssystem: Berechnungsgrundlagen**

**Stand November 2011**

**Dr. Thomas Lindenthal**

**Adam Pawloff, BA**

**Zentrum für globalen Wandel und Nachhaltigkeit**

## **Berechnung des anfallenden Kohlendioxids bei Flugreisen**

Bei folgender Berechnung wird der CO<sub>2</sub> Ausstoß pro Passagier für eine bestimmte Flugstrecke berechnet. Hierbei wird zuerst der Kerosinverbrauch des Flugs kalkuliert und in Kohlendioxid umgerechnet. In einem zweiten Schritt werden die CO<sub>2</sub> Emissionen pro Passagier ermittelt.

### ***Kerosinverbrauch***

Zunächst wird die Distanz des Fluges ermittelt. Dazu wird von der kürzesten Verbindung (Großkreisdistanz) zwischen Abflug- und Zielflughafen ausgegangen. Hierbei greift das Berechnungssystem auf eine Datenbank zurück, in der die Längen- und Breitengrade aller Flughäfen gespeichert sind. Durch die Großkreisdistanzformel wird die kürzeste Verbindung zwischen Abflug- und Zielflughafen berechnet:

$$\text{Großkreisdistanz} = \text{Radius} * \arccos[\sin(\text{B1}/57,2958) * \sin(\text{B2}/57,2958) + \cos(\text{B1}/57,2958) * \cos(\text{B2}/57,2958) * \cos(\text{L2}/57,2958 - \text{L1}/57,2958)]^1$$

Auf Grund von Wetterbedingungen, Warteschleifen etc., wird die Großkreisdistanz um 9%, den Umwegfaktor, erhöht (AEA 2010: 24). Da es unmöglich ist für jeden einzelnen Flug individuelle Bedingungen zu kalkulieren, wird hier von einem Durchschnittswert ausgegangen:

$$\text{Flugdistanz} = \text{Großkreisdistanz} * \text{Umwegfaktor (1,09)}$$

Für die Berechnung des Treibstoffverbrauchs wird zwischen Kurz- und Langstreckenflügen unterschieden. Die *Europäische Energie Agentur* (2010: 13) empfiehlt eine Einteilung in Kurzstrecken (<1.000 nautische Meilen<sup>2</sup>) und Langstrecken (>1.000 nm). In Anlehnung an die Berechnungsgrundlagen von My Climate (2010: 19) wird für Kurzstreckenflüge ein gewichtetes Mittel des Verbrauchs der Flugzeugtypen Airbus A320, Boeing 737 und 757 herangezogen. Für Langstreckenflüge wird ein gewichtetes

---

<sup>1</sup> Radius = Radius der Erde (6378,7 km od. 3437.74677 nm); B1 = Breitengrad des Abflughafens; 57,2958 = 180/pi; B2 = Breitengrad des Zielflughafens; L1 = Längengrad des Abflughafens; L2 = Längengrad des Zielflughafens

<sup>2</sup> 1 nm = 1,852 km

Mittel des Verbrauchs von Airbus A340, Boeing 747, 767 und 777 verwendet. Die Treibstoffverbrauchsdaten werden von der *International Civil Aviation Organization* herangezogen (ICAO 2010: 14).

<b>Flugzeug</b>	<b>Verbrauch (kg Kerosin), 750 nm</b>
Airbus 320	4705,01
Boeing 737	4949,72
Boeing 757	6724,43

Beispiel: Kurzstrecke, 750 nm

Die Gewichtung basiert auf den Passagierzahlen der EU27 für das Jahr 2009 (EUROSTAT 2009). Für die Gewichtung werden die gesamten Passagierzahlen für die jeweiligen Flugzeugtypen für die EU27 in Relation zu einander gestellt. Somit ergibt sich (Beispiel Kurzstrecke) folgende Gewichtung:

<b>Flugzeug</b>	<b>Passagiere, EU27: 2009</b>	<b>% Gewichtung</b>
Airbus 320	169.974.243	0,34
Boeing 737	291.273.225	0,59
Boeing 757	36.278.234	0,07
<b>Summe</b>	497.525.702	1,00

Die sich daraus ergebenden Prozentsätze werden als Grundlage verwendet um die Verbrauchswerte der jeweiligen Flugzeugtypen zu gewichten. Der Verbrauch des Airbus A320 wird mit 0,34 multipliziert, der Verbrauch der Boeing 737 mit 0,59 und der Verbrauch der Boeing 757 mit 0,07. Die Summe der drei gewichteten Verbrauchsdaten ergibt die Grundlage für die Kalkulation:

$$\text{Gewichteter Verbrauch (750 nm)} = (4705,01 * 0,34) + (4949,72 * 0,59) + (6724,43 * 0,07)$$

## ***CO<sub>2</sub> Ausstoß***

Wenn der Treibstoffverbrauch für die jeweilige Flugstrecke berechnet ist, werden die kg Kerosin um den Faktor 3,15 multipliziert um den Ausstoß in CO<sub>2</sub> zu errechnen (My Climate 2010: 20<sup>3</sup>).

Um aus dem errechneten CO<sub>2</sub>-Ausstoß des jeweiligen Fluges den CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro Passagier zu berechnen, werden die durchschnittliche Anzahl der Sitzplätze, der Auslastungsfaktor, ein Faktor für die Flugklasse und CO<sub>2</sub> Äquivalente herangezogen. Die Berechnungen, die diesem System zu Grunde liegen, sind weitgehend an das System von *My Climate* (2010: 20) angelehnt.

Der CO<sub>2</sub> Ausstoß des Fluges wird in einem ersten Schritt durch die durchschnittliche Anzahl der Sitzplätze eines Flugzeuges dividiert und um den durchschnittlichen Auslastungsfaktor multipliziert um somit den Ausstoß pro Passagier zu errechnen. Für Kurzstreckenflüge wird von einer durchschnittlichen Sitzplatzanzahl von 155,2 ausgegangen, bei Langstreckenflügen von 286,2. Der durchschnittliche Auslastungsfaktor (Sitzbelegungsrate) liegt bei Kurzstrecken bei 70%, bzw. bei Langstrecken bei 75%.

Somit ergibt sich für einen Kurzstreckenflug die Formel:

$$\mathbf{CO_2 \text{ Ausstoß (Passagier)} = CO_2 \text{ Ausstoß (Flug)} * 3,15 / (155,2 * 0,70)}$$

für einen Langstreckenflug:

$$\mathbf{CO_2 \text{ Ausstoß (Passagier)} = CO_2 \text{ Ausstoß (Flug)} * 3,15 / (286,2 * 0,75)}$$

Auf Grund des höheren Platzbedarfs eines Business bzw. Erste Klasse Sitzplatzes wird zusätzlich ein Faktor für die jeweilige Flugklasse berechnet. Auf Kurzstreckenflügen sind die Faktoren 0,95 (economy), 1,34 (business) und 1,9 (first). Bei Langstreckenflügen werden die Faktoren 0,78 (economy), 1,46 (business) und 2,4 (first) herangezogen.

---

<sup>3</sup> Atmosfair (2010:3) berechnet 3,16

Für einen Kurzstreckenflug, der in der Business Klasse zurückgelegt wurde, ergibt sich die Formel:

$$\text{CO}_2 \text{ Ausstoß (Passagier \& Flugklasse)} = \text{CO}_2 \text{ Ausstoß (Passagier)} * 1,34$$

Neben CO<sub>2</sub> werden auch andere Treibhausgase (THG) durch den Flugverkehr freigesetzt. Es gibt zahlreiche Versuche die Klimawirksamkeit dieser THG zu quantifizieren, beispielsweise: Radiative Forcing Index - RFI, Absolute Global Warming Potential - AGWP (Fischer et. al. 2009) bzw. Global Temperature Change Potential - GTCP oder Integrated Change in Temperature over Time - ICTT (Kollmuss & Crimmins 2009). Das erste Maß, RFI, ist mit der Problematik behaftet nur vergangene Emissionen zu berücksichtigen, während die anderen drei Maße je nach herangezogenem Zeitraum (z.B. 20, 50 oder 100 Jahre) den Klimaeffekt der verschiedenen THG ganz unterschiedlich gewichten (da diese THG verschieden lang in der Atmosphäre verweilen). Auf Grund dieser und anderer Unsicherheiten gibt es kein allgemein anerkanntes Maß das in der Lage ist die Klimaeffekte des Flugverkehrs einheitlich, in CO<sub>2</sub>-eq, präzise zu konvertieren.

Kollmuss und Crimmins, haben den Stand des Wissens zusammengefasst, und empfehlen die kalkulierten CO<sub>2</sub> Emissionen mit einem Faktor von mindestens 2 zu multiplizieren, um die Klimawirksamkeit anderer THG zu berücksichtigen.

$$\text{CO}_{2\text{-eq}} \text{ Ausstoß (Passagier \& Flugklasse)} = \text{CO}_2 \text{ Ausstoß (Passagier \& Flugklasse)} * 2$$

## **Literatur**

Association of European Airlines (2010): 2010 Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting. Online erschienen:

<http://www.defra.gov.uk/environment/business/reporting/pdf/101006-guidelines-ghg-conversion-factors.pdf> (Zugriff: 20.01.2011)

Atmosfair (2010): The Atmosfair emissions calculator. Online erschienen:

[https://www.atmosfair.de/fileadmin/user\\_upload/Medienecke/Downloadmaterial/Rund\\_um\\_a\\_tmosfair/Documentation\\_Calculator\\_DE\\_2008.pdf](https://www.atmosfair.de/fileadmin/user_upload/Medienecke/Downloadmaterial/Rund_um_a_tmosfair/Documentation_Calculator_DE_2008.pdf) (Zugriff: 21.10.2010)

Europäische Energie Agentur (2010): EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook. Group 8: Other mobile sources and machinery. Online erschienen:

[http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR5/group\\_08.pdf](http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR5/group_08.pdf) (Zugriff: 15.01.2011)

EUROSTAT (2009): Luftzeugverkehr nach dem Meldeland. Datensatz Online verfügbar:

[http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=avia\\_tf\\_acc&lang=de](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=avia_tf_acc&lang=de) (Zugriff: 20.01.2011)

Fischer, A. et. al. (2009): Flugverkehr und Klimaschutz. Ein Überblick über die Erfassung und Regulierung der Klimawirkungen des Flugverkehrs. *Gaia* 18:1. 32 – 40.

ICAO (2010): ICAO Carbon Emissions Calculator. Online erschienen:

<http://www2.icao.int/en/carbonoffset/Documents/ICAO%20MethodologyV3.pdf> (Zugriff: 15.12.2010)

Kollmuss, A. & Crimmins, A. (2009): Carbon Offsetting & Air Travel – Part 2: Non-CO<sub>2</sub> Emissions Calculations. Stockholm Environment Institute. SEI Discussion Paper.

[http://www.co2offsetresearch.org/PDF/SEI\\_Air\\_Travel\\_Emissions\\_Paper2\\_June\\_09.pdf](http://www.co2offsetresearch.org/PDF/SEI_Air_Travel_Emissions_Paper2_June_09.pdf) (Zugriff: 20.01.2011)

My Climate (2010): Berechnungsgrundlagen. Online erschienen:

[http://www.myclimate.org/uploads/media/Berechnungsgrundlagen\\_D.pdf](http://www.myclimate.org/uploads/media/Berechnungsgrundlagen_D.pdf) (Zugriff: 21.10.2010)