

## **CarbonTracer – ein Carbon Management Service der Uni Graz**

**ein Web/App-Service der Klimaschutz-Innovationsschmiede Uni Graz zur verlässlichen Berechnung der Treibhausgas-Emissionen aus Mobilität für Organisationen, Unternehmen und Einzelpersonen**

### **Die Herausforderung und Lösungsnotwendigkeit – die Pariser Klimaziele erreichen**

Die Herausforderung zur Erreichung der Ziele des Pariser Klimaabkommens, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2°C mit angestrebten 1,5°C zu begrenzen, ist nicht nur für die internationale Politik und alle Länder sehr groß. Sie betrifft ebenso die darunterliegenden institutionellen Ebenen von Organisationen und Unternehmen bis auf die Ebene von Haushalten und Einzelpersonen.

Angesichts des fundiert gesicherten Wissens über die Physik des Klimawandels müssen wir jedoch die physikalischen Realitäten und damit die unausweichliche Notwendigkeit der Transformation zu einer nahezu treibhausgas-emissionsfreien Gesellschaft klar und lösungswillig akzeptieren. Um gemeinsam diese notwendige Transformation zu einer klimagerechten Gesellschaft und Lebensweise auf allen öffentlichen, institutionellen und persönlichen Ebenen fair und effektiv zu erreichen, bedarf es eines professionellen lösungsorientierten Ansatzes, um erfolgreich den eigenen Anteil zu einem insgesamt global erfolgreichen Klimaschutz beizutragen.

### **Der Lösungsansatz und die Lösungskompetenz – Carbon Management für den Klimazielweg**

Das **Wegener Center für Klima und Globalen Wandel** ist ein interdisziplinäres Institut der Universität Graz, mit Schwerpunkt auf Klimaforschung und Klimaschutz-Innovationen. In diesem Zusammenhang wurde vom Wegener Center der **Lösungsansatz Carbon Management (CM)** entwickelt ([Kirchengast et al. 2021](#); [CM Kurzinfor](#)). Institutional Carbon Management (**ICM**) hilft Institutionen und Organisationen wie der Vorreiterin Uni Graz ([klimaneutral.uni-graz.at](http://klimaneutral.uni-graz.at)), erfolgreich einen Klimaschutzweg im Einklang mit den Pariser Klimazielen zu gehen; Personal Carbon Management (**pCM**) unterstützt Haushalte, Familien und Einzelpersonen bei demselben Ziel auf persönlicher Ebene.

Wie in der [CM Kurzinfor](#) näher ausgeführt, geht es in einem ersten Schritt darum, eine verlässliche Treibhausgas-Referenzbilanz („THG-RefEms2020“) als Ausgangsbasis zu erstellen und einen Pariser Klimazielweg auf Basis entsprechender Reduktionszielpfade für den nötigen Emissionsabbau in den Aktionsbereichen *Energie, Mobilität, Ressourcen* und *Bestände* zu verfolgen. Ein **wesentliches Element** ist dabei ein **verlässliches begleitendes Emissions-Monitoring** das die Zielrichtung einhalten hilft.

In diesem Zusammenhang wurde im **emissions-intensiven Bereich Mobilität** und der Emissionsgruppe Dienstreisen im elektronischen Reiseworkflow der Uni Graz **eine Service-App programmiert**, welche die THG-Emissionen der Reisen direkt integriert im Workflow berechnen kann. Dabei ist es das zentrale Ziel, dienstliche Reisen real abzubilden, inklusive verschiedener Teilstrecken (z.B. Zwischenstopps) und der verschiedenen verwendeten Verkehrsmittel während der Reise.

Die Kompetenz dafür ist in der **Abteilung HR-Applications** im Personalressort der Uni Graz angesiedelt, die auf die Implementierung von speziellen Software- bzw. IT-Lösungen spezialisiert ist. Der Fokus liegt dabei auf Personalmanagement-Support und der intelligenten Vernetzung diverser Services.

### **Das Uni Graz CarbonTracer Service – für wirksames Carbon Management im Bereich Mobilität**

Im Zuge der Implementierung des elektronischen Reiseworkflows an der Universität Graz wurde eine erfolgreiche Kooperation zwischen dem Wegener Center und der Abteilung HR-Applications gestartet und gemeinsam eine **Service-App für klimafreundlicheres Reisen** entwickelt. Je nach Verkehrsmitteln werden dabei die anteiligen Routen eines Reiseverlaufs berechnet und diese mit der bereitgestellten Emissionsberechnung des Wegener Centers kombiniert. Dabei spielen nicht nur genaue Distanzen zwischen den jeweiligen Start-und-Ziel-Orten eine wesentliche Rolle. Auch wird bei der Berechnung etwa berücksichtigt, aus welchen Quellen die Energie für die Verkehrsmitteln gewonnen wird.

Das Service unterscheidet derzeit zwischen folgenden **Verkehrsmitteln** und entsprechenden **Routenberechnungen**:

- Schienenverkehr: Zug (Sitzplatz, Liegewagen, Schlafwagen)
- Straßenverkehr: E-Bus, Bus, E-Auto, Auto
- Flugverkehr: Flug (Economy, Business, First-Class)

Die Auswahl der Verkehrsmittel wird je nach Bedarf und auf Basis laufender Entwicklung mit aktuellen Emissionsfaktoren und Ergänzungen erweitert, zum Beispiel für den Pendelverkehr.

Das Wegener Center bietet aufgrund seines hohen wissenschaftlichen Standards gemeinsam mit der Abteilung HR-Applications eine **hochqualitative Grundlage für die langfristig verlässliche Berechnung der THG-Emissionen** von dienstlichen aber auch privaten Reisen. Dazu zählen unter anderem:

- Aktualisierung der Emissionsberechnungen auf Basis neuester wissenschaftlicher Literatur
- Bei Flugreisen CO<sub>2</sub>-äquivalente Einrechnung auch der klimawirksamen Nicht-CO<sub>2</sub>-Einflüsse
- Bei Flugreisen Berücksichtigung des sog. Uplift Factors (UF) laut aktuellem Forschungsstand
- Bei Zugreisen Berücksichtigung unterschiedlicher Elektrifizierungsgrade der europäischen Länder und Aufteilung in Teilstrecken nach Ländern bei länderübergreifenden Reisen
- Abbildung der tatsächlichen Zugstrecken sowie Auto- und Busstrecken (Rail- & Streetmaps)

Das Service stellt somit **die berechneten THG-Emissionen** (in kgCO<sub>2</sub>eq, Kilogramm CO<sub>2</sub>-Äquivalente) **einer Reise bzw. eines Reiseverlaufs** bereit und kann als Basis für eine breite Palette unterschiedlicher Anwendungen bzw. Anwendungsfälle für einen weiten Nutzer:innenkreis dienen:

- **Forecasting:** Planung von (Dienst)reisen (Vergleich THG-Emissionen bzgl. Verkehrsmitteln)
- **Backcasting:** THG-Emissionen vergangener (Dienst)reisen (Monitoring von THG-Emissionen)
- **Nowcasting:** THG-Live Rechner (z.B. Overlay-App mit emissions-tracking während der Reise)
- **Commuting:** Auswertung/Vergleich von „Pendelwegen“ für klimafreundlicheres Pendeln

#### **Technische Umsetzung und Einbindungsmöglichkeiten durch breite Kreise an Nutzer:innen**

Das beschriebene Service wurde als Web/App-Service implementiert und kann daher sehr einfach in neuen Anwendungen/Apps verwendet werden. Auch die Einbindung in bestehende Anwendungen ist über die bereitgestellte WebAPI möglich. **Als Beispiele sind zwei Screenshots angefügt** (Seite 3).

Nicht nur Entwickler:innen können dieses Service verwenden; auch für Endanwender:innen mit guten IT-Kenntnissen stellt die Einbindung in bestehende Systeme (z.B. Excel) kein großes Problem dar. Die Zugriffe werden mit Hilfe von API-Keys, welche von der Universität Graz vergeben werden, geregelt, was eine breite und flexible und gleichzeitig dennoch sichere Ausrollung ermöglicht. **Für Details zur technischen Spezifikation des Service siehe den Anhang** (Seiten A1 bis A3).

#### **Verlässlicher Langfristbetrieb als CarbonTracer Service seitens der Uni Graz**

Das Service wird von der Universität Graz auf deren Infrastruktur als Basisservice für hoch qualitative und langfristig verlässlich verfügbare THG-Berechnungen wie oben beschrieben bereitgestellt. Über eine vom System bereitgestellte WebAPI können Kund:innen aus Organisationen und Unternehmen sowie auch Einzelpersonen(-Services) mittels API-Key auf das Service zugreifen. Zugriffsberechtigungen, Auswertungsmöglichkeiten und Häufigkeit der Zugriffe können über diese Keys auch einfach und unkompliziert gesteuert werden.

Die von Servicenutzer:innen abgefragten Daten (beispielsweise Startort-Zielort-Teilstrecken) werden anonymisiert auf dem Server der Universität gespeichert, um Datenkonsistenz für Mehrfachabfragen sicherzustellen und die Abfragegeschwindigkeiten für Nutzer:innen zu optimieren. Die Berechnung der Distanzen für vorliegende Teilstrecken für einzelne Verkehrsmittel erfolgt dabei einmalig.

Da sich THG-Emissionsfaktoren und weitere Berechnungselemente aufgrund unterschiedlicher Weiterentwicklungen (z.B. technologische Effizienzverbesserungen) im Lauf der Zeit kontinuierlich ändern, werden diese vom Wegener Center qualitätsgesichert eingespielt und laufend aktualisiert.

#### **Interessiert am CarbonTracer Service? – kontaktieren Sie gerne das Uni Graz CM Team!**

Das innovative CarbonTracer Service kann auch Ihre Organisation, Ihr Unternehmen oder einfach Sie persönlich unterstützen, auch im Bereich Mobilität dem Ziel Klimaneutralität näher zu kommen. Das Carbon Management (CM) Partners-Team der Uni Graz (Kontakt: [CM Team Verbreitungs-Partner](#)) berät und unterstützt Sie gerne nach Bedarf bei der Serviceeinführung, um der „Klima-Fitness“ Ihrer Mobilität auf die Sprünge zu helfen. Der CM Ansatz führt Sie zu [echter Klimaneutralität](#) und damit einem fairen Beitrag zur Erreichung der Pariser Klimaziele.

Bitte geben Sie einen Start- und Zielort an (z.B. Ort, PLZ Ort, Adresse, Ort (Land), etc):

Start 
Ziel 
Verbindungen berechnen

Schienenverkehr	1.250,2 km
Zug (Sitzplatz)	27,1 kg
Zug (Liegewagen)	29,8 kg
Zug (Schlafwagen)	59,7 kg
Straßenverkehr	1.263,7 km
E-Bus	31,6 kg
Bus	77,1 kg
E-Auto (Belegung 1 Pers.)	130,2 kg
Auto (Belegung 1 Pers.)	314,7 kg
▼ alle (E-)Auto Optionen anzeigen...	
Flugverkehr	1.073,0 km
Flug (Economy)	312,2 kg
Flug (Business)	479,6 kg

Abbildung 1: Die App1 Emissions-Vergleich berechnet und zeigt für eine angegebene Einzelstrecke die Distanz (in km) und die CO<sub>2</sub>eq-Emissionen pro Person (in kg) für alle verfügbaren Verkehrsmittel.

Bitte geben Sie Ihre Reiseroute an (je Feld z.B. Ort, PLZ Ort, Ort (Land), etc):

Startort/Zwischenort	Zielort/Zwischenort	Verkehrsmittel	Belegung
<input type="text" value="Graz"/>	<input type="text" value="München"/>	Zug (Sitzplatz) ▼	Standard ▼
<input type="text" value="München"/>	<input type="text" value="New York"/>	Flug (Economy) ▼	Standard ▼
<input type="text" value="New York"/>	<input type="text" value="München"/>	Flug (Economy) ▼	Standard ▼
<input type="text" value="München"/>	<input type="text" value="Graz"/>	E-Auto ▼	2 Personen ▼

Teilstrecke/Strecke hinzufügen
oder
Reiseroute berechnen

Teilstrecke Zug (Sitzplatz)	449,0 km	9,6 kg
8010 Graz, Steiermark (AT) - Munich International Airport (DE)		9,6 kg
	AT	4,4 kg
	DE	5,2 kg
Teilstrecke Flug (Economy)	13.999,0 km	2.659,8 kg
Munich International Airport (DE) - John F. Kennedy International Airport (US)		1.329,9 kg
John F. Kennedy International Airport (US) - Munich International Airport (DE)		1.329,9 kg
Teilstrecke E-Auto	434,5 km	22,4 kg
Munich International Airport (DE) - 8010 Graz, Steiermark (AT)		22,4 kg
(Belegung: 2 Personen)		

Emissionen: **2.691,8 kg CO<sub>2</sub>eq pro Person**

Zug (Sitzplatz)
  Flug (Economy)
  E-Auto

Abbildung 2: Die App2 Emissionen Reiseroute berechnet und zeigt für eine angegebene Route die Distanz und die CO<sub>2</sub>eq-Emissionen pro Person für die gewählten Verkehrsmittel (auch inkl. grafisch auf Karte/hier nicht sichtbar).

## Anhang: Details zur Technischen Spezifikation des [CarbonTracer Service](#)

### 1. Überblick – Emissionsfaktoren (EF) in [g CO<sub>2</sub>eq/pkm]:

Wie viele LCA-basierte<sup>1</sup> Treibhausgasemissionen [g CO<sub>2</sub>-Äquivalente, g CO<sub>2</sub>eq] bezogen auf eine Person und einen Kilometer [pkm] bei der Verwendung eines bestimmten Verkehrsmittels emittiert werden.

**Schieneverkehr, Straßenverkehr (E-)Bus, Flugverkehr:** Bereitgestellt von *mobitool* (Mobitool 2023<sup>2</sup>), Datenbank spezialisiert auf Verkehrsmittel. Werden laufend aktualisiert, jedoch nicht genau jährlich. Für Flüge ergänzt um Kurzstrecken-Multiplikator in Richtung Umweltbundesamt EF-Durchschnittswerte<sup>3</sup>.

**Straßenverkehr (E-)Auto:** Bereitgestellt vom österreichischen Umweltbundesamt und aktuell berechnet auf Basis UBA-Datei 2023<sup>4</sup>.

Tabelle 1: CarbonTracer – berücksichtigte Verkehrsmittel mit Spezifikation und verwendeten Emissionsfaktoren

Verkehrsmittel	Emissionsfaktor (EF) - Spezifikation	Emissionsfaktor für 2023 [g CO <sub>2</sub> eq/pkm]
Schieneverkehr – Zug (Sitzplatz, Liegewagen, Schlafwagen)	Liechtenstein, Norwegen, <b>Österreich</b> , Schweden	15
	<b>Frankreich</b>	13
	Belgien, Dänemark, <b>Deutschland</b> , Luxemburg, Niederlande	33
	<b>Schweiz</b>	5
	Albanien, Belarus, Bosnien-Herzegowina, Bulgarien, Estland, Finnland, Griechenland, <b>Italien</b> , Kosovo, Kroatien, Lettland, Litauen, Mazedonien, Moldawien, Montenegro, Polen, Portugal, Rumänien, San Marino, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechien, Ukraine, Ungarn	60
	Restliche Länder	60
	<b>Multiplikator</b> Liegewagen	1.1
	<b>Multiplikator</b> Schlafwagen	2.2
Straßenverkehr (E-Bus, Bus)	Bus Elektrisch	30
	Bus Fossil	47
Straßenverkehr (E-Auto, Auto)	Auto Elektrisch – Belegung 1   2   3   4   >4 Personen	103   52   34   26   21
	Auto Fossil – Belegung 1   2   3   4   >4 Personen	249   125   83   62   50
Flugverkehr – Flug (Economy, Business, First-Class)	Innerhalb Europa (< 3600 km) – Economy	292
	Innerhalb Europa (< 3600 km) – Business	449
	<b>Multiplikator</b> Kurzstrecke (< 500 km)	2.0
	<b>Multiplikator</b> Kurzstrecke (500-1000 km)	1.0 + (1000 – Distanz[km])/500
	Außerhalb Europa (≥ 3600 km) – Economy	190
	Außerhalb Europa (≥ 3600 km) – Business	391
	Außerhalb Europa (≥ 3600 km) – First-Class	603

### 2. Details Schienenverkehr – Zug (Sitzplatz, Liegewagen, Schlafwagen):

#### Länderunterscheidung:

Aufgrund unterschiedlicher Elektrifizierungsgrade der europäischen Eisenbahnnetze sowie unterschiedlicher Energiezusammensetzungen verursachen Zugreisen in verschiedenen Ländern unterschiedlich hohe THG-Emissionen pro Person und Kilometer.

*mobitool* (Mobitool 2023<sup>2</sup>; Firschknecht et al. 2016<sup>5</sup>) unterscheidet zwischen Österreich, der Schweiz, Deutschland, Frankreich und Italien und berücksichtigt jeweils die durchschnittliche Auslastung, die Art der Energieversorgung sowie den spezifischen Bahnstrommix bzw. länderspezifischen Strommix.

<sup>1</sup> Life Cycle Assessment (LCA): THG-Auswirkungen über den gesamten Lebensweg der Verkehrsmittel werden inkludiert (z.B. direkter Betrieb, Energiebereitstellung, Fahrzeugunterhalt, -herstellung und -entsorgung).

<sup>2</sup> Mobitool (2023): mobitool-Faktoren v3.0. Excel-Datei. [Online](#) aufrufbar.

<sup>3</sup> Das österr. Umweltbundesamt listet (hier [online](#)) abweichend von Mobitool höhere Flugverkehr-EF-Werte, insbes. für kurze Distanzen.

<sup>4</sup> UBA-Datei (2023): Emissionsfaktoren des Umweltbundesamts für Verkehrsmittel. pdf Datei. [Online](#) aufrufbar.

<sup>5</sup> Firschknecht et al. (2016): mobitool Grundlagenbericht Hintergrund, Methodik & Emissionsfaktoren. doi:[10.13140/RG.2.2.24306.09921](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24306.09921).

Aufgrund ähnlicher Strommixe wurde anderen europäischen Ländern einer der fünf Emissionsfaktoren (für Österreich, Schweiz, Deutschland, Frankreich oder Italien) in bestmöglicher Entsprechung zugeteilt.

Mit der Annahme, dass die Stromversorgung einer Bahnlinie an einer Ländergrenze vom neuen Land bereitgestellt wird und dem Strommix dieses Landes entspricht, stellt das CarbonTracer Service mit Hilfe der tatsächlichen Fahrtroute sicher, dass der Emissionsfaktor dem jeweiligen Land der (Durch)Reise bei der Auswahl einer Reise mit dem Zug entspricht.

#### **Zugklasse:**

Multiplikator Liegewagen = 1.1

Multiplikator Schlafwagen = 2.2

Unterscheidung bei Zugreisen zwischen Großraumwagen („Sitzplatz“), Schlafwagen und Liegewagen.

Aufgrund des leicht höheren durchschnittlichen Platzbedarfs pro Person in einem Liegewagen und einem mehr als doppelt so hohen Platzbedarf pro Person in einem Schlafwagen, verursachen diese Zugklassen pro Person höhere THG-Emissionen. Diese spiegeln sich durch einen Multiplikator wider.

### **3. Details Flugverkehr – Flug (Economy, Business, First-Class):**

#### **Distanzunterscheidung:**

Unterscheidung zwischen Kurzstrecken- und Mittelstreckenflügen innerhalb Europas (< 3.600 km) und Langstreckenflügen außerhalb Europas ( $\geq 3.600$  km), wobei von Kurzstreckendistanzen (< 500 km) zu Mittelstrecken ( $\geq 1000$  km bis < 3.600 km) ein sinnvoller Übergangsbereich (500-1000 km) vorliegt.

Aufgrund des höheren Energiebedarfs in der Start- und Landephase und im Schnitt geringerer Belegung eines Fluges verursachen kürzere Flugstrecken pro Kilometer höhere THG-Emissionen pro Person, was sich in den Emissionsfaktoren zwischen Kurz- und Mittelstrecken (Multiplikator Kurzstrecken = 2) sowie Mittel- und Langstrecken widerspiegelt.

#### **Flugklasse:**

Unterscheidung zwischen Economy- und Business-Flügen bei Kurz- und Mittelstrecken sowie Economy-, Business- und First-Class-Flügen bei Langstrecken.

Aufgrund des höheren Platzbedarfs pro Person in einer höheren Flugklasse verursachen höhere Flugklassen pro Person höhere THG-Emissionen. Diese spiegeln sich in den Emissionsfaktoren wider.

#### **Radiative Forcing Index (RFI):**

RFI = 2.0

Drückt erhöhte Klimawirkung von Flugemissionen (CO<sub>2</sub>- und Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen) in Flughöhe aus.

Zum quantitativen Wert des RFI wird laufend geforscht. Die Kenntnisse zum Strahlungsantriebs-Effekt von Flugemissionen legen lt. aktuellem Forschungsstand einen RFI von 2 nahe (vgl. Jungbluth and Meili 2019<sup>6</sup>, Fuglestvedt et al. 2010<sup>7</sup>, Lee et al. 2010<sup>8</sup>), weshalb aktuell dieser Wert verwendet wird.

Der RFI ist in den aktuellen Flug-EF von *mobitool* (Mobitool 2023<sup>2</sup>) enthalten.

Der Forschungsstand wird vom wissenschaftlichen Team des Wegener Center regelmäßig überprüft und der RFI gegebenenfalls angepasst.

---

<sup>6</sup> Jungbluth, N., and Meili C. (2019): Recommendations for calculation of the global warming potential of aviation including the radiative forcing index. *International Journal of Life Cycle Assessment* 24, 404-411. doi:[10.1007/s11367-018-1556-3](https://doi.org/10.1007/s11367-018-1556-3).

<sup>7</sup> Fuglestvedt J. S., Shine K. P., Berntsen T., Cook J., Lee D. S., Stenke A., Skeie R. B., Velders G. J. M., and Waitz I. A. (2010) Transport impacts on atmosphere and climate: Metrics. *Atmos. Env.* 44, 4648-4677. doi:[10.1016/j.atmosenv.2009.04.044](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.04.044).

<sup>8</sup> Lee D. S., Pitari G., Grewe V., Gierens K., Penner J. E., Petzold A., Prather M. J., Schumann U., Bais A., Berntsen T., Iachetti D., Lim L. L., and Sausen R. (2010) Transport impacts on atmosphere and climate: Aviation. *Atmos. Env.* 44, 4678-4734. doi:[10.1016/j.atmosenv.2009.06.005](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.06.005).

### **Uplift Factor (UF):**

UF = 1.08

Faktor, um welchen die Großkreisdistanz erweitert wird, um die reale Flugdistanz abzubilden. UF berücksichtigt: Start- und Landephassen, indirekte Flugrouten, Verspätungen und Warteraum in der Luft.

Wird auf die Großkreisdistanz von Flughafen A nach Flughafen B angewandt und beträgt laut aktuellem Stand UF = 1.08 (vgl. Department of Business Energy & Industrial Strategy, 2017<sup>9</sup>).

Forschungsstand wird vom wissenschaftlichen Team des Wegener Center regelmäßig überprüft und der UF gegebenenfalls angepasst.

## **4. Technische Kurzinfos zum Webservice:**

### **Routing-Service:**

- Schienenverkehr (Eigenentwicklung, basierend auf OpenStreetMap) – Europa
- Straßenverkehr (openroute service, self-hosted) – Europa
- Flugverkehr (great-circle distance) – Weltweit

### **Location-Service:**

- DB-based – „Geonames“
- Pelias (self-hosted)

### **Service-Typen & Datenformate:**

- REST-Service (API.Key) – JSON Datenformat
- Plaintext-API/Excel Service – Plain-Text Datenformat
- Manual-Use Webservice – Web-Apps Emissions-Vergleich und Emissionen Reiseroute

### **Features:**

- Berechnung
  - Distanzen (Wegstrecken) und Routen (auch mit Zwischenorten)
  - CO<sub>2</sub>eq-Emissionen (in kg) für Distanzen und Routen (in km)
- Caching von Abfragen (Vergleichbarkeit)
- Flexible Konfigurations-Files

### **Mehr Details und Einstieg zum Webservice:**

<https://carbontracer.uni-graz.at>

<sup>9</sup> Department of Business Energy & Industrial Strategy (2017): [2017 Government GHG Conversion Factors for Company Reporting. Methodology Paper for Emission Factors](#), page 78.