

# KlimaLink Standard

## Methodenbeschreibung

---

KlimaLink hat sich zum Ziel gesetzt, der Tourismuswirtschaft eine Plattform bereitzustellen, die die CO<sub>2</sub>e-Emissionen verschiedener Leistungsträger des Tourismus an einem zentralen Punkt zur Verfügung stellt.

Der Wunsch nach einer einheitlichen Berechnung von Klimaemissionen hat in der Branche stark zugenommen, und Geschäftsreisende und Urlauber fragen zunehmend nach dem tatsächlichen verursachten Klimafußabdruck ihrer Reisen.

Es gibt bereits verschiedene Methoden zur Berechnung von Treibhausgasemissionen im Tourismus. Diese grenzen die CO<sub>2</sub>e-Emissionen aber nicht einheitlich ab und bestimmen die Emissionen mit verschiedenen Ansätzen und Genauigkeiten. Ziel von KlimaLink ist, dass für alle Nutzer der Branche CO<sub>2</sub>e-Emissionen nach den folgenden Kriterien in einem Standard (bestehend aus verschiedenen Methoden) verfügbar gemacht werden:

- Die CO<sub>2</sub>e-Emissionen werden systematisch und mit hoher Genauigkeit erfasst.
- Die CO<sub>2</sub>e-Emissionen verschiedener Leistungsträger (Flug, Hotel, Kreuzfahrt u.a.) lassen sich vergleichen und einordnen.
- Die Berechnungen sind genau genug, um für Reisende bereits vor der Buchung Handlungsmöglichkeiten zur Reduktion von Klimaemissionen aufzuzeigen.
- Die Berechnungen sind genau genug, um auch kombinierte Reiseprodukte verschiedener Art anhand der absoluten CO<sub>2</sub>e-Emissionen vergleichen zu können.
- Die verschiedenen Methoden kommen vollständig mit Input-Daten der Reisen aus, die der Reisewirtschaft in ihren Systemen standardmäßig bei den Reiseveranstaltern und Reisemittlern zur Verfügung stehen.
- Der Standard liefert für jede Eingabe von Reisekomponenten weltweit (Flug, Zugfahrt, Mietwagen, Hotelübernachtung etc.) einen eindeutigen CO<sub>2</sub>e-Wert. Dazu geben die einzelnen Methoden Fallback-Hierarchien vor, die in absteigenden Tiers (Methodenvarianten) immer weniger spezifische Inputdaten benötigen, um immer das unter den Umständen bestmögliche Ergebnis zu liefern.

Der vorliegende Standard beruht auf dem Standard für CO<sub>2</sub>e-Emissionsberechnung auf Geschäftsreisen des Verbandes Deutsches Reisemanagement (VDR-Standard, letzte Fassung von 2016). Die CO<sub>2</sub>e-Berechnungsmethoden dieses Standards wurden von atmosfair speziell für die Anforderungen des CO<sub>2</sub>e -Reportings von Geschäftsreisen erarbeitet. Für den Zweck von KlimaLink und die abweichenden Anforderungen im Tourismus gegenüber der Geschäftsreise (u.a. ex-ante Abschätzung bei der Buchung der Reise statt ex-post Reporting für die CO<sub>2</sub>e -Bilanzen von Unternehmen) hat das Institut für nachhaltigen Tourismus (Inatour) im Auftrag von Futouris e.V. und unter der technisch-methodischen Zuarbeit von atmosfair den VDR-Standard weiterentwickelt. Mitgewirkt haben zudem myclimate und weitere engagierte Mitgliedsunternehmen von Klimalink. Dabei wurden auch die methodisch-wissenschaftlichen Inhalte soweit nötig auf den aktuellen Stand der Forschung gebracht.

Futouris hat gemeinsam mit Inatour für das vorliegende Dokument die Dialogprozesse mit allen Akteuren und insbesondere mit den Anbietern von ähnlichen Standards wie IATA, Travalyst etc. initiiert und geführt, und die Einordnung und Bewertung der Ergebnisse aus wissenschaftlicher und touristischer Sicht vorgenommen. Sofern diese Standards von Dritten in den neuen KlimaLink-Standard eingebunden sind, wie z.B. die Nutzung des HCMI-Standards für die Berechnung von Hotelemissionen, sind diese im Text kenntlich gemacht.

Die verschiedenen Berechnungsmethoden sind dynamisch und werden aktualisiert, wenn neue wissenschaftliche Erkenntnisse oder eine verbesserte Datenverfügbarkeit Anpassungen erfordern.

Im Vorgriff auf die EU-Verordnung Count Emissions hat KlimaLink den Berechnungsstandard für Flug-, Bahn- und Auto-/Busverkehr im Jahr 2024 von GUTCert<sup>1</sup>, einer akkreditierten Zertifizierungsstelle in Berlin, erfolgreich auf Übereinstimmung mit der ISO 14083 überprüfen lassen, auf der die EU-Verordnung Count Emissions basiert.

---

<sup>1</sup> <https://www.gut-cert.de/en/home-en>

## Inhaltsverzeichnis

I.	Anforderungen an den Standard.....	4
A.	Vollständigkeit und Relevanz .....	4
B.	Anwendbarkeit und Wissenschaftlichkeit.....	4
C.	Mindestgenauigkeit .....	4
1.	Transparenz .....	4
2.	Unabhängigkeit .....	4
3.	Weiterentwicklung .....	5
D.	Operationelle Systemgrenzen.....	5
1.	Reisespezifische Emissionen.....	5
2.	Vorgelagerte Emissionen .....	5
3.	Non-CO <sub>2</sub> -Emissionen.....	5
E.	Reporting.....	5
1.	Flug.....	5
II.	Berechnung von Flugemissionen .....	6
A.	Betrachtung von Non-CO <sub>2</sub> -Emissionen im Flugverkehr .....	6
1.	Grundlagen .....	6
2.	Wissenschaftliche Studien und aktueller Forschungsstand.....	7
B.	Methodenbeschreibung .....	8
1.	Distanz, gewählte Flugroute und Umwege .....	9
2.	Genauer Flugzeugtyp .....	9
3.	Ausstattung mit Winglets / Sharklets .....	10
4.	Flugzeugalter und Wartung.....	10
5.	Treibstoffgewicht, Nutzlast und Flugprofil.....	11
6.	Rollen am Boden (Taxiing) und Reservetreibstoff .....	12
7.	Bestuhlung (Anzahl der Sitze an Bord).....	12
8.	Passagierauslastung .....	12
9.	Differenzierung nach Sitzklassen.....	13
10.	Beiladefrachtkapazität .....	13
11.	Auslastung Beiladefracht .....	14
12.	Beiladefrachtabschlag, Zielgebiete .....	14
13.	Vorkette der Kerosinproduktion (Well-to-Wheel).....	14
14.	Einbezug von Non-CO <sub>2</sub> -Emissionen.....	15
15.	Qualität und Updates von Daten .....	15
C.	Einflussvariablen und Berechnungsformeln .....	17
1.	Variablen .....	17
2.	Berechnungsformel .....	18

## I. Anforderungen an den Standard

### A. Vollständigkeit und Relevanz

Der KlimaLink-Standard deckt die wesentlichen Bereiche der touristischen Wertschöpfungskette ab: Hotel, Bahn, Flug, Auto, Bus und Schiff. Er erfasst dabei die wesentlichen CO<sub>2</sub>e-Emissionen und lässt die vernachlässigbaren aus, wie z.B. den öffentlichen Nahverkehr am Zielort.

### B. Anwendbarkeit und Wissenschaftlichkeit

Die Berechnung von CO<sub>2</sub>e-Emissionen aus der Mobilität und der Übernachtung soll weltweit anwendbar sein. Dies betrifft die Bestimmbarkeit der CO<sub>2</sub>e-Emissionen einer jeden Reise – ob touristisch oder geschäftlich induziert – auf der gesamten Welt mit einer Mindestgenauigkeit, die sich an der Verfügbarkeit von Daten und der Relevanz des berechneten Reisebestandteils orientiert.

Es wird keine vollständig wissenschaftlich gestützte Methode angestrebt. Das wäre – vor dem Hintergrund bestehender Unsicherheiten bei einzelnen Elementen der Berechnungsmethoden – illusorisch, da die Verfügbarkeit und Genauigkeit von Daten einer kontinuierlichen Dynamik unterliegen. Vielmehr wird angestrebt, eine hinreichend gute Berechnung (Mindestgenauigkeit) zu ermöglichen, die von einer Vielzahl der Beteiligten mitgetragen werden kann und demnach das Ziel – eine einheitliche Berechnung über alle Leistungsträger – ermöglicht.

### C. Mindestgenauigkeit

Um die beschriebene Mindestgenauigkeit zu erreichen, sind die in diesem Dokument dargelegten Berechnungsmethoden ausreichend.

#### 1. Transparenz

Die Berechnungsmethoden, die zu berücksichtigenden Einflussgrößen sowie mögliche Datenquellen sind im Rahmen dieses Standards beschrieben. Somit kann jeder Stakeholder die CO<sub>2</sub>e-Emissionen seiner Reise überprüfen und sich die Berechnungsmethode im Internet, im Reisebüro oder an anderen Points-of-Sale erklären lassen.

#### 2. Unabhängigkeit

Die für die Berechnung der Emissionen heran gezogenen Input-Daten sollten soweit möglich aus unabhängigen Quellen stammen und von Dritten überprüft oder zertifiziert sein. Eine direkte Bereitstellung von Leistungsträgerdaten (z.B. von Hotels, Mietwagen- oder Bahngesellschaften) ist ebenfalls möglich, sofern diese von Dritten überprüft oder zertifiziert worden sind. KlimaLink ist in der Lage, Plausibilitäten zu überprüfen. Eine lückenlose Qualitätskontrolle, wie sie bei Zertifizierern oder anderen Prüfungsgesellschaften üblich ist, kann aus Zeit- und Kostengründen jedoch nicht erfolgen. Generelle Ansätze wie Scope-Abgrenzungen und Standard-Emissionsfaktoren beruhen so weit wie möglich auf dem IPCC<sup>2</sup>, GHG-Protocol<sup>3</sup> und anderen international anerkannten Organisationen.

---

<sup>2</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC; Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen)

<sup>3</sup> Greenhouse Gas Protocol

### 3. Weiterentwicklung

Der Standard und seine dahinterliegenden Methoden unterliegen einer kontinuierlichen Weiterentwicklung. Anpassungen, Aktualisierungen und Verbesserungen sind erwünscht und auch notwendig. Die Weiterentwicklung erfolgt in Arbeitsgruppen bestehend aus Expert:innen der Mitgliedsunternehmen.

## D. Operationelle Systemgrenzen

### 1. Reisespezifische Emissionen

Bei der Bilanzierung von Reisen werden zunächst die Emissionen betrachtet, die bei der Bereitstellung der jeweiligen Dienstleistung anfallen und sich daher spezifisch auf die Reise beziehen (z.B. Emissionen durch den Kerosinverbrauch während eines Fluges inkl. Mineralölvorkette). Im Gegensatz dazu entstehen Emissionen im Zusammenhang mit Infrastruktur (z.B. Facility Management des Flughafengebäudes) und Transportmitteln (z.B. Bau und Wartung des Flugzeugs) nicht exklusiv im Zuge der betrachteten Reise, sondern im Rahmen von allgemeinen Investitionen, die allen Nutzern zugutekommen. Eine Einbeziehung dieser indirekten Emissionen bei der Bilanzierung einer Reise findet in den beschriebenen Methoden aktuell keine Berücksichtigung.

### 2. Vorgelagerte Emissionen

Beim Verbrennungsprozess von Roh-, Kraft- oder Treibstoffen zur Nutzenergieerzeugung entstehen unmittelbar klimawirksame Emissionen, wobei Art und Menge vom eingesetzten Brennstoff sowie von Technik und Wirkungsgrad der Anlagen in der Vorkette (z.B. Erdölförderung, Logistik und Raffination) abhängen. Diese können den touristischen Nutzern zugeordnet werden und sind im KlimaLink-Standard soweit möglich mit angemessener Genauigkeit zu erfassen.

### 3. Non-CO<sub>2</sub>-Emissionen

Bei der Verbrennung von Treibstoffen im Flugverkehr entstehen, neben CO<sub>2</sub>, weitere klimawirksame Emissionen (Non-CO<sub>2</sub>) wie z.B. Stickoxide (NO<sub>x</sub>) oder Ruß, die mit ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften in der Atmosphäre den Strahlungsantrieb positiv oder negativ beeinflussen. Während die Klimawirksamkeit von Non-CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Verbrennungsprozessen in Bodennähe (z.B. Autofahrt, Zugfahrt, Hotel inkl. Vorkette) gegenüber der Wirkung von CO<sub>2</sub> vernachlässigbar ist, entfalten Non-CO<sub>2</sub>-Emissionen in höheren Luftschichten bei einer Flugreise eine erhebliche Wirkung auf den Strahlungshaushalt der Erde. Generell wird im gesamten Standard von CO<sub>2</sub>e<sup>4</sup> gesprochen.

## E. Reporting

Der KlimaLink Standard ermittelt ex-ante (vor Abreise) Emissionsfaktoren einzelner Elemente einer Urlaubs- oder Geschäftsreise basierend auf den der Berechnungsanfrage zugrunde liegenden Angaben.

### 1. Flug

Ein Emissionsfaktor entspricht dem CO<sub>2</sub>e-Wert eines Fluges für eine Person auf einer bestimmten Strecke (City Pair). Basierend auf den in der Berechnungsanfrage enthaltenen Informationen und den der Berechnung zugrunde liegenden Quelldaten, kann dieser Emissionsfaktor spezifisch sein für

- den Flugzeugtyp
- die Airline
- die Buchungsklasse

---

<sup>4</sup> CO<sub>2</sub>-Äquivalente, die Maßeinheit zur Vereinheitlichung der Klimawirkung unterschiedlicher Treibhausgase.

Fehlen einzelne oder mehrere dieser Angaben, wird eine Annäherung durch Mittelung über alle in Fragen kommenden Optionen (z.B. über alle Airlines, die das spezifische City Pair bedienen) angestrebt.

## II. Berechnung von Flugemissionen

Die Berechnung von Flugemissionen ist komplex, da viele unterschiedliche Faktoren auf die Treibhausgasemissionen und deren Klimawirkung einwirken (neben anderen Faktoren bspw. Nutzlast, Distanz und Flugprofil). Darüber hinaus ist die Berechnung der anteiligen Emissionen pro Fluggast aufwändig. Hier spielen Faktoren wie die Bestuhlung, die Auslastung sowie die Fracht eine Rolle.

Erschwerend kommt hinzu, dass die tatsächlichen Treibstoffverbräuche für Flüge nicht öffentlich verfügbar sind, da es sich um wettbewerbsrelevante Daten handelt. Die möglichen Methoden sind daher auf Berechnungen angewiesen, die aus verfügbaren Daten, die am Markt erworben werden können, die tatsächlichen Werte so genau wie möglich abbilden.

Schließlich kommt für den Bereich Flug noch die „Non-CO<sub>2</sub>-Klimawirkung“ hinzu, die durch Flugemissionen in großer Höhe entsteht.<sup>5</sup> Ein Haupttreiber ist hier die wärmende Wirkung von Kondensstreifen und Zirruswolken, die durch Flüge verursacht wurden. Die Erwärmungswirkung hängt dabei auch von Faktoren wie Tag/Nacht, Flughöhe, Klimazone ab, kann aber über alle Faktoren im Mittel abgeschätzt werden.

Bei Geschäfts- und Privatreisen, die mit dem Flugzeug durchgeführt werden, sind die Treibhausgasemissionen aus dem Flug in der Regel der größte Teil der Gesamtemissionen – im Durchschnitt rund 80 %. Es ist daher erforderlich, dass die Methodologie beim Flug möglichst genau die tatsächlichen CO<sub>2</sub>e-Emissionen abbildet, da sie ansonsten die Genauigkeit des Gesamtergebnisses wesentlich beeinträchtigt.

### A. Betrachtung von Non-CO<sub>2</sub>-Emissionen im Flugverkehr

#### 1. Grundlagen<sup>6</sup>

Rund 3,5 Prozent beträgt der Anteil der globalen Luftfahrt an der bisherigen menschengemachten Klimaerwärmung. Die internationale Wissenschaft bewertet dabei alle Faktoren, die die Luftfahrtindustrie seit ihrem Entstehen zum Klimawandel beigetragen hat.<sup>7</sup> Dies schließt die Emissionen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) sowie der Wirkung von Kondensstreifen und Kondensstreifen-Zirren ein.

Dabei zeigt sich, dass nur ein Drittel der Klimawirkung des Luftverkehrs auf CO<sub>2</sub>-Emissionen entfällt. Die anderen zwei Drittel der Klimawirkung des Luftverkehrs sind auf Non-CO<sub>2</sub>-Effekte zurückzuführen. Kondensstreifen und daraus resultierende Kondensstreifen-Zirren sind dabei der bedeutendste Faktor. Der Grund dafür sind Partikelemissionen aller Art, die von Flugzeugtriebwerken ausgestoßen werden. Diese wirken bei geeigneter Temperatur und Feuchtigkeit der Umgebungsluft als Kondensationskeime für kleine unterkühlte Wassertropfen, die zu Eiskristallen

---

<sup>5</sup> Diese zusätzlichen Klimawirkungen werden als Non-CO<sub>2</sub>-Emissionen bezeichnet und wirken auf den Teil des Fluges, der in großen Flughöhen erfolgt. Gemeinsam mit den reinen CO<sub>2</sub>-Emissionen wirken sie im Mittel um einen bestimmten Faktor stärker Klimaerwärmend als die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Treibstoffverbrauchs allein. Man spricht hier von einem sogenannten Uplift-Faktor.

<sup>6</sup> Quelle des Kapitels: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR).

<sup>7</sup> Ungefähr die Hälfte des gesamten kumulativen CO<sub>2</sub>e-Ausstoßes wurde allein in den vorangegangenen 20 Jahren erzeugt.

gefrieren und als Kondensstreifen am Himmel sichtbar werden. Die Eiskristalle der Kondensstreifen können bei feucht-kalten Bedingungen in Höhen von etwa 8 bis 12 Kilometern mehrere Stunden bestehen und Kondensstreifen-Zirren bilden.

Diese Wolken können je nach Tageszeit und Untergrund lokal eine wärmende oder kühlende Wirkung entfalten. Dabei zeigen zahlreiche Forschungsarbeiten, dass die wärmende Wirkung global überwiegt.

Die Stickoxid-Emissionen des Luftverkehrs führen zu zusätzlichem Ozon in der oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre, wo sie das Klima erwärmen. Zusätzlich erzeugen Emissionen wie Wasserdampf, Ruß, Aerosol- und Sulfat-Aerosolpartikel weitere kleinere klimarelevante Beiträge. Werden alle Non-CO<sub>2</sub>-Effekte mit einbezogen, errechnet sich der Anteil des Flugverkehrs an der bisherigen globalen Erwärmung auf etwa 3,5 Prozent. Der Weg zu einer möglichst klimaverträglichen Luftfahrt muss all diese Faktoren der Klimawirkung des Fliegens berücksichtigen.

## 2. Wissenschaftliche Studien und aktueller Forschungsstand

Eine große Zahl wissenschaftlicher Studien untersucht bereits seit 1990 die oben genannten Effekte. Zwar gibt es hinsichtlich des resultierenden Uplift-Faktors für große Flughöhen immer noch Bandbreiten. Die wesentlichen Effekte sind aber seit ca. 2010 identifiziert und ihre quantitativen Auswirkungen bereits eingegrenzt, sodass der Uplift-Faktor seit einem Jahrzehnt stabil im Bereich von 2 bis 4 angegeben wird, mit einem Mittelwert von 3.

Die Forschung hat inzwischen einen Stand erreicht, bei dem die definierten Rahmenbedingungen bzw. Annahmen den Uplift-Faktor mehr beeinflussen als die Restunsicherheiten der Atmosphärenphysik. Dazu gehören bspw:

- Die gewählten Berechnungsmethoden des Uplift-Faktors: u.a. die Metriken Global Warming Potential GWP, Radiative Forcing RF oder Global Temperature Potential GTP
- Die Auswahl des Zeithorizonts hinsichtlich der Klimaeffekte von Kondensstreifen zum Vergleich von CO<sub>2</sub>e-Emissionen: z.B. 20, 50 oder 100 Jahre.
- Die Diskontierungsrate, mit der künftige Schädigungswirkungen von CO<sub>2</sub>e auf lange Zeiträume verteilt werden.

Tabelle 1 zeigt eine Auswahl von hochrangigen Studien der letzten 20 Jahre.

*Tabelle 1 Forschungsergebnisse zum Uplift-Faktor*

Quelle	Autor	Jahr	Metrik	Uplift-Faktor	Mittelwert
IPCC SR aviation	Penner et al.	1999	RF <sub>1992</sub>	2,0 - 4,0	2,7
IPCC FOAR	Solomon et al.	2007	RF <sub>2000</sub>	1,9 - 4,7	-
<b>MPI</b>	Graßl, Brockhagen	2007	RF	1,9 - 4,7	-
UBA	Project Team	2008	RFI	2 - 5	3
Atmospheric Environment	Lee et al.	2010	GWP <sub>20-100</sub>	1,9 - 4,8	-
UBA	Project Team	2019	verschiedene	-	3
EASA for EC	Project Team (i.a. DLR, CICERO, Manchester University)	2020	verschiedene	-	3
Atmospheric Environment	Lee et. al.	2020	GWP* <sub>100</sub>	-	3

Während in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts nur große Bandbreiten angegeben werden konnten, hat die Forschung in den letzten zehn Jahren einen Mittelwert von 3 konkretisiert. Dabei wurden normative Annahmen getroffen, die in der internationalen Klimapolitik (Kyoto-Protokoll und Paris Agreement) bzw. beim IPCC als etablierter politischer Konsens gelten.

Viele bekannte, seriöse Organisationen haben sich diesbezüglich öffentlich positioniert:

- UBA Uplift Faktor 3<sup>8</sup>
- EASA Uplift Faktor 3<sup>9</sup>
- DLR Uplift Faktor 3<sup>10</sup>

Im Ergebnis lässt sich festhalten, dass die Integration von Non-CO<sub>2</sub>-Emissionen bzw. deren klimawirksame Effekte in die Berechnungsmethode eines Flugstandards einfließen müssen. Der Uplift-Faktor sollte sich an international anerkannten wissenschaftlichen Ergebnissen orientieren. Nach dem stabilen Forschungsstand des vergangenen Jahrzehnts beträgt der Uplift-Faktor im Mittel 3 und wird in der KlimaLink-Flugmethode entsprechend einbezogen.

Da sich die Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte von einzelnen Flügen allerdings stark unterscheiden (z.B. je nach Route), ist eine spezifische Berechnung von Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Flug grundsätzlich wünschenswert. Aktuell fehlt hierfür jedoch noch eine gesicherte Datengrundlage. Bei Vorliegen relevanter neuer Studienergebnisse, die die genaue Berechnung von Nicht-CO<sub>2</sub> Emissionen für spezifische Flüge möglich machen, wird die bei KlimaLink verwendete Berechnungsmethoden entsprechend angepasst.

## B. Methodenbeschreibung

Die unten beschriebenen Faktoren bestimmen die CO<sub>2</sub>e-Emissionen des Flugverkehrs. Sie stellen eine Mindestmenge der hier zu berücksichtigenden Faktoren dar. Weitere Faktoren verändern den Treibstoffverbrauch zum Teil erheblich, können aber entweder nicht ex ante erfasst werden oder sind insgesamt nicht bedeutend genug, um einen erhöhten Erhebungs- und Berechnungsaufwand zu rechtfertigen. Zu diesen Faktoren, die in der KlimaLink-Flugmethode nicht berücksichtigt werden, gehören unter anderem

- Großwetterlage und damit verbundene Luftströmungen (Jetstream etc.).
- Wirtschaftlicher Flugbetrieb: Langsamflug oder SDA (Slow Descent Approach).
- Wartungszustand des jeweiligen Flugzeugs und seiner Triebwerke.
- Besondere örtliche Flughafenanforderungen, wie z.B. schnellstmöglicher Steigflug aus Lärmschutzgründen.
- Emissionen, die durch den Betrieb des Flughafens entstehen (Klimaanlage, Beleuchtung, Gepäck-/Passagiertransport usw.)<sup>11</sup>
- Übermäßiges Gewicht oder Gepäck der Fluggäste.<sup>12</sup>

---

<sup>8</sup> [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/fb\\_klimawirkung\\_des\\_luftverkehrs\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/fb_klimawirkung_des_luftverkehrs_0.pdf) und [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte\\_97-2022\\_der\\_uba-co2-rechner\\_fuer\\_privatpersonen.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_97-2022_der_uba-co2-rechner_fuer_privatpersonen.pdf)

<sup>9</sup> <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/120860/en>

<sup>10</sup> <https://www.dlr.de/de/forschung-und-transfer/themen/klimavertraegliches-fliegen/klimawirkung-luftverkehr>

<sup>11</sup> Gemäß ISO 14083 können Hub-Emissionen unberücksichtigt bleiben, wenn sie als vernachlässigbar angesehen werden (5.2.3.a), siehe Fraport-Umwelterklärung 2020 <https://www.fraport.com/de/nachhaltigkeit/umwelt-und-klima/umweltmanagement.html> und IATA Airport Environmental Sustainability <https://www.iata.org/contentassets/d1d4d535bf1c4ba695f43e9beff8294f/airport-environmental-sustainability-policy.pdf>

<sup>12</sup> Statt der bisher angenommenen 100 kg für Passagier und Gepäck gelten derzeit 105 kg als realistischerer Wert.



## 1. Distanz, gewählte Flugroute und Umwege

Die zurückgelegte Distanz hat entscheidende Auswirkungen auf den Treibstoffverbrauch und somit auf die Menge der CO<sub>2e</sub>-Emissionen. Daher muss diese so genau wie möglich bestimmt werden. Generell sind Airlines darauf bedacht, zwischen zwei Städten die kürzeste mögliche Verbindung zu fliegen. Die vorgeschriebene Flugroute ist in der Praxis jedoch keine gerade Linie. Durch unvorhergesehene Einflüsse kann sich die geflogene Distanz darüber hinaus verlängern. Daher wird die Distanz eines City Pairs mittels der Großkreisdistanz bestimmt. Dieser wird ein Umweg hinzugerechnet. Empirische Untersuchungen haben gezeigt, dass der absolute Umweg weitgehend entfernungsunabhängig ist, da bei kürzeren Flügen relativ größere Umwege anfallen als bei Langstreckenflügen. Die Flugmethode nutzt daher drei pauschale Umweglängen, die von drei Entfernungsklassen der Großkreisdistanz abhängen, und die die ICAO in ihrer Methode für Flugberechnungen ausweist.

Der Einfluss der Distanz auf den spezifischen Treibstoffverbrauch ist nicht linear. Abschnitt CC, Einflussvariablen und Berechnungsformeln, führt im Detail aus, wie die Methode diese Herausforderung löst. Dazu benötigt sie ein ausreichend engmaschiges Gitter von Standarddistanzen von allen Flugzeugtypen. Für dieses gelten daher die folgenden Anforderungen.

- Abdeckung: Mindestens 32 Standarddistanzen für Entfernungen zwischen 250 km und 18.000 km Flugweite (Aufnahme künftiger Ultralangstreckenflüge).
- Auflösung: Von 0 bis 3.000 km höchstens 250 km Abstand zwischen benachbarten Standarddistanzen, von 3.000 km bis 8.000 km höchstens 500 km Abstand, ab 8.000 km höchstens 1.000 km Abstand.

## 2. Genauer Flugzeugtyp

Der Treibstoffverbrauch ist stark vom Flugzeugtyp abhängig. Jedes Flugzeug ist vom Hersteller auf eine bestimmte Reichweite und Passagierkapazität ausgelegt und optimiert. Ein Einsatz außerhalb dieser Spezifikationen bedeutet i.d.R. einen steigenden Kerosinverbrauch je Passagier. Somit können je nach Airline und die durch sie betriebenen Flugzeuge auf ein und demselben City-Pair die CO<sub>2e</sub>-Emissionen je Passagier deutlich voneinander abweichen. Dieser Aspekt fließt in die Emissionsberechnung ein.

Darüber hinaus besteht das Portfolio der Flugzeughersteller aus verschiedenen Flugzeugfamilien, die mehrere Modelle enthalten.<sup>13</sup> Diese Modelle sind wiederum in verschiedenen Varianten vorhanden und auf unterschiedliche Passagierzahlen bzw. Entfernungen optimiert. Der genaue Flugzeugtyp fließt daher in die CO<sub>2e</sub>-Emissionsberechnung ein.

In der Praxis ist ein Flugzeugtyp durch Hersteller, Familie, Modell und Variante definiert. Die KlimaLink-Flugmethode verlangt daher, dass die Flugzeugtypen nach Hersteller, Familie, Modell und Variante für jeden Flug erfasst und auf dieser Detailebene in die computermodellbasierten Treibstoffverbrauchsberechnungen für Standarddistanzen und Nutzlasten eingehen (z.B. Boeing 777-200ER, siehe dazu auch Abschnitt 5 zu Treibstoffgewicht, Nutzlast und Flugprofil). Eine Einschränkung nur auf Familie und Modell oder nur nach Familie über zusammenfassende Hybridflugzeuge führt zu Abweichungen von bis zu +/- 30 % und ist damit zu ungenau für die Methode.

In manchen Fällen ist es nicht möglich, mit den Buchungsdaten der Flugbuchungssysteme (Flugnummer, Datum) eindeutig auf den Flugzeugtyp zu schließen. Gründe dafür sind beispielsweise,

---

<sup>13</sup> Bspw. Für den Airbus A320 die Typen A318, A319, A320, A321 oder für die Boeing B737 NG die Typen B737-600, B737-700, B737-800, B737-900

weil die Airline diesen nicht in den Flugplänen hinterlegt hat, oder bspw. die Flugpläne den Flugzeugtyp nicht anzeigen können. Daraus ergeben sich die folgenden Anforderungen an die Methode.

- **Abdeckung:** Umfasst alle Flugzeugtypen von Verkehrsmaschinen aller Hersteller der internationalen Luftfahrzeugklassen A und B (MTOW > 14 Tonnen), auf denen touristische Flüge angeboten werden. Sobald neue Flugzeugtypen zum Einsatz kommen, sind diese in der Methode zu erfassen (siehe Abschnitt 15 zu den Updates).
- **Tier 1:** Flugzeugtypen werden für jeden einzelnen Flug auf der Detailebene Hersteller, Familie, Modell und Variante erfasst und gehen auf dieser Ebene in die Berechnung der Treibstoffverbräuche mit Computermodellen auf Standarddistanzen und Standardnutzlasten ein (siehe Abschnitt 5 zu Treibstoffgewicht, Nutzlast und Flugprofil).
- **Tier 2:** Ersatzweise dürfen in Fällen, in denen der Flugzeugtyp nicht vollständig in den Flugplänen enthalten ist, schrittweise die Detailebenen bzgl. Variante, Modell, Familie und Hersteller entfallen.
- **Tier 3:** Wenn in Flugplänen keinerlei Angaben zum Flugzeugtyp enthalten sind, darf hilfsweise der Treibstoffverbrauch pro Passagier und 100 Personenkilometer in Abhängigkeit von mindestens zehn Flugdistanzklassen von Kurz- bis Ultralangstrecke generisch mit Durchschnittswerten aus unabhängigen Umweltkompendien wie z.B. vom Umweltbundesamt zum Einsatz kommen.

### 3. Ausstattung mit Winglets / Sharklets

Winglets bzw. Wingtips an den Flügelspitzen verbessern die aerodynamischen Eigenschaften des Flugzeugs und senken den Treibstoffverbrauch. Es sind Reduktionen um bis zu ca. 3 % möglich. Wenn eine Fluggesellschaft Flugzeuge mit Winglets nachrüstet, sollte diese in der Emissionsberechnung berücksichtigt werden. Nicht alle Flugzeugtypen lassen sich jedoch mit Winglets nachrüsten.

Bei der Treibstoffverbrauchsberechnung für Standardflüge mit dezidiertem Computermodell (siehe Abschnitt 5 zu Treibstoffgewicht, Nutzlast und Flugprofil) und nachfolgend CO<sub>2e</sub>/Pax Berechnung für Flüge ist daher bei jedem Flug bzw. jeder Buchung zu berücksichtigen, ob das vorhergesehene Flugzeug mit Winglets nachgerüstet wurde oder nicht.

Ist bei einem Flug aus dem Flugplan der Flugzeugtyp nicht auf die Winglet-Ebene bestimmbar, können für diesen Flug als Fallback Wingletquoten für den eingesetzten Flugzeugtyp innerhalb der ausführenden Airline angesetzt werden. Die Wingletquote gibt an, wieviel Prozent der Flugzeuge dieses Flugzeugtyps der Airline mit Winglets ausgestattet sind. Diese Quote wird dann als Durchschnittswert auf die zuvor mit dem Computermodell bestimmte Treibstoffersparnis für alle Flugzeuge dieses Typs der Airline angewendet.

### 4. Flugzeugalter und Wartung

Das Alter hat Einfluss auf den Treibstoffverbrauch eines Flugzeugs. Hierbei sind zwei Aspekte zu berücksichtigen.

#### a) Alter des Flugzeugs

Während der Lebensdauer einer Maschine können Abnutzungserscheinungen sowie Materialermüdung z.B. die Aerodynamik verschlechtern und einen höheren Treibstoffverbrauch verursachen. Dies lässt sich mittels guter Wartung vermindern oder vermeiden. Die Flugmethode nimmt hier an, dass dies in der Regel der Fall ist, und berücksichtigt daher das Alter des Flugzeuges nicht explizit in der CO<sub>2e</sub>-Berechnung.

### *b) Baujahr innerhalb einer Modellvariante*

Das Baujahr hat ebenfalls Einfluss auf den Treibstoffverbrauch. Gerade bei langlebigen Modellen können bei neueren Maschinen bessere, treibstoffsparende Technologien oder Materialien zum Einsatz kommen, die bei den älteren noch nicht zur Verfügung standen. Bei baujahrbedingten Unterschieden ist davon auszugehen, dass die älteren Maschinen mit den neueren Technologien nachgerüstet werden, wodurch sich die Unterschiede tendenziell ausgleichen. Solange keine passenden Daten am Markt verfügbar sind, kann dieser Aspekt jedoch nicht hinreichend gut berechnet werden.

### 5. Treibstoffgewicht, Nutzlast und Flugprofil

Ein Flug unterteilt sich in die Phasen Start (Take Off), Steigflug, Reiseflug (Cruise), Sinkflug sowie Landung. Vor allem Start und Steigflug benötigen viel Kerosin. Das fällt bei Kurzstreckenflügen mehr ins Gewicht als bei Mittel- und Langstreckenflügen. Somit ist der relative Treibstoffverbrauch je Passagier auf der Kurzstrecke höher als auf der Mittelstrecke. Die Langstrecke hat wiederum einen erhöhten spezifischen Verbrauch, weil die gesamte Treibstoffmenge transportiert werden muss, deren hohes Gewicht sich negativ auf den Gesamtverbrauch auswirkt.

In der Praxis ist dies der herausforderndste Teil der CO<sub>2</sub>e-Berechnung. Je schwerer das Flugzeug beim Abheben und je länger der Flug, desto höher ist der absolute Treibstoffverbrauch, wobei beide Faktoren deutlich nicht-linear das Ergebnis bestimmen. Wenn ein Flugzeug im Steigflug steiler steigt, verbraucht es mehr Treibstoff, erreicht aber wiederum schneller die Flughöhen, in denen mit geringeren Dichten der Luftwiderstand sinkt, was zu Treibstoffeinsparungen führt. Erst wenn dazu die Nutzlast (Passagiere und Beiladefracht) bekannt ist, kann die zu tankende Treibstoffmenge in einer ersten Näherung berechnet werden, die dann aber wieder das Abhebeweight erhöht (wie zusätzliche Nutzlast). Daher ist eine einfache direkte Berechnung des Kraftstoffbedarfs nur stark fehlerbehaftet möglich. Computermodelle wie Base of Aircraft Data (BADA) von Eurocontrol, piano-x oder kommerzielle Aircraft Performance Monitoring Modelle (APM) berücksichtigen diese Abhängigkeiten durch Iterationen und können so den tatsächlichen Kraftstoffverbrauch mit guter Genauigkeit für jeden einzelnen Flug berechnen.

Für die genannten Ziele der KlimaLink-Flugmethode ist es daher notwendig, dass die Grundlage der Kraftstoffverbrauchsberechnung einerseits auf vielen Standardflügen beruht, für die solche detaillierten Computermodelle den Treibstoffverbrauch berechnet haben. Von diesen Standardflügen ausgehend können dann andererseits für die große Anzahl täglicher Flugberechnungen von KlimaLink vereinfachend Interpolationen zur Anwendung kommen. Auf diese Weise wird die Komplexität von Flügen angemessen berücksichtigt, ohne in der Praxis einen deutlichen Berechnungsaufwand zu erzeugen.

Die KlimaLink-Flugmethode erfordert daher, dass die Verbräuche von Standardflügen engmaschig gruppiert werden, sowohl nach verschiedenen Standarddistanzen (siehe Abschnitt 1 Distanz) als auch nach verschiedenen Standardnutzlasten berechnet werden, auf deren Grundlage dann nachfolgend die Interpolation für die vielen realen Flüge erfolgen kann.

Die Verbräuche auf Standardflügen sollen mit dezidierten Modellen der Flugbranche berechnet werden, die die nicht-linearen Abhängigkeiten von Treibstoffgewicht, Flugdistanz, Nutzlast und Flugprofil mit guter Genauigkeit bei allen Flugzeugtypen für verschiedene Distanzen und Nutzlasten abbilden. Die Formeln für diese Berechnung der Verbräuche auf Standardflügen und die darauf basierenden Interpolationen finden sich in Abschnitt C.

## 6. Rollen am Boden (Taxiing) und Reservetreibstoff

Flugzeuge müssen vor dem Start noch vom Terminal zur Startbahn rollen und verbrauchen dabei Treibstoff und emittieren CO<sub>2e</sub>-Emissionen, die in den Flugprofilen zunächst nicht erfasst werden. Das Gleiche gilt für das Rollen zum Terminal nach der Landung. Die Rolldistanz variiert von Flughafen zu Flughafen, daher variiert auch der Verbrauch für das Taxiing. Aufgrund des relativ geringen Gewichts kann dieser Effekt mittels eines Aufschlags beim Treibstoffverbrauch ausreichend genau berücksichtigt werden. Für hier anzunehmende durchschnittliche Flughäfen ist dies bereits Teil der Treibstoffberechnung der dezidierten Computermodelle (siehe Abschnitt 5 Treibstoffgewicht, Nutzlast und Flugprofil).

Jedes Flugzeug muss Reservetreibstoff mitführen, um ggf. für Abweichungen von der geplanten Route vorzusorgen. Der Reservetreibstoff erhöht das Abfluggewicht und damit die CO<sub>2e</sub>-Emissionen eines Fluges teilweise deutlich und muss demzufolge auch berechnet werden. Die Bestimmung der notwendigen Menge unterliegt dabei derselben Komplexität und ähnlichen Abhängigkeiten wie die Bestimmung des eigentlichen Treibstoffverbrauchs und kann entsprechend von den dort genannten Computermodellen für die Standarddistanzen und -Nutzlasten berechnet werden.

## 7. Bestuhlung (Anzahl der Sitze an Bord)

Die Auswahl des Flugzeugtyps gibt die maximale Anzahl der Sitze an Bord vor. Jedoch bestehen von Airline zu Airline und auch innerhalb einer Airline Unterschiede bei der in einem bestimmten Flugzeugtyp installierten Gesamtsitzzahl. Diese muss für jeden Flug genau berücksichtigt werden, da sie die CO<sub>2e</sub>-Emissionen zusammen mit der Passagierauslastung über die Nutzlast und damit den absoluten Treibstoffverbrauch erheblich beeinflussen.

- **Tier 1:** Die Bestuhlung wird bei jedem einzelnen Flug für die genaue Konfiguration des eingesetzten Flugzeugtyps erfasst.
- **Tier 2:** Die Bestuhlung eines Flugzeugtyps wird auf der Ebene einer Airline gemittelt erfasst. D.h., wenn z.B. eine Airline in ihrer Flotte mehrere Boeing 777-200ER besitzt und diese zur Hälfte 280 Sitze und zur Hälfte nur 260 Sitze haben, dann ist mindestens der gewichtete Durchschnittswert von 270 Sitzen in der Berechnung anzusetzen.

## 8. Passagierauslastung

Die Bestuhlung in Verbindung mit der Auslastung ergibt die tatsächlich transportierte Passagiernutzlast, die über die zusammen mit dem Gepäck entstehende Nutzlast wesentlich für den Treibstoffverbrauch und die Emissionen des Fluges ist.

- **Zeitpunkt der Auslastungsdaten:** Obwohl der Flug bei der Buchung durch den Passagier noch in der Zukunft liegt, muss der Auslastungsfaktor mit bester Wahrscheinlichkeit aus der jüngsten Vergangenheit abgeschätzt werden. Dazu werden bei Bestandsflügen auf dem gleichen City-Pair die Auslastungsdaten des Fluges und der Airline im jüngsten Vorjahr herangezogen, für das die offiziellen Datendienste wie ICAO-TFS und andere Daten anbieten. Bei neuen Flügen, die eine Airline im aktuellen Jahr zum ersten Mal anbietet, wird näherungsweise eine Auslastung angesetzt, die die Airline in der Flugregion (wenn nicht bekannt dann alternativ das globale Mittel der Airline) auf ähnlicher Streckenlänge zuletzt erzielen konnte.
- **Tier 1:** Die Passagierauslastung geht individuell für jeden einzelnen Flug in die Berechnung der Nutzlast und damit des Treibstoffverbrauchs ein.
- **Tier 2:** Wenn die Datenquellen die Passagierauslastung nicht für einen einzelnen Flug ausweisen (Kombination von Flugnummer und Flugdatum), dann können ersatzweise

die Auslastungsdaten mit Mittelungen auf den folgenden Ebenen in folgender Reihenfolge zum Einsatz kommen:

1. Auslastung per Airline und Flugzeugtyp auf dem City-Pair, Jahresmittel.
  2. Auslastung per Airline auf dem City-Pair, gemittelt über ein Jahr.
  3. Auslastung per Airline, globales Mittel, unterschieden nach domestic und international (wenn nicht vorhanden: global).
- **Tier 3:** Auslastung per globalem Mittelwert aller Airlines, unterschieden nach Kurz-, Mittel- und Langstrecke (Literaturwerte).

### 9. Differenzierung nach Sitzklassen

Flugzeuge können, je nach bedientem Kundensegment, unterschiedlich bestuhlt werden. Nicht nur die Anzahl der Sitze sowie die Abstände der Sitzreihen variieren, sondern auch das Verhältnis von First Class, Business, Premium Economy und Economy Sitzen. Die Klassen nehmen unterschiedlich viel Raum pro Passagier ein, wodurch auch unterschiedlich große Teile des absoluten Treibstoffverbrauchs der jeweiligen Sitzklasse zugeordnet werden müssen – Economy am wenigsten, First Class am meisten.

Im Unterschied zu den bisher genannten Faktoren beeinflussen die Sitzklassen nicht mehr die Nutzlast eines Flugzeuges (diese wird bestimmt durch die Anzahl der Passagiere, die sich aus den Auslastungen (siehe Abschnitt 8) und der Bestuhlung (siehe Abschnitt 7) ergibt). Daher können die Sitzklassen einfach per Multiplikator am Schluss der Berechnungsmethode auf den Durchschnitts-CO<sub>2</sub>e-Fußabdruck des gesamten Fluges angewendet werden. Die Multiplikatoren drücken dabei den Raumbedarf eines Sitzes der jeweiligen Klasse im Verhältnis zum Platzbedarf eines Sitzes der niedrigsten Klasse (Economy) aus.

Für die detaillierte Abbildung dieses Faktors auf allen Flügen müsste das Cabin Layout jedes einzelnen Flugzeugs ausgemessen werden, was in der Praxis nicht möglich ist. Es zeigt sich aber, dass sich weltweit die Multiplikatoren für Sitzklassen nur signifikant zwischen single- und double aisle Flugzeugen<sup>14</sup> unterscheiden, innerhalb dieser beiden Gruppen von Flugzeugen aber in der Regel homogen mit nur geringen Abweichungen sind. Die IATA hat deswegen in ihrem CO<sub>2</sub>e-Berechnungsstandard zuletzt global gültige Multiplikatoren für diese beiden Gruppen von Flugzeugen ausgewertet und für die Berechnung vorgeschrieben.

Aus diesen Gründen berücksichtigt die KlimaLink-Flugmethode die Sitzklassen wie folgt.

- **Tier 1:** Anwendung von Sitzklassenmultiplikatoren, die für den jeweiligen Flugzeugtyp aus dem Cabin-Layout der jeweiligen Airline abgeleitet wurden. Dabei dürfen auch gewichtete Mittelwerte der Multiplikatoren verwendet werden, wenn eine Airline den gleichen Flugzeugtyp mehrfach, aber in unterschiedlichen Layouts verwendet.
- **Tier 2:** Anwendung von global gültigen Sitzklassenmultiplikatoren, aufgeteilt in single und double aisle Flugzeuge nach der IATA-Methode und mit IATA-Daten.

### 10. Beiladefrachtkapazität

Die Beiladefrachtkapazität wirkt sich analog zur Bestuhlung auf den Treibstoffverbrauch aus. Verfügbare Datenquellen weisen die Beiladefrachtkapazität der einzelnen Flugzeuge einer Airline analog zu den Bestuhlungsdaten in *Tonnen Frachtkapazität* aus. Aus diesem Grund erfolgt

---

<sup>14</sup> Single Aisle / narrow body: Flugzeuge, in der Regel für die Kurz- und Mittelstrecke mit einem Gang. Double Aisle / wide body: breitere, größere Flugzeuge mit zwei Gängen für die Fernstrecke.



auch die Erfassung der Beiladefrachtkapazität in der Flugmethode von KlimaLink analog zur Passagierkapazität.

- **Tier 1:** Die Frachtkapazität wird bei jedem einzelnen Flug für die genaue Konfiguration des eingesetzten Flugzeugtyps erfasst.
- **Tier 2:** Die Frachtkapazität eines Flugzeugtyps wird auf der Ebene einer Airline gemittelt erfasst. D.h., wenn z.B. eine Airline in ihrer Flotte mehrere Airbus A 340 besitzt und 50 % der Flugzeuge 12 Tonnen, 50 % nur 6 Tonnen Beiladefracht-Kapazität haben, dann ist mindestens der gewichtete Durchschnittswert von 9 Tonnen in der Berechnung anzusetzen.

### 11. Auslastung Beiladefracht

Analog zur Passagierauslastung wirkt sich die Auslastung auch bei der Beiladefracht direkt auf die Nutzlast und damit auf den absoluten und nachfolgend spezifischen Treibstoffverbrauch aus. Die KlimaLink-Methode ist bei der Auslastung zur Beiladefracht analog zur Auslastung der Passagiere definiert. Dies gilt sowohl für den Zeitpunkt der Auslastungsdaten für Beiladefracht, als auch für die drei Tiers, die in absteigender Genauigkeit sicherstellen, dass die Methode in der Praxis für alle Flüge einen definierten Wert zurückgibt.

### 12. Beiladefrachtabschlag, Zielgebiete

Die per Beiladung transportierte Fracht führt zu einem Mehrverbrauch an Treibstoff, der von den Flugpassagieren abgezogen werden kann, sofern die transportierte Fracht nicht im direkten Zusammenhang mit der Reise steht. Dies führt zu einer Reduktion der Nutzlast, die den Flugpassagieren anzurechnen ist. Somit verringern sich die spezifischen CO<sub>2e</sub>-Emissionen pro Fluggast.

Bei touristischen Flügen wird jedoch häufig die Beiladefracht zur Versorgung der Zielgebiete eingesetzt, die von den mitfliegenden Passagieren genutzt wird. Daher kann der CO<sub>2e</sub>-Abzug für die Passagiere hier nur in einem geringeren Umfang erfolgen. Es gibt derzeit keine quantitative Literatur zu der Frage, welcher Anteil der Beiladefracht auf touristischen Flügen touristischen Zwecken dient (z.B. Import von bestimmten Nahrungsmitteln). Da aber der Effekt auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen insgesamt relativ klein ist, setzt die Klimalink-Methode an dieser Stelle einen Pauschalwert an, der damit für alle angeflogenen touristischen Destinationen gilt.

Nach diesem Pauschalwert werden in einfacher Abschätzung 50 % der Beiladefracht als touristisch gewertet und 50 % als außertouristisch.

Die Berechnung der Gesamtemissionen eines Fluges erfolgen mit der vollen Beiladefracht. Bei der Umlegung der Emissionen auf einzelne Passagier:innen werden jedoch nur die Emissionen zum Transport des als touristisch angenommenen Teils der Beiladefracht berücksichtigt; der nicht-touristische Anteil wird nicht angerechnet.

### 13. Vorkette der Kerosinproduktion (Well-to-Wheel)

Auch bei der Emissionsberechnung von Flugreisen müssen die Well-to-Wheel-Emissionsfaktoren für Kerosin berücksichtigt werden. Dabei sind drei Bereiche relevant:

1. Ölförderung im Quellland: (Bohrungen, Förderung, Ausbau, Flaring) und Transport zur Raffinerie.
2. Raffinerie: Verarbeitung von Rohöl zu Kerosin.
3. Transport des Kerosins von der Raffinerie zum Flughafen.

Diese Emissionen müssen einbezogen werden, weil der Passagier als zahlender Kunde die CO<sub>2</sub>-Emissionen in diesen Bereichen entscheidend mitträgt.

Die KlimaLink-Flugmethode setzt beim Kerosin die Systemgrenzen nach dem WTW-Ansatz in Abgrenzung zum TTW-Ansatz, wie es in der DIN EN 16258 beschrieben ist. Er bezieht damit die Emissionen der Vorkette in die Methode ein. Für diese ist, genauso, wie für die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Fluges in Flughöhen unter 9 km Höhe, der Non-CO<sub>2</sub>-Multiplikator nicht anzuwenden.

#### 14. Einbezug von Non-CO<sub>2</sub>-Emissionen

Wie in Abschnitt I.D.3 beschrieben, entstehen neben den CO<sub>2</sub>-Emissionen auch weitere, insgesamt wärmende Klimaeffekte. Diese Klimaeffekte entfalten in der Reise-Flughöhe im Mittel eine Wirkung, die die reinen CO<sub>2</sub>-Effekte um das Dreifache übersteigt. Eine emittierte Tonne CO<sub>2</sub> hat demnach zusammen mit den Non-CO<sub>2</sub>-Emissionen in der oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre in Reiseflughöhen von über 9 km eine genauso wärmende Klimawirkung wie drei Tonnen reines CO<sub>2</sub>.

Die Berechnungsmethode berücksichtigt zusätzliche Klimawirkung von Non-CO<sub>2</sub>-Emissionen, jedoch nur für den Fluganteil in Flughöhen von über 9 km. Bei Kurzstreckenflügen ist dieser Anteil geringer als bei Langstreckenflügen und kann auch Null sein, sofern die Flugzeuge auf Kurzstreckenflügen nicht über 9 km steigen bzw. nicht so hoch fliegen können (z.B. viele Turboprop-Flugzeuge). Nur der Treibstoffverbrauch und damit die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Flughöhen von über 9 km sind zu bestimmen und nur diese mit dem Aufschlagsfaktor für Non-CO<sub>2</sub>-Emissionen zu multiplizieren.

#### 15. Qualität und Updates von Daten

Aktualität und Qualität der Eingangsdaten sind wichtig, um bei der vorliegenden differenzierten Methode von KlimaLink die entsprechende Qualität der Ergebnisse zu erhalten.

##### a) Qualität

Die Eingangsdaten im Klimalink-Standard erfüllen die Qualitätsvorgaben der Unabhängigkeit und der Verifizierung.

- **Unabhängigkeit:** Die Daten sollen von unabhängigen Quellen Dritter kommen (kommerzielle Datendienste, Behörden und andere offizielle Stellen wie z.B. UBA, Eurocontrol etc.), sowie von peer-reviewten wissenschaftlichen Veröffentlichungen. Sie dürfen nicht direkt von den Airlines, Flugzeugherstellern oder Interessensverbänden kommen, ohne dass sie durch eine Prüfung durch eine der genannten unabhängigen dritten Seiten gelaufen sind.
- **Verifizierung:** Die Daten sollen vom Datenanbieter zumindest auf Plausibilität und Konsistenz überprüft worden sein.

##### b) Updates

Folgende Aktualisierungsfristen gelten für die verschiedenen Daten.

- Flugplandaten: monatlich.
- Flugzeugtypen: bei jedem neuen Flugzeugtyp bei Erscheinen in den Flugplänen, inkl. Umsetzung der Standardtreibstoffverbräuche in einem geeigneten Computermodell.
- Flottenzusammensetzungen der Airlines: jährlich.
- Bestuhlung, Beiladefrachtkapazität: jährlich.
- Auslastungsfaktoren: jährlich (Tier 1 und 2), alle fünf Jahre (Tier 3).

- Andere wissenschaftliche Daten wie z.B. für Non-CO<sub>2</sub>, Kerosin-Vorkette: Sobald von der Wissenschaft wesentliche, über einen Zeitraum von drei Jahren durch Veröffentlichungen konsistent bestätigte wesentliche neue und quantifizierte Erkenntnisse vorliegen, die Eingang in die Fachliteratur gefunden haben.



## C. Einflussvariablen und Berechnungsformeln

### 1. Variablen

Variable	Beschreibung	Wert / Einheit
<b>Distanzen</b>		
$D_G$	Großkreisdistanz eines City Pairs	km
$D_R$	Zuschlag für Umwege, pauschal, gestaffelt nach Großkreisdistanz	km
$D$	Distanz der Flugroute eines City Pairs, (Großkreis + Umweg)	km
$D_o$	Standarddistanz oberhalb der Distanz $D$ des Fluges	km
$D_u$	Standarddistanz unterhalb der Distanz $D$ des Fluges	km
<b>Flugzeuggewichte und Lasten</b>		
TOW	Take Off Weight, Abhebegewicht des Flugzeugs	Tonnen
OEW	Operational Empty Weight, Leergewicht des Flugzeugs	Tonnen
NL	Nutzlast (Passagiere, Gepäck und Beiladefracht)	Tonnen
PAX	Anzahl der Passagiere an Bord eines Fluges	-
$S_c$	Sitzplatzkapazität an Bord des Flugzeugs (Anzahl der verfügbaren Sitze, Summe über alle Sitzklassen)	-
$C_c$	Frachtkapazität für Beiladefracht (zuzüglich zum Gepäck der Passagiere)	Tonnen
$LF_p$ und $LF_c$	Load Factor (Auslastungsfaktor) für Passagiere und Cargo (Beiladefracht)	%
$NL_{80}$ , $NL_{20}$	Nutzlast in den Fällen einer Auslastung sowohl der Passagiere als auch der Beiladefracht von 80% bzw. 20%.	Tonnen
<b>Treibstoffverbräuche und Emissionsfaktoren</b>		
$F_{NL,D}$	Absoluter Treibstoffverbrauch des betrachteten Fluges, abhängig von der Nutzlast $NL$ und der Flugdistanz $D$	kg
$F_{NL20,D}$ $F_{NL80,D}$	Absoluter Treibstoffverbrauch des betrachteten Fluges, bei 20% bzw. 80% Auslastung der gesamten Nutzlast, auf der Flugdistanz $D$	kg
$CO_{2,PAX}$	Spezifische $CO_2$ -Emissionen pro Passagier	kg
$EF_{TTW}$	Emissionsfaktor für die Umwandlung von Treibstoffverbrauch in $CO_2$ -Emissionen in den Systemgrenzen Tank to Wheel (TTW)	kg $CO_2$ / kg fuel
$EF_{WTW}$	Emissionsfaktor für die Umwandlung von Treibstoffverbrauch in $CO_2$ -Emissionen in den Systemgrenzen Well to Wheel (WTW)	kg $CO_2$ / kg fuel

$F_{\text{Taxi}}$	Konstante für Treibstoffverbrauch pro Passagier beim Taxiing des Flugzeuges auf den Flughäfen vor dem Start und nach der Landung	kg
<b>Weitere Faktoren</b>		
$f_{\text{winglet}}$	Faktor für prozentualen Abschlag des absoluten Treibstoffverbrauchs durch Winglets	%
$f_{\text{cabin class}}$	Faktoren für die Differenzierung der spezifischen CO <sub>2</sub> e-Emissionen pro Passagier nach Sitzklasse (Economy, Business, First Class)	-
$f_{\text{Zielgebiet}}$	Faktor, der den Abschlag des spezifischen Treibstoffverbrauchs je Passagier für die Beiladefracht reduziert, weil die Beiladefracht dem Zielgebiet und dem Passagier zugutekommt.	50%
<b>Klimawirkung Kondensstreifen etc. (Non-CO<sub>2</sub>)</b>		
$f_{\text{NCO}_2}$	Faktor für die Klimawirksamkeit aller Emissionen (CO <sub>2</sub> und non-CO <sub>2</sub> ) gegenüber den reinen CO <sub>2</sub> -Emissionen von Flügen in Flughöhen über 9000m. In geringeren Flughöhen wird der Faktor stets mit 1 angesetzt.	3
$f_{\text{cruise}}$	Anteil der Flugdistanz in Flughöhen über 9.000 m in Relation zur gesamten Flugstrecke; notwendig für die Klimawirksamkeit der Nicht-CO <sub>2</sub> -Emissionen	%
CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> -äquivalente Emissionen	kg
CO <sub>2</sub> e PAX	Spezifische CO <sub>2</sub> -äquivalente Emissionen (pro Passagier)	kg

## 2. Berechnungsformel

Der absolute Treibstoffverbrauch  $F$  eines spezifischen Flugzeugtyps auf einem bestimmten Flug berechnet sich allgemein wie folgt:

$$F_{\text{TOW, D}} = f(\text{TOW}, D)$$

mit TOW = Take-Off-Weight;

$D$  = Flugdistanz;  $D = D_G + D_R$  mit  $D_G$  = Großkreisdistanz,  $D_R$  = Roundabout (nach ICAO)

$f$  = Funktion, berechnet mit einem dezidierten Computermodell (siehe II.B.5)

$$\text{TOW} = \text{OEW} + \text{NL} + \text{Taxi fuel} + \text{Trip fuel} + \text{Reserve fuel}$$

Mit OEW = Operational Empty Weight der Flugzeughardware, abhängig vom Flugzeugtyp

NL = Nutzlast (Summe aus Gewicht der Passagiere, deren Gepäck sowie zusätzliche Luftfracht als Beiladefracht)

*a) Nutzlast und Distanz: zentrale übergeordnete Variablen für den Treibstoffbedarf*

Das Take-Off-Weight (TOW) eines Flugzeuges (zusammengesetzt aus der Hardware des Flugzeuges, der Nutzlast (NL) sowie dem getankten Treibstoff) und die Distanz sind die beiden wesentlichen durch den Betreiber eines Flugzeuges gesteuerten Variablen, die den Treibstoffverbrauch des Flugzeuges auf einen Flug bestimmen.

KlimaLink verlangt zwar die Abbildung der beiden zentralen variablen Faktoren Distanz und Nutzlast für jeden Flugzeugtyp in der o.a. nicht-linearen gegenseitigen Abhängigkeit (siehe Abschnitt: Treibstoffgewicht, Flugprofil und Flughöhe), lässt aber danach eine Näherung zu. Dies geschieht, in dem zunächst für jeden Flugzeugtyp viele und engmaschige Kombinationen von verschiedenen Standardnutzlasten und -Distanzen von einem Computermodell exakt vorberechnet werden, und danach aus diesen exakten Werten (Wertematrix) der berechnete Treibstoffverbrauch für den jeweiligen Flug des Flugzeugtyps interpoliert wird.

#### *b) Exakte Computermodellberechnung für Wertematrix und nachfolgend Interpolation*

Praktisch bedeutet das, dass die möglichen Distanzen eines Flugzeugtyps zunächst auf Standarddistanzen heruntergebrochen werden (siehe Abschnitt Flugdistanz). Für jede der Standarddistanzen, die einmal oberhalb und einmal unterhalb der tatsächlichen Distanz  $D$  des gesuchten Fluges liegen ( $D_o$  und  $D_u$ ), wird dann der Treibstoffverbrauch ermittelt für Nutzlastauslastungen von 80 % und 20 % ( $NL_{80}$  und  $NL_{20}$ ). Aus diesen insgesamt vier genau berechneten Kombinationswerten für einen Flugzeugtyp kann dann der Treibstoffverbrauch für die tatsächliche Distanz  $D$  und tatsächlichen Nutzlast  $NL$  mit guter Genauigkeit linear interpoliert werden.

Einfachere Verfahren, die nur verschiedene Standarddistanzen mit jeweils einer mittleren Auslastung nutzen, um einen Grundverbrauch auf einer Distanz zu berechnen, und die dann die realen Auslastungen von Fracht und Passagieren nur als Multiplikatoren auf diesen Grundverbrauch anwenden, sind dagegen zu fehlerbehaftet, weil sie die o.a. Abhängigkeiten nicht beachten.

Die Definitionen und Formeln für die Umsetzung Klimalink-Methode Flug ergeben sich somit wie folgt:

#### *c) Definitionen*

$NL$	$= PAX * 100kg + C;$	mit $NL =$ Nutzlast; $C =$ additional Cargo (Beiladefracht)
$PAX$	$= S_c * LF_p;$	mit $S_c =$ Sitzplatzkapazität; $LF_p =$ Auslastungsfaktor Passagiere
$C$	$= C_c * LF_c$ mit $C_c$	$=$ Frachtkapazität; $LF_c =$ Auslastungsfaktor Beiladefracht; $NL_{80}$
	$= PAX$ (bei $LF_p$ von 80%)	$* 100kg + C_c * 80%;$
$NL_{20}$	$= PAX$ (bei $LF_p$ von 20%)	$* 100kg + C_c * 20%;$

#### *d) Berechnung der Treibstoffverbräuche, Standarddistanzen und Standardnutzlasten*

Zunächst sind die Standardwerte für  $F_{NL_{20}}$  und  $F_{NL_{80}}$  für jede Flugzeugvariante mit einem Computermodell der in diesem Standard genannten Qualitätsklasse für die Treibstoffberechnung zu ermitteln.

Mit der Berechnung von  $F_{NL_{20}}$  und  $F_{NL_{80}}$  auf allen Standarddistanzen und für alle möglichen Flugzeugtypen mit den beiden vorstehenden Formeln ist das Erstellen der Treibstoffverbrauchsmatrix abgeschlossen.

Aus dieser ergibt sich der gesuchte absolute Treibstoffverbrauch eines Fluges  $F_{NL, D}$  per linearer Interpolation aus den vier Einzelwerten der Treibstoffverbrauchsmatrix  $F_{(NL_{20}, D_o)}$ ,  $F_{(NL_{20}, D_u)}$ ,  $F_{(NL_{80}, D_u)}$  und  $F_{(NL_{80}, D_o)}$  in drei Schritten wie folgt:

$$F_{NL_{20}, D} = \left( \frac{F_{(NL_{20}, D_o)} - F_{(NL_{20}, D_u)} (D - D_u)}{(D_o - D_u)} + F_{(NL_{20}, D_u)} \right) * f_{winglet}$$

$$F_{NL_{80}, D} = \left( \frac{F_{(NL_{80}, D_o)} - F_{(NL_{80}, D_u)} (D - D_u)}{(D_o - D_u)} + F_{(NL_{80}, D_u)} \right) * f_{winglet}$$

$$F_{NL, D} = \frac{F_{NL_{80}, D} - F_{NL_{20}, D} (NL - NL_{20})}{(NL_{80} - NL_{20})} + F_{NL_{20}, D}$$

*e) Berechnung der spezifischen CO<sub>2</sub>e-Emissionen pro Sitzklasse, in den Grenzen WTW*

Für die Berechnung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen eines Fluggastes zunächst in den Systemgrenzen Tank to Wheel (TTW) wird die folgende Formel verwendet:

$$CO_{2\ PAX, TTW} = F_{NL, D} * EF_{TTW} / PAX$$

Um nun die zugehörigen Non-CO<sub>2</sub>-Emissionen zu berechnen, müssen die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen (kg CO<sub>2</sub> pro Passagier auf einem Flug) ergänzt werden mit den zusätzlichen Klimawirkungen, die sich aus den Non-CO<sub>2</sub>-Emissionen des Fluges ergeben (Kondensstreifen, Zirkuswolken, Ozonaufbau, Methankühlung etc.).

$$CO_{2e\ PAX, TTW} = (CO_{2\ PAX\ TTW} * (1 - f_{cruise})) + (CO_{2\ PAX\ TTW} * f_{cruise} * f_{NCO_2})$$

Zuletzt müssen noch die Emissionen der Vorkette der Kerosinproduktion einbezogen werden, um die spezifischen CO<sub>2</sub>e-Emissionen von den Systemgrenzen TTW (Tank to Wheel) in die gewünschten WTW (Well to Wheel) Systemgrenzen zu überführen, sowie die Differenzierung der spezifischen CO<sub>2</sub>e-Emissionen in Sitzklassen.

$$CO_{2e\ PAX, WTW, cabin\ class} = (CO_{2e\ PAX\ TTW} + (F_{NL, D} / PAX) * (EF_{WTW} - EF_{TTW})) * f_{cabin\ class}$$

Damit ist die Berechnung abgeschlossen, die unter Einbeziehung aller im KlimaLink Standard genannten Faktoren die spezifischen CO<sub>2</sub>e-Emissionen pro Fluggast in seiner Sitzklasse in den gewünschten Systemgrenzen WTW liefert.

Stand Oktober 2024

Dieses Dokument ist entstanden im Projekt „Klimabewusst reisen“, an dem alle Unternehmen, Verbände und Organisationen der Tourismuswirtschaft eingeladen sind, mitzuarbeiten. Das Projekt wird von Futouris e.V. finanziert und durchgeführt.

Kontakt Futouris / KlimaLink

Swantje Lehnert  
Futouris Geschäftsführerin  
KlimaLink Vorstandsvorsitzende  
[Swantje.lehnert@futouris.org](mailto:Swantje.lehnert@futouris.org)

Saskia Sánchez  
KlimaLink Managing Director  
[Saskia.sanchez@klimalink.org](mailto:Saskia.sanchez@klimalink.org)

Projektleitung Klimabewusst reisen – Standardentwicklung

Prof. Dr. Harald Zeiss  
Institut für nachhaltigen Tourismus GmbH  
[harald.zeiss@inatour.de](mailto:harald.zeiss@inatour.de)