

CO₂-Berechnung Geschäftsreise

VDR-Standard

Teil II: Anwendung und Beispielrechnungen

Version 1.2 März 2016



VERBAND DEUTSCHES REISEMANAGEMENT e.V.



Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1. Einleitung | 4 |
| 2. Anwendungsbeispiel für den Bereich Flug | 5 |
| 2.1 Daten | 5 |
| 2.1.1 Reiseinformationen | 5 |
| 2.1.2 Tabelle <i>City Pairs</i> | 5 |
| 2.1.3 Tabelle <i>Aircraft</i> | 5 |
| 2.1.4 Tabelle <i>Fuel Consumption</i> | 6 |
| 2.1.5 Tabelle <i>Passenger Load Factor</i> | 6 |
| 2.1.6 Tabelle <i>Seat Class Factor</i> | 7 |
| 2.1.7 Berechnungsformel | 7 |
| 2.2 Berechnung | 8 |
| 2.2.1 Allgemeines | 8 |
| 2.2.2 Distanzbestimmung | 8 |
| 2.2.3 Berechnung des absoluten Treibstoffverbrauchs | 8 |
| 2.2.4 Berechnung des spezifischen CO ₂ des Passagiers | 9 |
| 2.2.5 Ausweisung der Non-CO ₂ Emissionen | 10 |
| 2.2.6 Ergebnis | 10 |
| 3. Anwendungsbeispiel für den Bereich Bahn | 11 |
| 3.1 Daten | 11 |
| 3.1.1 Tabelle <i>GCD Correction</i> | 11 |
| 3.1.2 Tabelle <i>CO₂ per pkm</i> | 11 |
| 3.1.3 Tabelle <i>Seat Class</i> | 11 |
| 3.1.4 Berechnungsformel | 11 |
| 3.2 Berechnung ohne grenzüberschreitenden Verkehr | 12 |
| 3.2.1 Allgemeines | 12 |
| 3.2.2 Distanzbestimmung | 12 |
| 3.2.3 Bestimmung Zugtyp und Sitzklasse | 12 |
| 3.2.4 Bestimmung des spezifischen CO ₂ je Passagier | 13 |
| 3.3 Berechnung mit grenzüberschreitendem Verkehr | 13 |
| 3.3.1 Allgemeines | 13 |
| 3.3.2 Distanzbestimmung | 13 |
| 3.3.3 Bestimmung Zugtyp und Sitzklasse | 14 |
| 3.3.4 Bestimmung des spezifischen CO ₂ je Passagier | 14 |
| 3.3.5 Ergebnisse | 14 |
| 4. Anwendungsbeispiel für den Bereich Hotel | 15 |
| 4.1 Daten | 15 |
| 4.1.1 Allgemeines | 15 |
| 4.1.2 Verwendung der Tabelle <i>CO₂ per Night</i> | 15 |
| 4.1.3 Verwendung der Daten des Hotels | 15 |
| 4.1.4 Tabelle <i>Room Category Factors</i> | 17 |
| 4.1.5 Berechnungsformel | 17 |
| 4.2 Berechnung | 18 |
| 4.2.1 Beispielberechnung | 18 |
| 4.2.2 Ergebnis | 18 |
| 5. Anwendungsbeispiel für den Bereich Auto | 19 |
| 5.1 Daten | 19 |
| 5.1.1 Tabelle <i>g CO₂ per km per ACRISS</i> | 19 |
| 5.1.2 Berechnungsformel | 19 |
| 5.2 Berechnung | 19 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 5.2.1 | Allgemeines | 19 |
| 5.2.2 | Distanzbestimmung | 20 |
| 5.2.3 | Bestimmung des spezifischen CO ₂ | 20 |
| 5.2.4 | Ergebnis..... | 20 |
| 6. | Anwendungsbeispiel für den Bereich MICE | 21 |
| 6.1 | Daten | 21 |
| 6.1.1 | Allgemeines | 21 |
| 6.1.2 | Zu erhebende Daten vom Veranstaltungsort | 21 |
| 6.2 | Beispielrechnung | 21 |
| 6.2.1 | Beispielberechnung | 21 |
| 6.2.2 | Bestimmung der absoluten CO ₂ – Emissionen des Veranstaltungsortes | 22 |
| 6.2.3 | Ergebnis..... | 22 |
| 7. | Anwendungsbeispiel für den Bereich ÖPNV | 23 |
| 7.1 | Berechnungsformel | 23 |
| 7.2 | Berechnung | 23 |
| 7.2.1 | Allgemeines | 23 |
| 7.2.2 | Bestimmung des spezifischen CO ₂ | 23 |
| 7.2.3 | Ergebnis..... | 24 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Entfernungen für das City Pair LHR - FRA..... | 5 |
| Tabelle 2: Auszug aus dem Datenpaket für den Arbus A310..... | 6 |
| Tabelle 3: Auszug aus der Corinair - Tabelle für den Airbus A310..... | 6 |
| Tabelle 4: Auszug aus der Passenger Load Factor Tabelle des Datenpakets | 6 |
| Tabelle 5: Variablen für die CO ₂ - Bilanzierung Flug..... | 7 |
| Tabelle 6: Umwegfaktor für den Zugtyp Highspeed Train | 11 |
| Tabelle 7: CO ₂ je Passagierkilometer je Land, je Zugtyp. Quelle: atmosfair | 11 |
| Tabelle 8: Variablen für die Berechnung Bahn nach VDR Standard | 12 |
| Tabelle 9: CO ₂ [kg] je Übernachtung in UK, je Sternekategorie | 15 |
| Tabelle 10: Verbrauchswerte und Kennziffern eines Hotels in den USA..... | 16 |
| Tabelle 11: Variablen für die CO ₂ - Bilanzierung Hotel | 18 |
| Tabelle 12: Beispiele für CO ₂ je ACRISS Code für verschiedene Mietwagen | 19 |
| Tabelle 13: Variablen für dieCO ₂ -Bilanzierung Mietwagen nach VDR-Standard | 19 |
| Tabelle 14: Verbrauchsdaten des Veranstaltungsortes..... | 22 |
| Tabelle 15: Variablen für dieCO ₂ -Bilanzierung ÖPNV nach VDR-Standard | 23 |

1. Einleitung

Im Folgenden soll die CO₂-Bilanzierungsmethodik des VRD-Standard (Teil I) anhand von Beispielrechnungen erläutert werden. Für die Reiseaktivitäten Flug, Bahn, Hotel, Auto und MICE wird je ein Rechenbeispiel detailliert ausgeführt. Dem Nutzer liegen dabei die jeweiligen individuellen Buchungsinformationen sowie das Datenpaket (Teil III) vor.

2. Anwendungsbeispiel für den Bereich Flug

Abschnitt 2.1.1 beschreibt eine fiktive Flugreise inklusive der für die CO₂-Bilanzierung benötigten Daten. Die Berechnung der entsprechenden CO₂-Emissionen erfolgt in Abschnitt 2.2.

2.1 Daten

2.1.1 Reiseinformationen

Im Folgenden wird ein fiktiver Geschäftsflug betrachtet (1 Person, Oneway). Folgende Buchungsinformationen muss der Nutzer in die Berechnung einbringen:

- **City Pair**
z.B. Frankfurt (FRA) - London Heathrow (LHR)
- **Flugzeugfamilie**
z.B. Airbus A310
- **Sitzklasse**
z.B. Economy Class

2.1.2 Tabelle *City Pairs*

Die im Datenpaket (Teil III) enthaltene Tabelle *City Pairs* liefert alle zur CO₂-Berechnung notwendigen Daten, die sich allein auf das geflogene City Pair beziehen. Dazu gehören:

- Distanz (VDR Standard F1)
- Umwege (VDR Standard F3)
- Non-CO₂-Faktor f_{alt} , der Anteil der Flugstrecke in einer Höhe oberhalb 9.000 m (VDR Standard F13)

| Departure | | Arrival | | Great Circle Distance [km] | GCD Correction [km] | City Pair Distance [km] | f_{alt} |
|-----------|-----|---------|-----|----------------------------|---------------------|-------------------------|-----------|
| LHR | EU1 | FRA | EU1 | 655 | 100 | 755 | 0,821 |

Tabelle 1: Entfernungen für das City Pair LHR - FRA

Zusätzlich ist die Region, in der der jeweilige Flughafen liegt, angegeben. Dies benötigt der Anwender für die Bestimmung der Passagierauslastung.

2.1.3 Tabelle *Aircraft*

Die Tabelle *Aircraft* enthält die notwendigen flugzeugtypbezogenen Daten:

- Anzahl der Sitze (VDR Standard F9)
- Rumpftyp
- Beiladefrachtfaktor f_f (VDR Standard F11)
- Wingletfaktor f_w (VDR Standard F6)

| Einflussfaktor | Wert |
|---------------------|--------------------------|
| Flugzeugtyp | Airbus A310 ¹ |
| Bestuhlung | 220 |
| Rumpftyp | Widebody Aircraft |
| Frachtfaktor f_f | 0,95 |
| Wingletfaktor f_w | 0 |

Tabelle 2: Auszug aus dem Datenpaket für den Arbus A310

2.1.4 Tabelle *Fuel Consumption*

Die Tabelle *Fuel Consumption* enthält den absoluten Treibstoffverbrauch in Abhängigkeit von Flugzeugtyp und Standarddistanz, also die Standardflugprofile (VDR Standard F2).

Folgend ein Auszug aus den EMEP/Corinair Daten für den Airbus A310:

| Airbus A310 | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Distanz (nm) | 125 | 250 | 500 | 750 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 | 3500 |
| Distanz (km) | 232 | 463 | 926 | 1389 | 1852 | 2778 | 3704 | 4630 | 5556 | 6482 |
| Fuel (kg) | | | | | | | | | | |
| Flight total | 2810,6 | 3899,5 | 5990,4 | 8081,3 | 10172,2 | 14532,6 | 18981,6 | 23699,4 | 28675,3 | 33763,8 |
| LTO | 1540,5 | 1540,5 | 1540,5 | 1540,5 | 1540,5 | 1540,5 | 1540,5 | 1540,5 | 1540,5 | 1540,5 |
| Taxi out | 294,3 | 294,3 | 294,3 | 294,3 | 294,3 | 294,3 | 294,3 | 294,3 | 294,3 | 294,3 |
| Take off | 182,2 | 182,2 | 182,2 | 182,2 | 182,2 | 182,2 | 182,2 | 182,2 | 182,2 | 182,2 |
| Climb out | 472,5 | 472,5 | 472,5 | 472,5 | 472,5 | 472,5 | 472,5 | 472,5 | 472,5 | 472,5 |
| Climb/cruise/descent | 1270,0 | 2358,9 | 4449,8 | 6540,7 | 8631,6 | 12992,0 | 17441,1 | 22158,8 | 27134,7 | 32223,3 |
| Approach landing | 297,3 | 297,3 | 297,3 | 297,3 | 297,3 | 297,3 | 297,3 | 297,3 | 297,3 | 297,3 |
| Taxi in | 294,3 | 294,3 | 294,3 | 294,3 | 294,3 | 294,3 | 294,3 | 294,3 | 294,3 | 294,3 |

Tabelle 3: Auszug aus der Corinair - Tabelle für den Airbus A310

2.1.5 Tabelle *Passenger Load Factor*

In der Tabelle *Passenger Load Factor* findet sich der durchschnittliche Auslastungsfaktor nach Rumpftyp und Flugregion (VDR Standard F12).

| Route Groups* | f_l – Narrowbody Jets | f_l – WideBody Jets | f_l – Default |
|---------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|
| EU1 - NA1 | 63,78% | 87,85% | 80,70% |

Tabelle 4: Auszug aus der Passenger Load Factor Tabelle des Datenpakets

¹ Der Airbus A310 bezeichnet die Flugzeugfamilie, zu der der A310-200 sowie der A310-300 gehören. Gelegentlich ist in den Flugplandaten die (ungenauere) Flugzeugfamilie anstatt des Flugzeugtyps angegeben.

2.1.6 Tabelle *Seat Class Factor*

Die Tabelle *Seat Class Factor* liefert den der gewählten Sitzklasse entsprechenden Sitzklassenfaktor. Unterschieden wird im Rahmen des VDR Standards nach:

- Economy Class
- Premium Economy Class
- Business Class
- First Class

2.1.7 Berechnungsformel

In VDR Standard Teil I, Kapitel 2 "Flug" sind die Berechnungsformeln für den Bereich Flug angegeben:

$$CO2_{sp} = \left(\left(\frac{F_D}{S * f_l} \right) * f_w * f_c * f_f \right) * 3,16$$

$$nCO2 = CO2_{sp} * f_{alt} * f_{nCO2}$$

| Variable | Beschreibung | Einheiten |
|-------------------------------|---|-----------|
| D _G | Großkreisdistanz eines City Pairs | km |
| D _R | Pauschaler Zuschlag für Umwege, gestaffelt nach Großkreisdistanz | km |
| D | Flugdistanz eines City Pairs (Großkreisdistanz + Umweg) | km |
| f _w | Faktor für Abschlag des absoluten Treibstoffverbrauchs durch Winglets | - |
| F _s | Absoluter Treibstoffverbrauch des nächstkürzeren Standardflugs unterhalb der Flugdistanz | kg |
| F _l | Absoluter Treibstoffverbrauch des nächstlängeren Standardflugs oberhalb der Flugdistanz | kg |
| F _D | Absoluter Treibstoffverbrauch des betrachteten Fluges | kg |
| D _s | Standarddistanz unterhalb der Flugdistanz | km |
| D _l | Standarddistanz oberhalb der Flugdistanz | km |
| S | Sitzplatzkapazität des Flugzeugs | Anzahl |
| f _l | Auslastungsfaktor des Fluges | - |
| f _f | Faktor für den Abschlag des Treibstoffverbrauchs je Passagier durch Beiladefracht | - |
| f _c | Faktor für die Sitzklasse (Economy, Business, First Class) | - |
| f _{nco2} | Faktor für die Klimawirksamkeit von non-CO ₂ | - |
| CO ₂ _{sp} | CO ₂ – Emissionen je Passagier | kg |
| f _{alt} | Anteil der Flugdistanz in Flughöhen über 9.000 m in Relation zur gesamten Flugstrecke zur Berücksichtigung der Klimawirksamkeit des non-CO ₂ | - |
| nCO ₂ | Non-CO ₂ -Emissionen je Passagier | kg |

Tabelle 5: Variablen für die CO₂ - Bilanzierung Flug

2.2 Berechnung

2.2.1 Allgemeines

Folgend wird die CO₂ - Bilanzierung eines Geschäftsreisefluges mit folgenden Parametern beschrieben:

- Frankfurt (FRA) - London Heathrow (LHR)
- 1 Passagier, Oneway
- Economy Class
- Airbus A310

Diese Schritte muss der Nutzer nun auf Basis des VDR–Standards ausführen:

2.2.2 Distanzbestimmung

Die City Pair Distanz wird folgendermaßen berechnet:

$$D = D_G + D_R$$

Folgende Schritte sind zur Distanzbestimmung vom Anwender durchzuführen:

1. Der Anwender sucht die die 3-Letter Codes von Start- und Zielflughafen heraus. Diese sind entweder auf dem Flugticket oder den Buchungsunterlagen enthalten. Der Flughafen Frankfurt wird durch den Code **FRA**, London Heathrow durch den Code **LHR** beschrieben.
2. Im Datenpaket (Teil III) sucht der Anwender in der Tabelle „**City Pairs**“ das City Pair **FRA – LHR** heraus. Die Großkreisdistanz D_G lässt sich aus der entsprechenden Spalte ablesen und beträgt **655 km**. Anwender ohne Datenpaket können die Großkreisdistanz mittels frei verfügbarer Onlinerechner bestimmen.
3. Der zutreffende Umweg D_R beträgt hier **100 km**. Die Flugdistanz (also Großkreis + Umwege) weist also eine Länge von **755 km** auf.

$$D = D_G + D_R$$

$$D = 655 \text{ km} + 100 \text{ km}$$

$$D = 755 \text{ km}$$

2.2.3 Berechnung des absoluten Treibstoffverbrauchs

Folgende Schritte sind notwendig:

1. Der Anwender bestimmt aus den Buchungsunterlagen den eingesetzten Flugzeugtyp, hier der **A310**. Nicht in allen Fällen lässt sich der Flugzeugtyp den Buchungsunterlagen direkt entnehmen. Alternativ kann der Anwender den Flugzeugtypen auch über die **Flugnummer** und das **Flugdatum** ermitteln. Jede Fluggesellschaft bietet Fluggästen die Möglichkeit, z.B. den Flugstatus abzufragen. Mittels Eingabe der Flugnummer und des Flugdatums wird bei vielen Fluggesellschaften u.a. auch der eingesetzte Flugzeugtyp angezeigt. Anwender, die

diesen Weg wählen, müssen beachten, dass sie die Flugstatusabfrage zeitnah durchführen müssen (i.d.R. innerhalb weniger Tage vor oder nach dem Flug).

Ist der Flugzeugtyp bestimmt, sucht der Anwender die absoluten Treibstoffverbräuche des nächstkürzeren und nächstlängerer Standardfluges aus der Tabelle „**Fuel consumption**“ heraus (vgl. Tabelle 3):

- Nächstkürzerer Standardflug F_S mit A310: D_S **463 km** mit **3899,5 kg** Kerosin
- Nächstlängerer Standardflug F_L mit A310: D_L **926 km** mit **5990,4 kg** Kerosin
- Distanz D des zu betrachteten Fluges: **755 km**

Der Verbrauch durch Rollen am Boden ist hier bereits enthalten.

2. Die Werte werden vom Anwender in die Formel eingesetzt:

$$F_D = \frac{(F_L - F_S) * (D - D_S)}{(D_L - D_S)} + F_S$$

$$F_D = \frac{(5990,4 \text{ kg}_L - 3899,5 \text{ kg}) * (755 \text{ km} - 463 \text{ km})}{(926 \text{ km} - 463 \text{ km})} + 3899,5 \text{ kg}$$

Das Ergebnis beträgt:

$$F_D = 5218,2 \text{ kg}$$

2.2.4 Berechnung des spezifischen CO₂ des Passagiers

Die Formel für die Berechnung lautet wie folgt:

$$CO2_{sp} = \left(\left(\frac{F_D}{S * f_l} \right) * f_w * f_c * f_f \right) * 3,16$$

1. Das eingesetzte Flugzeug war ein Airbus **A310**. Dessen absoluter Treibstoffverbrauch F_D wurde bereits im Abschnitt 2.2.3 vom Anwender berechnet.
2. In der Tabelle „**Aircraft**“ aus dem Datenpaket sucht der Anwender die Bestuhlung S heraus, sie beträgt hier **220 Sitze**. Der Airbus **A310** ist ein **Widebody Jet**.
3. London Heathrow **LHR** und Frankfurt **FRA** liegen beide in der Region **EU1**, somit setzt der Anwender eine Auslastung f_l Widebody Aircrafts in der Region **EU1** zu **EU1** von **69,7 %** an.
4. Als **Widebody Jet** beträgt der Anteil an Fracht, die herausgerechnet werden muss, 5 %, d.h. f_f beträgt **0,95**.
5. Winglequote f_w beträgt **1**, da der **A310** keine optional nachrüstbaren Winglets aufweist.
6. Sitzklasse ist **Economy Class**, f_c daher **0,8**.

7. Nun kann vom Anwender die oben genannte Formel verwendet werden:

$$CO2_{sp} = \left(\left(\frac{5218,2 \text{ kg}}{220 * 0,697} \right) * 1 * 0,8 * 0,95 \right) * 3,16$$

$$CO2_{sp} = 81,7 \text{ kg}$$

2.2.5 Ausweisung der Non-CO₂ Emissionen

Im ersten Schritt wird vom Anwender der Anteil der City Pair Distanz mit Flughöhen über 9.000m im Verhältnis zur gesamten City Pair Distanz bestimmt. Dieser Wert steht in Tabelle 1 und beträgt 0,821. Diese 0,821 wurden von atmosfair folgendermaßen linear interpoliert:

1. City Pair Distanz: **755 km**
2. Für die lineare Interpolation:
 - Bei einer Standarddistanz von **750 km** beträgt f_{alt} **82 % (0,82)**
 - Bei einer Standarddistanz von **1.000 km** beträgt f_{alt} **86,5 % (0,865)**

Als Ergebnis der entsprechenden linearen Interpolation beträgt bei einer City Pair Distanz von **755 km** f_{alt} somit **82,1 % (0,821)**, d.h. 82,1 % der Distanz (~ 620 km) werden in Flughöhen von mehr als 9.000 m zurückgelegt.

3. Nun kann der Anwender die Höhe der Non-CO₂- Emissionen berechnen:

$$f_{nCO2} = 2$$

Die Klimawirkung des nonCO₂ beträgt:

$$nCO2 = CO2_{sp} * f_{alt} * f_{nCO2}$$

$$nCO2 = 81,7 \text{ kg CO}_2 * 0,821 * 2$$

$$nCO2 = 134,2 \text{ kg CO}_2$$

2.2.6 Ergebnis

Das Ergebnis nach VDR-Standard umfasst also die beiden folgenden Werte:

Flug von LHR nach FRA, einfach, ein Passagier, Economy, mit A310.

| | |
|--|----------|
| Reines CO ₂ : | 81,7 kg |
| Klimawirkung CO ₂ (reines CO ₂ + non-CO ₂) | 215,9 kg |

3. Anwendungsbeispiel für den Bereich Bahn

3.1 Daten

3.1.1 Tabelle *GCD Correction*

Die Tabelle enthält die Umwegfaktoren, die vom Anwender zu der Großkreisdistanz zwischen den Städten hinzugerechnet wird. Die Faktoren sind zugtypspezifisch:

| Zugtyp | GCD Correction Factor |
|-----------------|-----------------------|
| Highspeed Train | 1,35 |

Tabelle 6: Umwegfaktor für den Zugtyp Highspeed Train

Entfernungsrechner für Großkreisdistancen zwischen Städten weltweit findet der Nutzer im Internet.

3.1.2 Tabelle *CO₂ per pkm*

Die folgende Tabelle listet die CO₂ je Passagierkilometer für das Beispielland China, unterschieden nach Zugtyp, auf. Die Werte entsprechen **kg CO₂ je Pkm**. Der Ländercode ist in der **ISO 3166, Alpha 3** Schreibweise gehalten.

| Land | Zugtyp | CO ₂ je PKM [kg] |
|------|-----------------------|-----------------------------|
| CHN | LT (Local Train) | 0,052 |
| CHN | RT (Regional Train) | 0,038 |
| CHN | HS (High Speed Train) | 0,038 |

Tabelle 7: CO₂ je Passagierkilometer je Land, je Zugtyp. Quelle: atmosfair

3.1.3 Tabelle *Seat Class*

Diese Tabelle im Datenpaket (VDR Standard Teil III) enthält die Sitzplatz – Faktoren für folgende Klassen:

- 1. Klasse
- 2. Klasse

3.1.4 Berechnungsformel

In VDR Standard Teil I, Kapitel 3 "Bahn" ist die Berechnungsformel für den Bereich Bahn angegeben:

$$CO2_{sp} = (D * f_U) * f_c * CO2_p$$

| Variable | Beschreibung | Einheiten |
|------------|---|--------------------------|
| $CO2_{sp}$ | spezifische CO ₂ -Emissionen für eine Bahnfahrt | kg |
| D | Entfernung zwischen den Bahnhöfen per Großkreisdistanz | km |
| f_U | Umwegfaktor | - |
| f_C | Faktor für die Sitzklasse | - |
| $CO2_P$ | Landes- und zugtypspezifischer CO ₂ – Emissionsfaktor; beinhaltet Zugtyp, Energieträger und Auslastung | kg CO ₂ / Pkm |

Tabelle 8: Variablen für die Berechnung Bahn nach VDR Standard

3.2 Berechnung ohne grenzüberschreitenden Verkehr

3.2.1 Allgemeines

Folgend wird die CO₂-Bilanzierung einer Bahnfahrt von mit folgenden Parametern beschrieben:

- Hongkong nach Peking
- 1 Passagier
- 2. Klasse
- Hochgeschwindigkeitszug

Diese Schritte muss der Anwender auf Basis des VDR – Standards durchführen:

3.2.2 Distanzbestimmung

1. Zuerst wird vom Nutzer die Großkreisdistanz zwischen den beiden Städten bestimmt. Hierfür kann er im Internet frei verfügbare Tools verwenden:

Die Großkreisdistanz D zwischen Hongkong und Peking beträgt **1.976 km**.

2. Wegen des Zugtyps kommt ein Umwegfaktor f_U von **1,35** zum Einsatz. Da beide Städte **innerhalb Chinas** liegen, muss grenzüberschreitender Verkehr vom Anwender nicht berücksichtigt werden.

3.2.3 Bestimmung Zugtyp und Sitzklasse

Der Zugtyp ist **HS**, die Sitzklasse die **2**. Beide Informationen kann der Anwender dem Zugticket bzw. den Buchungsunterlagen entnehmen. Der 2. Klasse ordnet der VDR Standard einen Sitzklassenfaktor f_C von **0,9** zu. Dieser Wert ist im Datenpaket (VDR Standard Teil III) enthalten.

3.2.4 Bestimmung des spezifischen CO₂ je Passagier

1. Da die Bahnfahrt mit einem Hochgeschwindigkeitszug (**HS**) in **China** durchgeführt wurde, wird in der Tabelle 7 der entsprechende CO₂-Emissionsfaktor (kg CO₂ je Passagierkilometer) vom Anwender herausgesucht. Der Faktor beträgt hier **0,038 kg CO₂ / PKM**.
2. Die Werte kann der Nutzer nun in die Formel aus 3.1.4 einsetzen:

$$CO_{2sp} = (D * f_U) * f_c * CO_{2p}$$
$$CO_{2sp} = (1,976 \text{ km} * 1,35) * 0,9 * 0,038 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{km}}$$
$$CO_{2sp} = 91,2 \text{ kg CO}_2$$

3.3 Berechnung mit grenzüberschreitendem Verkehr

3.3.1 Allgemeines

Folgend wird die CO₂ - Bilanzierung einer Bahnfahrt mit folgenden Parametern beschrieben:

- Toronto (Kanada) nach Chicago (USA)
- 1 Passagier
- 1. Klasse
- Hochgeschwindigkeitszug

Folgende Schritte sind auf Basis des VDR – Standards seitens des Anwenders nötig:

3.3.2 Distanzbestimmung

1. Zuerst wird vom Nutzer die Großkreisdistanz zwischen den beiden Städten bestimmt. Hierfür kann er im Internet frei verfügbare Tools verwenden:

Die Großkreisdistanz *D* zwischen Toronto und Chicago beträgt **705 km**.

2. Beim verwendeten **Zugtyp (HS)** kommt ein Umwegfaktor *f_U* von **1,35** zum Einsatz.
3. Grenzüberschreitender Verkehr: Sollte dem Anwender die genaue Verteilung der Schienenkilometer bekannt sein, kann er diese zur Anwendung bringen. Bei Nichtkenntnis erlaubt der VDR Standard dem Anwender zur Vereinfachung die hälftige Aufteilung.
Somit kann der Anwender **352,5 km** innerhalb der **USA** sowie **352,5 km** innerhalb **Kanadas** ansetzen.

3.3.3 Bestimmung Zugtyp und Sitzklasse

Der Zugtyp ist **HS** (Highspeed Train), die Sitzklasse die **1**. Beide Informationen sind dem Zugticket bzw. den Buchungsunterlagen entnehmbar. Der 2. Klasse ordnet der VDR Standard einen Sitzklassenfaktor f_c von **1,4** zu. Dieser Wert ist im Datenpaket (VDR Standard Teil III) enthalten.

3.3.4 Bestimmung des spezifischen CO₂ je Passagier

1. Da die Bahnfahrt mit einem Hochgeschwindigkeitszug (**HS**) von **Kanada** in die **USA** durchgeführt wurde, muss der Anwender im Datenpaket (VDR Standard Teil III) die beiden entsprechenden CO₂-Emissionsfaktoren (kg CO₂ je Passagierkilometer) herausuchen. Er beträgt hier

- Für die USA: **0,038 kg CO₂ / PKM**
- Für Kanada: **0,06 kg CO₂ / PKM**

2. Die Werte können nun in die entsprechende Formel eingesetzt werden:

Für den Streckenabschnitt innerhalb der USA:

$$\begin{aligned}CO_{2,sp} &= (D * f_U) * f_c * CO_{2,p} \\CO_{2,sp} &= (352,5 \text{ km} * 1,35) * 1,4 * 0,038 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{km}} \\CO_{2,sp} &= 25,3 \text{ kg CO}_2\end{aligned}$$

Für den Streckenabschnitt innerhalb Kanadas:

$$\begin{aligned}CO_{2,sp} &= (D * f_U) * f_c * CO_{2,p} \\CO_{2,sp} &= (352,5 \text{ km} * 1,35) * 1,4 * 0,060 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{km}} \\CO_{2,sp} &= 40,0 \text{ kg CO}_2\end{aligned}$$

Für die gesamte Strecke:

$$\begin{aligned}CO_{2,sp} &= 40,0 \text{ kg CO}_2 + 25,3 \text{ kg CO}_2 \\CO_{2,sp} &= \mathbf{65,3 \text{ kg CO}_2}\end{aligned}$$

3.3.5 Ergebnisse

Das Ergebnis nach VDR-Standard für :

eine Bahnfahrt Hongkong – Peking, 1 Passagier, 2. Klasse im Hochgeschwindigkeitszug beträgt **91,2 kg CO₂**.

Eine Bahnfahrt Toronto – Chicago, 1 Passagier, 2. Klasse im Hochgeschwindigkeitszug beträgt **65,3 kg CO₂**.

4. Anwendungsbeispiel für den Bereich Hotel

4.1 Daten

4.1.1 Allgemeines

Die CO₂ – Bilanzierung einer Hotelübernachtung kann der Anwender auf zwei Wegen durchführen:

1. Verwendung der Tabelle „**CO₂ per Night**“ aus dem Datenpaket (VDR Standard Teil III). Diese Tabelle ist in Kapitel 4.1.2 beschrieben.
2. Berechnung des **CO₂ per Night** aus den Daten des Hotels, in dem der Anwender übernachtet hat. Die benötigten Daten müsste der Anwender vom Hotel selbst erheben. Diese Methode ist weitaus aufwendiger, aber auch genauer. Der Rechenweg ist in Kapitel 4.1.3 und 0 erläutert.

4.1.2 Verwendung der Tabelle **CO₂ per Night**

Im Datenpaket (VDR Standard Teil III) ist eine Tabelle enthalten, die je Land und je Stern das **CO₂ [kg / Nacht]** enthält:

| Country | * | ** | *** | **** | **** |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| UK | 18,19 | 20,03 | 22,62 | 25,54 | 27,06 |

Tabelle 9: CO₂ [kg] je Übernachtung in UK, je Sternekategorie

Die CO₂ Werte aus Tabelle 9 sind Durchschnittswerte der CO₂ je Übernachtung verschiedener Hotels je Kategorie in Großbritannien. Das CO₂ beinhaltet:

- CO₂ für Energieverbrauch (Strom und Heizbedarf)
- CO₂ für Wasserverbrauch
- CO₂ für Abwasserentsorgung
- CO₂ für Abfallentsorgung

Dieses CO₂ kann vom Anwender für die CO₂ - Bilanzierung verwendet werden, wenn er Weg 1 aus Kapitel 4.1.1 wählt. Die Bestimmung der CO₂ Werte aus Tabelle 9 kann im Kapitel 4.1.3 und 0 nachvollzogen werden. Dieses Vorgehen ist analog zu o.g. Weg 2 (vgl. Kapitel 4.1.2).

4.1.3 Verwendung der Daten des Hotels

Sollte der Anwender das CO₂ je Übernachtung selbst bestimmen wollen, muss er vom Hotel, in dem er übernachtet hat, einige Daten erheben. Folgende Daten sind in diesem Fall notwendig, ausgefüllt mit einem Beispiel:

| Faktor | Wert |
|----------------------|---|
| Klassifizierung | 4 Sterne |
| Land | USA |
| Betten | 1000 |
| Zimmer | 900 Doppelzimmer Standard 100 Suiten |
| Auslastung | 70 % |
| Jahresstromverbrauch | 3.500.000 kWh (normaler Stromanbieter) |
| Heizbedarf | 5.000.000 kWh (Fernwärme) |
| Wasserverbrauch | 120.000 m ³ |
| Müllkosten | 10.000 \$ |

Tabelle 10: Verbrauchswerte und Kennziffern eines Hotels in den USA

CO₂ des Stromverbrauchs und Heizbedarfs

Der Stromverbrauch [kWh] je Zimmer je Nacht berechnet sich wie folgt:

$$C_S = \frac{\text{Jahresstromverbrauch [kWh]}}{\text{Anzahl Zimmer} * 365 \text{ Tage} * \text{Zimmerauslastung [\%]}}$$

$$C_S = \frac{3.500.000 \text{ kWh}}{(1000 * 365 \text{ Tage} * 70 \%)}$$

$$C_S = 13,7 \text{ kWh}$$

Der Heizbedarf [kWh] je Zimmer je Nacht berechnet sich wie folgt:

$$C_H = \frac{\text{Jahresheizbedarf [kWh]}}{\text{Anzahl Zimmer} * 365 \text{ Tage} * \text{Zimmerauslastung [\%]}}$$

$$C_S = \frac{5.000.000 \text{ kWh}}{(1000 * 365 \text{ Tage} * 70 \%)}$$

$$C_S = 19,6 \text{ kWh}$$

Die CO₂ – Emissionsfaktoren f_S für Strom bzw. f_H Fernwärme für die USA betragen: 0,33 kg CO₂ je kWh Strom, 0,40 kg CO₂ je kWh Fernwärme.

$$CO_{2E} = (C_S * f_S) + (C_H * f_H)$$

$$CO_{2E} = 13,7 \text{ kWh} * 0,33 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} + 19,6 \text{ kWh} * 0,4 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}$$

$$CO_{2E} = 12,4 \text{ kg CO}_2$$

Die restlichen CO₂ – Treiber:

- CO₂ für Wasserverbrauch,
- CO₂ für Abwasserentsorgung,
- CO₂ für Abfallentsorgung,

die auch im VDR Standard Teil I, Kapitel 4 Hotel beschrieben sind, hat atmosfair analog zu o.g. Berechnungsschritten durchgeführt.

Die kumulierten Ergebnisse sind in VDR Standard Teil III Hotel in der Tabelle „CO₂ per Night“ dargestellt.

4.1.4 Tabelle *Room Category Factors*

Diese Tabelle enthält die Room Category Factors. Mittels diesen wird über die Zimmerfläche (in m²) einem Gast mit einem größeren Zimmer vom VDR Standard mehr CO₂ zugewiesen als einem Gast mit einem kleineren Zimmer. Die Verfahrensweise ist analog zu den Sitzplatzfaktoren bei Flug und Bahn.

Folgende Zimmerkategorien unterscheidet der VDR Standard:

- Single Standard
- Double Standard
- Single Premium
- Double Premium
- Suite

4.1.5 Berechnungsformel

In VDR Standard Teil I, Kapitel 4 “Hotel” ist die Berechnungsformel für eine Nacht für den Bereich Hotel angegeben:

$$CO_{2D} = \left(\frac{CO_{2E} + CO_{2W} + CO_{2A} + CO_{2M}}{f_l} \right) * f_B$$

| Variable | Beschreibung | Einheiten |
|------------------|---|-----------|
| CO _{2D} | CO ₂ – Emissionen je Übernachtung | kg |
| CO _{2E} | CO ₂ – Emissionen des Energieverbrauchs je Übernachtung | kg |
| CO _{2W} | CO ₂ – Emissionen des Wasserverbrauchs je Übernachtung | kg |
| CO _{2A} | CO ₂ – Emissionen der Abwasserentsorgung je Übernachtung | kg |
| CO _{2M} | CO ₂ – Emissionen der Abfallentsorgung je Übernachtung | kg |
| f _B | Zimmerkategoriefaktor | - |
| f _I | Auslastungsfaktor | - |

Tabelle 11: Variablen für die CO₂ - Bilanzierung Hotel

Nutzer des Datenpakets in VDR Standard, Teil III können aus der Tabelle „CO₂ per Night“ CO_{2D} als Summe von CO_{2E}, CO_{2W}, CO_{2A} und CO_{2M}, geteilt durch die Auslastung f_I ablesen, die Formel lautet für diese Anwender wie folgt:

$$CO_{2N} = CO_{2D} * f_B$$

4.2 Berechnung

4.2.1 Beispielberechnung

Folgend wird die CO₂ - Bilanzierung nachstehender Übernachtungen beschrieben:

- 3 Sterne Hotel in London, UK
- 7 Übernachtungen
- Doppelzimmer (Standard)

Folgende Schritte sind auf Basis des VDR – Standards nötig:

1. CO_{2D} beträgt **22,62 kg CO₂** je Übernachtung (vgl. Tabelle 9), die Anzahl der Tage (**7**), der Faktor f_B für die Zimmerkategorie **0,95**
2. Nun kann der Anwender die Werte in die Formel einsetzen:

$$CO_{2N} = CO_{2D} * f_B * Tage$$

$$CO_{2N} = 22,62 * 0,95 * 7$$

$$CO_{2N} = 150,4 \text{ kg CO}_2$$

4.2.2 Ergebnis

Das Ergebnis nach VDR-Standard für eine 7 Übernachtungen in einem 3 Sterne Hotel in Großbritannien beträgt: **150,4 kg CO₂**.

5. Anwendungsbeispiel für den Bereich Auto

5.1 Daten

5.1.1 Tabelle g CO₂ per km per ACRISS

Folgende Tabelle gibt für ausgewählte Mietwagen die CO₂ – Emissionen je gefahrenen Kilometer wieder. Angegeben ist der ACRISS Code des Mietwagens. Die in der Tabelle angegebenen Werte haben als Einheit **g CO₂ je km**:

| ACRISS Code | g CO ₂ je km |
|-------------|-------------------------|
| CBMN | 210 |
| EWMR | 145 |
| FBMN | 183 |
| IDMR | 176 |

Tabelle 12: Beispiele für CO₂ je ACRISS Code für verschiedene Mietwagen

5.1.2 Berechnungsformel

$$CO_{2D} = f_A * D$$

| Variable | Beschreibung | Einheiten |
|------------------|--|------------------------|
| CO _{2D} | CO ₂ – Emissionen einer Autofahrt | g |
| f _A | CO ₂ – Emissionsfaktor je ACRISS Mietwagenkategorie | g CO ₂ / km |
| D | Gefahrene Distanz | km |

Tabelle 13: Variablen für die CO₂-Bilanzierung Mietwagen nach VDR-Standard

5.2 Berechnung

5.2.1 Allgemeines

Folgend wird die CO₂ - Bilanzierung einer Mietwagenleihe mit folgenden Parametern beschrieben:

- IDMR
- 1 Fahrer
- 7 Tage Mietdauer mit 520 gefahrenen Kilometern

Folgende Schritte muss der Nutzer auf Basis des VDR – Standards ausführen:

5.2.2 Distanzbestimmung

Auf der Mietwagenabrechnung steht der ACRISS Code des geliehenen Fahrzeugs sowie die gefahrenen Kilometer, da diese Basis der Abrechnung sind. Im Beispiel ist das **IDMR** mit 7 Tagen Leihdauer und **520** gefahrenen Kilometern (D).

5.2.3 Bestimmung des spezifischen CO₂

1. Aus Tabelle 12 bzw. aus der Tabelle „**g CO₂ per km per ACRISS**“ im Datenpaket (VDR Standard Teil III) sucht der Anwender den entsprechenden CO₂ – Emissionswert je km heraus. Für dieses Beispiel ermittelt der Anwender den Wert f_A mit **176 g CO₂ je km**.
2. Nun kann der Anwender das CO₂ seiner Mietwagenleihe berechnen:

$$CO_{2D} = f_A * D$$

$$CO_{2D} = 520 \text{ km} * 176 \frac{\text{g CO}_2}{\text{km}}$$

$$CO_{2D} = 91,5 \text{ kg CO}_2$$

5.2.4 Ergebnis

Das Ergebnis nach VDR-Standard für eine Mietwagen – Leihe IDMR, 7 Tage sowie 520 gefahrenen Kilometern beträgt: **91,5 kg CO₂**.

6. Anwendungsbeispiel für den Bereich MICE

6.1 Daten

6.1.1 Allgemeines

Wie im VDR Standard Teil I beschrieben, muss der Anwender bei der CO₂ – Bilanzierung im Bereich MICE i.d.R. folgende Bereiche berücksichtigen:

- CO₂ durch Anreise
- CO₂ durch Nutzung des Tagungsortes
- CO₂ durch Übernachtung der Teilnehmer

Beispielrechnungen für CO₂ – Bilanzierung der Anreise sind in den Kapiteln 2, 3 sowie 5 enthalten, die CO₂ - Bilanzierung der Übernachtung beschreibt beispielhaft das Kapitel 4. Folgend wird nur noch die CO₂ – Bilanzierung des Veranstaltungsortes beschrieben. Diese ist analog zu CO₂ Berechnung Hotel (vgl. Kapitel 4.1.3ff).

6.1.2 Zu erhebende Daten vom Veranstaltungsort

Die notwendigen Daten für die CO₂ - Bilanzierung des Veranstaltungsortes sind direkt von diesem zu erfragen. Sollte das nicht möglich sein, existieren im Datenpaket (VDR Standard Teil III) mehrere „Durchschnittsveranstaltungsorte“, mit dessen Verbrauchsdaten seitens des Anwenders gerechnet werden kann. Wie im Bereich Hotel muss der Anwender folgendes in Erfahrung bringen:

- CO₂ für Energieverbrauch (Strom und Heizbedarf)
- CO₂ für Wasserverbrauch
- CO₂ für Abwasserentsorgung
- CO₂ für Abfallentsorgung

6.2 Beispielrechnung

6.2.1 Beispielberechnung

Auf Grund der Komplexität der Berechnung von MICE wird hier nur auf die Bestimmung der CO₂ – Emissionen durch den Veranstaltungsort eingegangen.

Es wurde eine Tagung mit folgenden Daten durchgeführt:

- Messezentrum X in Detroit, USA
- Dauer: 2 Tage
- Teilnehmerzahl: 300
- Miete der gesamten Fläche

Hier im Beispiel wird mit den Daten eines „Durchschnittsveranstaltungsortes“ gerechnet, wobei der Veranstaltungsort **250** Tage im Jahr vermietet ist:

| | Pro Jahr | Pro vermieteten Tag |
|-----------------|---------------------|---------------------|
| Stromverbrauch | 1.100.000 kWh | 4400 kWh |
| Heizung | 2.100.000 kWh | 8400 kWh |
| Wasserverbrauch | 7000 m ³ | 28 m ³ |
| Müllkosten | 10.000 \$ | 40 \$ |

Tabelle 14: Verbrauchsdaten des Veranstaltungsortes

6.2.2 Bestimmung der absoluten CO₂ – Emissionen des Veranstaltungsortes

$$CO2_V = \left(\sum (C_E * f_E) \right) + (C_W * f_W) + (C_A * f_A) + (C_M + f_M)$$

1. Strom- und Fernwärme in den USA verursachen: 0,33 kg CO₂ je kWh Strom, 0,40 kg CO₂ je kWh Wärme. Jetzt kann oben stehende Formel verwendet werden:

$$CO2_V = 4400kWh * 0,33 \frac{kg CO2}{kWh} + 8400kWh * 0,4 \frac{kg CO2}{kWh} + 28 m^3 * 1,036 \frac{kg CO2}{m^3} + 28 m^3 * 1,036 \frac{kg CO2}{m^3} + 40 \$ * 1 \frac{kg CO2}{\$}$$

$$CO2_V = 4.910 kg CO2$$

2. Bei 2 Tagen fallen für den Betrieb des Veranstaltungsortes **9820 kg CO₂** an.

6.2.3 Ergebnis

Das Ergebnis nach VDR-Standard für den Tagungsort beträgt: **9820 kg CO₂**.

7. Anwendungsbeispiel für den Bereich ÖPNV

7.1 Berechnungsformel

Die Formel für die Berechnung lautet wie folgt:

$$CO2_E = f * T$$

| Variable | Beschreibung | Einheiten |
|----------|---|------------------------|
| $CO2_E$ | CO ₂ – Emissionen einer Fahrt mit den ÖPNV | kg |
| T | Anzahl der Tage der ÖPNV-Nutzung | - |
| f | Pauschaler Emissionsfaktor | kg CO ₂ / d |

Tabelle 15: Variablen für die CO₂-Bilanzierung ÖPNV nach VDR-Standard

7.2 Berechnung

7.2.1 Allgemeines

Folgend wird die CO₂ - Bilanzierung einer ÖPNV Fahrt mit folgenden Parametern beschrieben:

- Busfahrt
- 1 Passagier
- 2 Fahrten an 2 Tagen

Folgende Schritte muss der Nutzer auf Basis des VDR – Standards ausführen:

7.2.2 Bestimmung des spezifischen CO₂

1. Aus dem Datenpaket (VDR Standard Teil III) sucht der Anwender den pauschalen CO₂ – Emissionsfaktor heraus. Für dieses Beispiel ermittelt der Anwender den Wert f_A mit **0,450 kg CO₂ je Tag (fiktiver Wert)**.
2. Nun kann der Anwender das CO₂ seiner ÖPNV Fahrten berechnen:

$$CO2_E = f * T$$

$$CO2_E = 0,450 \frac{kg CO2}{d} * 2 d$$

$$CO2_E = 0,9 kg CO_2$$

7.2.3 Ergebnis

Das Ergebnis nach VDR-Standard für zwei ÖPNV Fahrten an zwei Tagen beträgt: **0,9 kg CO₂**.