

# CO<sub>2</sub> EMISSIONSRECHNER FÜR HOCHSEEKREUZFAHRTEN

DOKUMENTATION DER BERECHNUNGSMETHODE

VERSION 1.1, Oktober 2010



## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 CO <sub>2</sub> –und andere Abgase .....	1
1.2 Hybridschiffe und Weiterentwicklung des Rechners .....	1
<b>2. Nach welchen Prinzipien funktioniert der Emissionsrechner? .....</b>	<b>3</b>
2.1 Datenquellen- und -unabhängigkeit .....	3
2.2 Angemessene Genauigkeit .....	3
2.3 Prüfung .....	3
<b>3. Welche Datenquellen liegen zu Grunde? .....</b>	<b>4</b>
3.1 Schiffsdatenbank „Equasis“ .....	4
3.2 Datenbanken der Klassifikationsgesellschaften .....	4
3.3 Datenbank der “Cruise Lines International Association (CLIA)” .....	4
3.4 Decks- und Kabinenpläne der Reedereien .....	5
3.5 Operative Daten einzelner Reedereien .....	5
<b>4. Welche Faktoren auf die Emissionen der Kreuzfahrt gibt es und wie fließen diese ein? .....</b>	<b>6</b>
4.1 Die entstehenden Schadstoffe aus den Schiffsabgasen .....	6
4.1.1 Stickoxide .....	6
4.1.2 Kohlenstoffmonoxid .....	7
4.1.3 Schwefeloxide .....	7
4.1.4 Kohlenstoffdioxid .....	8
4.2 Das Schiff .....	8
4.3 Die Schiffsmotoren, die Verbraucher und der verwendete Treibstoff .....	10
4.3.1 Leistungserzeuger für Vortrieb und Strom .....	10
4.3.2 Kesselanlagen .....	12
4.3.3 Treibstoff .....	12
4.3.4 Verbraucher .....	13
4.4 Der Fahrtzustand des Schiffes .....	15
4.5 Die Nutzflächen an Bord .....	15
4.6 Die Kabinen und Kabinenklassen .....	16
4.7 Zustellbetten .....	18
4.8 Die Auslastung der Kabinen .....	19
4.9 Wie wird das Streckenprofil der jeweiligen Kreuzfahrt berücksichtigt? .....	19

4.10 Wetter & Strömung .....	20
4.11 Winter- & Sommerbetrieb .....	21
<b>5. Wie werden die absoluten Emissionen auf die Passagiere verteilt? .....</b>	<b>22</b>
5.1 Umlage der absoluten CO <sub>2</sub> -Emissionen auf CO <sub>2</sub> pro Passagier .....	22
5.2 Verteilungsschlüssel in der Umsetzung des atmosfair-Rechners.....	23
<b>6. Wie genau sind die Ergebnisse? .....</b>	<b>25</b>
6.1 Unsicherheitsfaktoren .....	25
6.2 Wie beeinflusst die Auslastung der Maschinen und die gefahrene Geschwindigkeit die Höhe der absoluten Emissionen? .....	25
6.3 Wie beeinflusst die Passagierauslastung die Emissionen je Passagier? .....	26
<b>7. Schiffsdaten.....</b>	<b>27</b>
<b>8. Literaturverzeichnis.....</b>	<b>28</b>

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grenzwerte für Stickoxide nach MARPOL Anlage VI.....	6
Tabelle 2: Grenzwerte für Schwefeloxide nach MARPOL Anlage VI .....	7
Tabelle 3: Übersicht der Hybridschiffe des Emissionsrechners .....	9
Tabelle 4: Auszug aus der Spezifikation der MDO nach ISO 8217 .....	13
Tabelle 5: Auszug aus der Spezifikation der HFO nach ISO 8217.....	13
Tabelle 6: allgemeine Laststufen der Maschinen bei verschiedenen Fahrtzuständen .....	15
Tabelle 7: Kabinenkategorien des Emissionsrechners.....	17
Tabelle 8: Reviere verschiedener deutscher Häfen.....	20
Abbildung 1: Übersicht über die möglichen Vortriebssysteme von Kreuzfahrtschiffen.....	10
Abbildung 2: elektrische Leistungsbilanz eines Kreuzfahrtschiffs (Quelle: atmosfair 2010) .....	14
Abbildung 3: Verteilungsschema der CO <sub>2</sub> Emissionen auf die Passagiere (Quelle: atmosfair 2010) .	23
Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und notwendiger Antriebsleistung.....	25

## 1. Einleitung

Umweltschutz und Nachhaltigkeit werden im Tourismus immer wichtiger. Das Reisen mit einem Kreuzfahrtschiff boomt seit Jahren und wächst schneller als jedes andere Marktsegment im weltweiten Tourismus. Das hat auch Auswirkungen auf die Umwelt.

### 1.1 CO<sub>2</sub> –und andere Abgase

Die Schifffahrt im Allgemeinen und Hochseekreuzfahrten im Besonderen emittieren mit den Abgasen eine Reihe von Schadstoffen, die verschiedene klima- und umweltschädliche Auswirkungen haben. Die Verbrennung des Treibstoffs im Motor lässt, wie bei allen Verbrennungsmotoren, verschiedene Abgase entstehen: Stickoxide NO<sub>x</sub>, Kohlenmonoxid CO, Kohlendioxid CO<sub>2</sub> sowie, als Besonderheit der Schiffstreibstoffe Schwefeloxide SO<sub>x</sub> auf Grund des erhöhten Schwefelanteils.

Der Kreuzfahrtemissionsrechner ist ein reiner CO<sub>2</sub> – Rechner. Anders als beim Flugverkehr leisten die anderen Schadstoffe nach derzeitigem Wissenstand bei der Schifffahrt keinen Beitrag zur Erderwärmung, könnten eventuell sogar abkühlend wirken. Im Vordergrund steht bei diesen Stoffen die direkte lokale Umweltverschmutzung und Versauerung der Ozeane durch Schwefel etc. Da atmosfair aber CO<sub>2</sub> in Klimaschutzprojekten kompensiert und sich das für Schwefel etc. wegen der lokalen Wirkung nicht machen lässt, wird atmosfair diese Schadstoffe bis auf weiteres nicht in den Rechner einbeziehen.

### 1.2 Hybridschiffe und Weiterentwicklung des Rechners

Die aktuelle Version 1.1 teilt die weltweit über 300 verschiedenen großen Schiffstypen in 5 verschiedene Größenklassen ein, die so genannten „Hybridschiffe“ (vgl. 4.2).

Der Vorteil dieser Herangehensweise: Die Handhabung des Emissionsrechners ist benutzerfreundlich. Ohne das jeweilige Schiff identifizieren und im Rechner zuordnen zu müssen können die Nutzer die individuellen CO<sub>2</sub> – Emissionen ihrer Kreuzfahrten bestimmen, und das angemessen genau.

Derzeit erfasst atmosfair 71 Schiffe im Detail. Diese Dokumentation gibt den derzeitigen Wissenstand wieder. Mittelfristiges Ziel ist jedoch ein noch genauerer Rechner für die wichtigsten großen Schiffe und großen Reeder. Eine Auswahlmöglichkeit der realen Schiffe zusätzlich zu den

Hybridschiffen ist in der nächsten Version des Emissionsrechners möglich. Hierbei wird eine benutzerfreundliche Zuordnungsmöglichkeit der einzeln auswählbaren Schiffe integriert. Außerdem werden zusätzlich Flusskreuzfahrten und Segelschiffe in die Auswahl aufgenommen.

## **2. Nach welchen Prinzipien funktioniert der Emissionsrechner?**

Der Emissionsrechner für Kreuzfahrten ist nach folgenden Prinzipien aufgebaut, die sich auf die Datenquellen, die Genauigkeit der Berechnung und die externe Überprüfung beziehen.

### **2.1 Datenquellen- und -unabhängigkeit**

Die Daten stammen aus verschiedenen unabhängigen Quellen. Dazu gehören hauptsächlich die Datenbanken von unabhängigen Organisationen wie Equasis, von offiziellen Klassifikationsgesellschaften und aus der einschlägigen Fachliteratur. Daten von Reedereien wurden mittels unabhängiger Quellen überprüft. Damit werden Transparenz und Unabhängigkeit gewährleistet.

### **2.2 Angemessene Genauigkeit**

Der Rechner ist so ausgelegt, dass seine Ergebnisse angemessen genau für einen Passagier sind, ohne dabei Eingabedaten zu verlangen, die ein Passagier nicht wissen kann (wie z.B. Motorengröße, Fahrtgeschwindigkeit etc.). Die Genauigkeit beläuft sich im Allgemeinen auf ungefähr + / -10%, andernfalls wird gesondert auf die Ungenauigkeit hingewiesen.

Faktoren, wie das Schiff, die Kabine und das Streckenprofil, welche vom Passagier durch seine Buchung beeinflusst werden können, werden mit guter Genauigkeit abgebildet, ebenso die Faktoren mit dem höchsten Einfluss auf die CO<sub>2</sub> – Emissionen. Nicht vom Passagier beeinflussbare Größen wie z.B. Laststufen fließen mit berechneten oder gemittelten Werten ein.

### **2.3 Prüfung**

Der Emissionsrechner für Kreuzfahrtschiffe beruht auf dem aktuellen Stand der Wissenschaft. Die Methodik des Emissionsrechners wurde im Juli 2010 vom Umweltbundesamt offiziell geprüft.

### **3. Welche Datenquellen liegen zu Grunde?**

#### **3.1 Schiffsdatenbank „Equasis“**

Equasis ist eine Non-Profit-Organisation. Sie wird durch öffentliche Gelder finanziert und ging aus einer Initiative der Europäischen Kommission sowie den Regierungen verschiedener Länder hervor. Equasis unterhält eine kostenlose und öffentlich zugängliche Schiffsdatenbank, die – neben eigenen Daten – auch auf öffentlich zugängliche Daten der Klassifikationsgesellschaften zugreift.

#### **3.2 Datenbanken der Klassifikationsgesellschaften**

Jedes Schiff muss in einem Schiffsregister eingetragen sein und von einer Klassifikationsgesellschaft klassifiziert und technisch abgenommen werden. Schiffe, die Passagiere befördern wollen, müssen zusätzlich von diesen die Seetüchtigkeit und die Gewährleistung der Passagiersicherheit bescheinigt bekommen. Daher verfügen die Klassifikationsgesellschaften über umfangreiche technische Daten der Kreuzfahrtschiffe. Im Wesentlichen sind dies:

- Germanischer Lloyd
- Lloyd's Register of Shipping
- Registro Italiano Navale
- Bureau Veritas
- American Bureau of Shipping
- Det Norske Veritas

#### **3.3 Datenbank der „Cruise Lines International Association (CLIA)“**

CLIA ist die weltweit größte Kreuzfahrt – Verband vorwiegend amerikanischer Reedereien. Er setzt sich ebenfalls für den Umweltschutz ein und veröffentlicht eigene freiwillige Umweltrichtlinien, die von ihren Mitgliedern umgesetzt werden.

Der Verband verfügt ebenfalls über eine Schiffsdatenbank mit den Kreuzfahrtschiffen seiner Mitglieder.

### **3.4 Decks- und Kabinenpläne der Reedereien**

Daten zu den Kabinenkategorien, Ausstattungen sowie weitere technische Informationen wurden den einzelnen Deck- und Kabinenplänen der Reedereien entnommen.

### **3.5 Operative Daten einzelner Reedereien**

Der Emissionsrechner stützt sich auf Leistungsbilanzen verschiedener Kreuzfahrtschiffe. Dies beinhaltet auch den gesamten Treibstoffverbrauch, die detaillierten Leistungsbilanzen bei verschiedenen Fahrtzuständen sowie im Winter- und Sommerbetrieb. Zum Teil wurden berechnete Werte mit Verbrauchsangaben seitens der Reedereien zwecks Plausibilität und Genauigkeit der Berechnung verifiziert.

## 4. Welche Faktoren auf die Emissionen der Kreuzfahrt gibt es und wie fließen diese ein?

### 4.1 Die entstehenden Schadstoffe aus den Schiffsabgasen

#### 4.1.1 Stickoxide

Stickstoffoxide, auch als Stickoxide bezeichnet, sind die gasförmigen Oxidationsstufen des Stickstoffs  $N_2$ . Werden fossile Brennstoffe verbrannt, geht das  $N_2$  eine chemische Reaktion mit dem atmosphärischen Sauerstoff  $O_2$  ein, wobei die besagten Stickoxide ( $NO_x$ ) entstehen. Im Zusammenhang mit den Emissionen im Schiffsverkehr steht der Begriff  $NO_x$  für die beiden Moleküle  $NO$  und  $NO_2$ .

Kommt das  $NO_x$  mit dem in der Atmosphäre befindlichen Wasser in Berührung, kann mittels chemischer Reaktionen Salpetersäure entstehen welche in Form von Niederschlag auf die Wasseroberfläche gelangt und Versauerung des Meeres bewirken kann.

Eine zweite schädliche Eigenschaft des  $NO_x$  ist die Eutrophierung, das heißt Überdüngung der Meere in Form von Nitraten. Das von den Schiffen ausgestoßene  $NO_x$  gelangt entweder gelöst in Form von Niederschlägen oder direkt ins Meer und regt das Wachstum vor allem von Algen an.

Die Menge an Stickoxide, die ein Schiff verursacht, wird im Wesentlichen durch die Bauart seiner Motoren bestimmt. Je höher die Verbrennungstemperatur sowie die Verweildauer des Treibstoffgemischs im Zylinder sind, desto höher ist die Quantität der Stickoxide. Paradoxerweise hat die Effizienzsteigerung in der Motorenentwicklung in den letzten 30 Jahren zu einer Erhöhung der Stickoxidproduktion moderner Motoren geführt, da die Steigerungen durch höhere Brenntemperaturen sowie niedriger Drehzahlen mit entsprechend längerer Brenndauer erreicht wurden.

In Abhängigkeit der Drehzahl ( $n$ ) der Schiffsdieselmotoren legt MARPOL Anhang VI folgende Grenzwerte für Stickoxide fest:

Stufe	Datum	NO <sub>x</sub> Limit, g /kWh		
		n < 130	130 < n < 2000	n > 2000
I	2000	17,0	$45 * n^{-0,2}$	9,8
II	2011	14,4	$44 * n^{-0,22}$	7,7
III	2016	3,4	$9 * n^{-0,22}$	1,96

**Tabelle 1: Grenzwerte für Stickoxide nach MARPOL Anlage VI**

Stufe III wird nach jetzigem Stand lediglich in NO<sub>x</sub> - Emission Control Areas (Sonderzonen) gelten. Für alle nach dem Jahr 2000 gebauten Schiffe müssen die Motoren mindestens die Grenzwerte nach Stufe I erfüllen.

#### 4.1.2 Kohlenstoffmonoxid

Kohlenstoffmonoxid entsteht bei der unvollständigen Verbrennung von fossilen Energieträgern. Hohe Verbrennungstemperaturen fördern die Entstehung zusätzlich. Es begünstigt, wie die Kohlenwasserstoffketten in den Schiffsabgasen, die Bildung von Sommersmog.

#### 4.1.3 Schwefeloxide

Die SO<sub>x</sub> Emissionen stammen aus dem Schwefelanteil in Treibstoffen. Dabei bildet mit 95 % das Schwefeldioxid SO<sub>2</sub> den größten Bestandteil. Es wirkt auf Menschen, Flora und Fauna toxisch. Wegen seiner guten Wasserlöslichkeit bildet es, wenn es in die Atmosphäre gelangt, in Verbindung mit Sauerstoff den sauren Regen. Schäden an der Biosphäre, z.B. Waldsterben, an Gebäuden sowie verstärkte Korrosion sind die Folge.

Ein weiterer Effekt von SO<sub>x</sub>-Emissionen in der Atmosphäre ist die Bildung von Sulfat-Aerosolen, d. h. sehr feinen Luftpartikeln welche gesundheitsschädliche Wirkungen haben können.

Wegen der schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt wurde der Anteil des Schwefels in den Treibstoffen durch MARPOL Annex VI begrenzt:

Datum	Grenzwert des Schwefels im Treibstoff (in %)	
	SO <sub>x</sub> – Sonderzone (SECA)	Weltweit
2000	1,5 %	4,5 %
2010	1,0 %	
2012		0,1 %
2015	0,5 %	
2020		

**Tabelle 2: Grenzwerte für Schwefeloxide nach MARPOL Anlage VI**

Die letzte Verschärfung, welche für das Jahr 2020 anvisiert ist, wird im Rahmen eines Reviews seitens der IMO 2018 noch einmal überprüft. Alternativ könnte dieser Grenzwert dann erst ab 2025 gelten.

Eine Reduktion der Schwefeldioxid – Emissionen lässt sich auf zweierlei Arten erreichen. Der Einsatz schwefelarmer Treibstoffe bewirkt automatisch eine Senkung der Emissionen, diese lassen jedoch, da sie teurer sind als die herkömmlichen Treibstoffe, die Kosten für die Reedereien steigen. Eine zweite Möglichkeit ist der Einsatz eines Nachbehandlungsverfahrens namens Seawater Scrubbing. Die Abgase werden mit Seewasser gewaschen und somit gesäubert. Die gereinigten Abgase werden über den Schornstein abgeleitet, das verdreckte Wasser wird gefiltert und ins Meer zurückgeführt. Die gefilterten Reste werden mittels eines besonderen Verfahrens in Trockengranulat umgewandelt, welches an Land recycelt werden kann.

#### 4.1.4 Kohlenstoffdioxid

CO<sub>2</sub> ist mit einem Anteil von derzeit 0,0381 % ein Bestandteil der Erdatmosphäre. Kohlenstoffdioxid ist als Treibhausgas mitverantwortlich für die Klimaerwärmung.

Eine zweite Auswirkung von CO<sub>2</sub> - Emissionen auf die Umwelt, die in besonderem Maße die Schifffahrt betrifft, ist die Versauerung der Meere. Löst sich CO<sub>2</sub> im Meerwasser, reagiert es mit diesem über mehrere Stufen zu positiv geladenen H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>. Ein sinkender pH – Wert und damit Versauerung des Meeres ist die Folge. Weiterhin reagiert H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> mit dem im Kalk enthaltenen Kalziumcarbonat und löst es auf. Meereslebewesen, die Kalk enthalten (Korallen, Muscheln) werden somit bei erhöhter CO<sub>2</sub> - Belastung in Mitleidenschaft gezogen.

## **4.2 Das Schiff**

Der Treibstoffverbrauch ist vom Schiff sowie der Dimensionierung seiner Motoren und Kesselanlagen abhängig. Prinzipiell werden Kreuzfahrtschiffe im Hinblick auf Kabinenanzahl, deren Größe und Ausstattung sowie die Art der Freizeiteinrichtungen auf das Kundenprofil der jeweiligen Reederei zugeschnitten. So kann es vorkommen, dass zwei baugleiche Schiffe (Rumpf, Decksaufbauten, Motoren, technische Anlagen), die von zwei verschiedenen Kreuzfahrtveranstaltern betrieben werden, sich in den o.g. Punkten unterscheiden. Daher kann es, z.T. trotz identischer absoluter CO<sub>2</sub> – Emissionen des Schiffs die relativen Emissionen je Passagier und Kabine unterscheiden.

Im Emissionsrechner sind somit für jedes Schiff u.a. folgende Daten nötig und hinterlegt:

- Maschinendaten: Anzahl, Typ, Hersteller, Verbrauch und Leistungsvermögen aller Motoren, Generatoren und Antriebsaggregate für die Propeller. Soweit bekannt auch die Daten der Manövriertriebwerke (Querstrahlruder u. ä.)
- Nutzflächen: Art, Anzahl und eingenommene Fläche aller Bereiche auf dem jeweiligen Schiff
- Kabinen: Anzahl, Größe und Kategorie aller Kabinen des Schiffs

Insgesamt verfügt der Rechner über eine Datenbank von aktuell 210 Kreuzfahrtschiffen von 37 Reedereien. Es liegen detaillierte Daten von 71 Schiffen vor, für die auf Basis oben genannter Punkte die CO<sub>2</sub> – Bestimmung je Kabine und Passagier vorgenommen werden können.

Kreuzfahrten sind auf verschiedene Kundenkreise und Marktsegmente zugeschnitten. Jede Reederei bedient entweder mit allen ihren Schiffen einen oder mit verschiedenen Schiffen mehrere dieser Teilmärkte. Bei der Buchung einer Kreuzfahrt wählt der Reisende also das Schiff gezielt nach seinen Bedürfnissen hinsichtlich Komfort, Ausstattung und Konzept aus. Somit ist dem Nutzer des Emissionsrechners der Name des Schiffs zwangsläufig bekannt und könnte gezielt ausgewählt werden.

Da zurzeit etwa 350 Hochseekreuzfahrtschiffe die Meere befahren, könnte es vorkommen, dass für ein nicht in der Datenbank vorhandenes Schiff die Emissionen bestimmt werden sollen. Zwecks Vereinfachung existieren daher im Rechner die „Hybridschiffe“. Das sind künstlich generierte, mathematisch berechnete Schiffstypen auf Basis der Daten der vorhandenen realen Schiffe. Für die Bestimmung wurden alle Kreuzfahrtschiffe in folgende Kategorien sortiert:

Kategorie	Beschreibung
I	Bis 999 Passagiere
II	1000 – 1999 Passagiere
III	2000 – 2999 Passagiere
IV	ab 3000 Passagiere
Luxury	Enthält alle Schiffe der Reedereien, die das Premium – Segment bedienen

**Tabelle 3: Übersicht der Hybridschiffe des Emissionsrechners**

Auf Basis der Kategorien wurde jeweils ein Durchschnittsschiff bestimmt und für dieses die CO<sub>2</sub> – Emissionen je Kabine und Passagier berechnet. Durch die Bildung der Luxury – Klasse wurden die

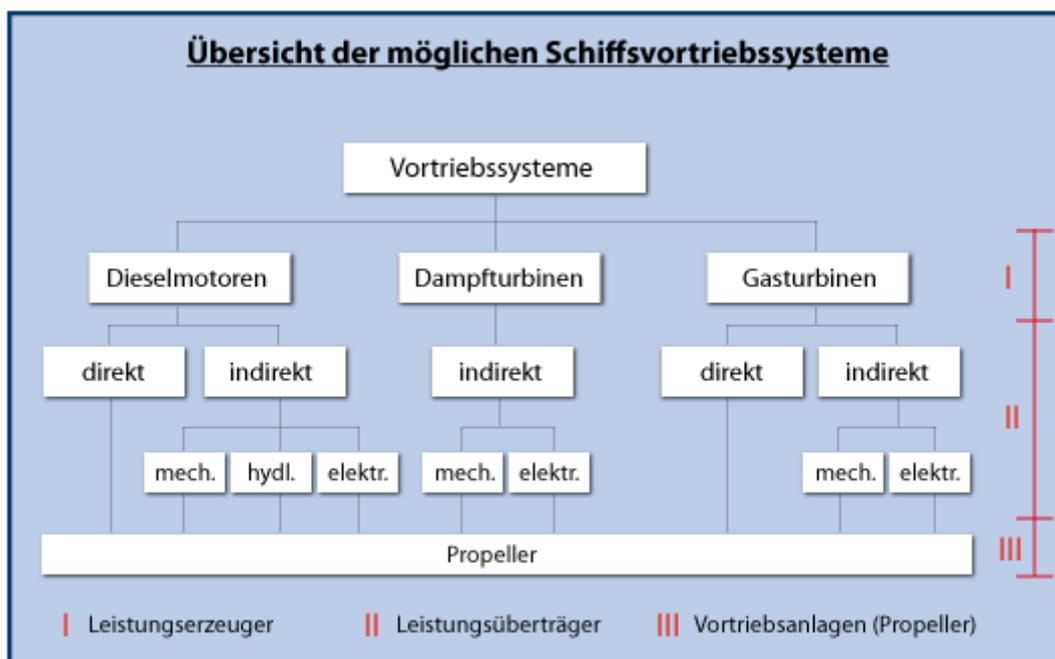
Abweichungen zwischen den realen Emissionswerten und dem des Hybridschiffs minimiert. Kreuzfahrtschiffe des Premium – Segments verzeichnen auf Grund der geringeren Kabinenzahlen einen höheren CO<sub>2</sub> – Emissionswert je Passagier. Die Luxury – Kategorie reduziert die Abweichung der Ergebnisse der realen Schiffe im Vergleich zu den Hybridschiffen auf maximal 10 %.

### 4.3 Die Schiffsmotoren, die Verbraucher und der verwendete Treibstoff

#### 4.3.1 Leistungserzeuger für Vortrieb und Strom

Die Leistungserzeuger an Bord eines Schiffes sind die Maschinen, die mechanische Energie für den Betrieb der Vortriebsanlagen und der Generatoren liefern. Sie ermöglichen letztlich die Fahrt und Strom – und Wasserdampferzeugung an Bord des Schiffes. Sie lassen sich in zwei Gruppen unterteilen:

1. Motoren für Erzeugung von Vortrieb und Strom für den bordeigenen Bedarf
2. Kesselanlagen für Dampf- und Wärmeproduktion



**Abbildung 1: Übersicht über die möglichen Vortriebssysteme von Kreuzfahrtschiffen**

Prinzipiell sind drei Arten von Leistungserzeugern möglich: Dieselmotoren, Gasturbinen und Dampfturbinen.

Dampfturbinenantriebe sind auf Grund des geringeren Wirkungsgrades gegenüber Dieselmotoren kaum noch in der Passagierschifffahrt im Einsatz. Durch in den letzten Jahrzehnten gestiegene Ölpreise wurden diese Schiffe unrentabel und entweder auf Dieselbetrieb umgerüstet oder außer Dienst gestellt.

Am weitesten verbreitet in der Schifffahrt sind Viertaktdieselmotoren (Mittelschnellläufer), welche auch die häufigste Antriebsart bei Kreuzfahrtschiffen sind. Vereinzelt werden auch Gasturbinenantriebe eingesetzt. Sie haben auf Grund ihrer kompakten Bauweise eine hohe Leistungsdichte, d.h. ein gutes Platz-Leistungs-Verhältnis. Es kann auf demselben Raum mehr Antriebsleistung installiert werden als durch die alleinige Verwendung von Dieselaggregaten. Weitere Vorteile von Gasturbinen im Vergleich zu Dieselmotoren sind schnelleres Hochfahren auf Vollast sowie geringere Vibrationen - letzteres schlägt sich positiv im Passagierkomfort nieder. Nachteile der Gasturbinentechnologie sind die höheren Investitionsausgaben sowie die Notwendigkeit des Einsatzes von qualitativ höherwertigem und damit teurerem Treibstoff. Zudem verursachen sie einen höheren Verbrauch als Dieselmotoren bei vergleichbarer Leistung, vor allem bei ungleichmäßiger oder niedriger Last. Daher werden sie im Bereich Kreuzfahrt meist mit Dieselaggregaten kombiniert. Meistens verwenden die Schiffe für langsame Fahrt, für die Beschleunigung und für das Manövrieren im Hafen Dieselmotoren oder andere Aggregate. Soll das Schiff konstant hohe oder maximale Geschwindigkeit erreichen, wird auf Gasturbinenbetrieb umgeschaltet.

Der Emissionsrechner berücksichtigt für jedes betrachtete Schiff nicht nur die Antriebsart (Diesel oder Gasturbine) sondern die Anzahl, Leistung, Treibstoffverbrauch sowie Emissionen der Motoren. Die meisten Dieselmotoren gibt es von wenigen Herstellern zu kaufen. Alle Modelle unterscheiden sich nur geringfügig im Hinblick auf technischem Stand sowie die Bauart, daher ist auch der spezifische Treibstoffverbrauch in g / kWh bei allen betrachteten Aggregaten nahezu identisch. Dessen Höhe schwankt maximal im Bereich von +/- 10 %. Die genauen Werte sind aus den Motorendatenbanken der Hersteller bekannt, in den wenigen Ausnahmefällen wird ein durchschnittlicher Wert von 180 g / kWh zu Grunde gelegt. Für die Schiffe mit Gasturbinenantrieb gilt dieselbe Methodik, wobei der bei unbekanntem spezifischen Verbrauch 250 g / kWh angenommen werden.

Die Motoren treiben über Wellen und Getriebe die Schiffspropeller für den Vortrieb sowie die Generatoren für die Stromerzeugung an. Moderne Kreuzfahrtschiffe verfügen über dieselelektrische Antriebe, d.h. die Dieselaggregate an Bord treiben Generatoren an, diese erzeugen den elektrischen Strom, welcher entweder auf E-Motoren geschaltet wird, die die

Propeller antreiben oder die elektrischen Verbraucher an Bord speisen. Mittels dieser Technik können die Diesel nach Bedarf an- oder heruntergefahren werden. Ältere Schiffe verfügen oft über dieselmechanische Antriebe, d.h. es gibt separate Dieselaggregate für Vortrieb und die Stromerzeugung.

Im Emissionsrechner ist für jedes Schiff – unabhängig von der Antriebsart – die Motorenkapazität für Vortrieb und für die Stromerzeugung separat hinterlegt und wird bei der Bestimmung der Emissionen herangezogen.

#### 4.3.2 Kesselanlagen

Die Wärmebedarfe an Bord des Schiffs werden über die Kesselanlagen gedeckt. Wasserdampf wird für vor allem für die Warmwasserversorgung, die Beheizung der Treibstofftanks sowie für die Klimatisierung benötigt. Während der Fahrt auf See werden weitestgehend die heißen Abgase der Dieselmotoren genutzt, um in speziellen Abgaskesseln den Wasserdampf zu erzeugen. Dieser wird über spezielles Rohrleitungssystem zu den jeweiligen Verbrauchern geführt. Es fällt somit kein zusätzlicher Treibstoffverbrauch an. Bei erhöhtem Mehrbedarf können die so genannten Hilfskessel zusätzliches heißes Wasser erzeugen.

Liegt das Schiff im Hafen, sind die Antriebsaggregate abgeschaltet bzw. befinden sich auf sehr niedriger Last im Leerlauf. Für die Wasserdampferzeugung stehen die Abgaskessel somit nicht mehr zur Verfügung, daher werden die ölgefeuerten Hilfskessel in Betrieb genommen, von denen jedes Kreuzfahrtschiff in der Regel zwei besitzt. Deren Verbrauch fließt in die Emissionsbestimmung mit ein. Sollte der nicht bekannt sein, wird ein Leistungsvermögen von 12 % von dem der Dieselmotoren angenommen.

#### 4.3.3 Treibstoff

Der eingesetzte Treibstoff hat Auswirkungen auf die Menge der gasförmigen Emissionen. Dieselmotoren können mit Dieselkraftstoffen (MDO) und mit Schwer- und Heizölen (HFO) betrieben werden. Gasturbinenantriebe müssen mit MDO betrieben werden.

Aus Kostengründen verwenden die Reedereien – so technisch möglich – HFO. Dieses ist das aus dem Raffinerieprozess von Erdöl stammende Restöl mit allen darin enthaltenen Verschmutzungen. Es wird mit Dieselöl gemischt und ist somit ein Mischbrennstoff. Es weist einen im Vergleich zu MDO erhöhten Schwefelanteil auf, daher entstehen bei der Verbrennung verstärkt Schwefeloxide  $SO_x$  und Russpartikeln. Weiterhin besitzt HFO eine höhere Viskosität als MDO, d.h. es ist nur bei

Temperaturen um 150 °C pumpfähig und muss deshalb beheizt werden. Dies bedingt einen teilweise einen höheren Energieeinsatz, was sich in der Leistungsbilanz des Schiffes niederschlägt.

	<b>DMX</b>	<b>DMA</b>	<b>DMB</b>	<b>DMC</b>
Einsatzgebiet	Notdiesel & Rettungsbootmotoren	Gasturbinenantrieb, Schiffsdiesel	Schiffsdiesel	Schiffsdiesel
Flammpunkt	43 °C	60°C	60°C	60°C
Viskosität bei 40 °C	min. 1,40 mm <sup>2</sup> /s max. 5,50 mm <sup>2</sup> /s	min. 1,50 mm <sup>2</sup> /s max. 6,00 mm <sup>2</sup> /s	max. 11,0 mm <sup>2</sup> /s	max. 11,0 mm <sup>2</sup> /s
maximaler Schwefelanteil	1,0 %	1,5 %	2,0 %	2,0 %

**Tabelle 4: Auszug aus der Spezifikation der MDO nach ISO 8217**

	<b>Flammpunkt</b>	<b>Viskosität</b>	<b>maximaler Schwefelanteil</b>
RMA 30, RMB 30	60 °C	30 mm <sup>2</sup> /s	3,5 %
RMD 80	60 °C	80 mm <sup>2</sup> /s	4,0 %
RME 180, RMF 180	60 °C	180 mm <sup>2</sup> /s	4,5 %
RMG 380, RMH 380, RMK 380	60 °C	380 mm <sup>2</sup> /s	4,5 %
RMH 700, RMK 700	60 °C	700 mm <sup>2</sup> /s	4,5 %

**Tabelle 5: Auszug aus der Spezifikation der HFO nach ISO 8217**

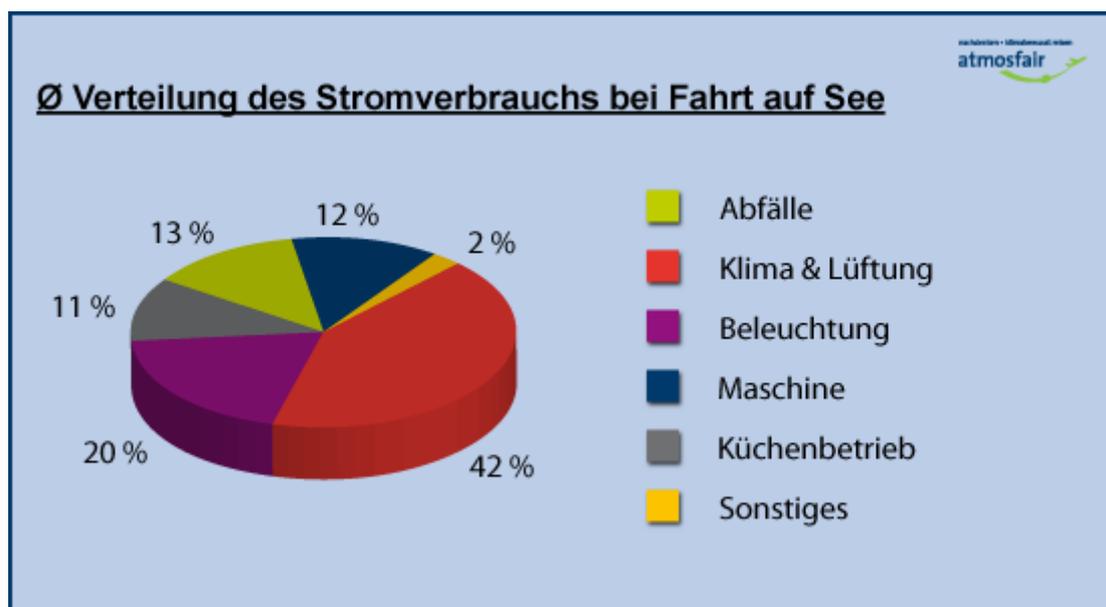
Je nach verwendetem Treibstoff variieren also die NO<sub>x</sub>-, SO<sub>x</sub>- und Rußemissionen. Diese werden aber im Rahmen des Emissionsrechners nicht betrachtet. Die Menge des ausgestoßenen CO<sub>2</sub> hängt vom Verbrauch des Schiffes sowie dem Kohlenstoffgehalt des Treibstoffes ab. Dieser ist in allen Brennstoffen, die in der Schifffahrt zum Einsatz kommen, nahezu gleich. Somit trifft der Emissionsrechner keine Unterscheidung hinsichtlich des eingesetzten Treibstoffes.

#### 4.3.4 Verbraucher

Über Leistungsüberträger wird die von den Leistungserzeugern erzeugte Energie den Verbrauchern zu geführt. Fährt das Schiff auf hoher See, werden davon ca. 50 - 70 % für den Vortrieb, sprich den Betrieb der Propeller sowie der Maschinenhilfssysteme benötigt. Die restlichen 30 - 50 % gehen in den Hotelbetrieb an Bord. Werden seitens der Reederei technische Maßnahmen

ergriffen, um den Treibstoffverbrauch zu senken (z.B. LED – Lampen, Stromgewinnung durch Photovoltaik, Optimierungen am Rumpf), spiegelt sich das unmittelbar in der Leistungsbilanz nieder: die entsprechenden Posten weisen einen geringeren Leistungsbedarf auf.

Die genaue Verteilung des Strom- und Dampfbedarfs gibt die Leistungsbilanz des jeweiligen Kreuzfahrtschiffes wieder. Alle Verbraucher wurden dabei zu folgenden sechs Gruppen zusammengefasst:



**Abbildung 2: elektrische Leistungsbilanz eines Kreuzfahrtschiffs (Quelle: atmosfair 2010)**

Die Verbraucher in der Gruppe Klima & Lüftung und Beleuchtung machen den mit Abstand größten Posten aus. Diese unterliegen auch im Tagesverlauf Schwankungen. Während die Beleuchtung tagsüber zum Teil ausgeschaltet bleibt, wird beispielsweise nachts mangels einfallender Sonneneinstrahlung weniger klimatisiert. Der Emissionsrechner unterscheidet jedoch nicht Tag- und Nachtbetrieb sondern arbeitet auf dieser Ebene auf Basis von Durchschnittswerten. Die Genauigkeit der Ergebnisse wird nicht beeinträchtigt.

Die genaue prozentuale Verteilung des Leistungsbedarfs der jeweiligen Gruppen ist von Schiff zu Schiff unterschiedlich und variiert z.T. erheblich. Soweit die Leistungsbilanzen für das jeweilige Schiff vorliegen, wird mit dieser gerechnet. Der atmosfair-Rechner berechnet für jeden dieser Posten den absoluten Verbrauch und legt diesen auf die Passagiere um. Sollte die Leistungsbilanz nicht bekannt sein, werden Durchschnittswerte von baugleichen oder in Größe und Ausstattung vergleichbaren Schiffen zu Grunde gelegt.

#### 4.4 Der Fahrtzustand des Schiffes

Der Fahrtzustand des Schiffes hat entscheidenden Einfluss auf dessen Treibstoffverbrauch. Prinzipiell kann sich ein Schiff in verschiedenen Zuständen befinden:

- Fahrt auf See
- Revierfahrt
- Manövrieren im Hafen
- Liegen im Hafen

Je nach Fahrtzustand befinden sich die Hauptmaschinen (Vortrieb), Hilfsdiesel (Strom) und Hilfskessel in verschiedenen Laststufen, was unterschiedliche Verbrauchswerte zur Folge hat:

	Hauptmaschine	Hilfsdiesel	Hilfskessel
<b>Fahrt auf See</b>	Volllast	Volllast	aus
<b>Revierfahrt</b>	Teillast (vorgeschriebene Geschwindigkeit)	Volllast	aus
<b>Manövrieren im Hafen</b>	Teillast	Volllast	aus
<b>Liegen an der Pier</b>	Aus	Teillast	Volllast

**Tabelle 6: allgemeine Laststufen der Maschinen bei verschiedenen Fahrtzuständen**

Die genauen Laststufen je Schiff stammen – soweit möglich - aus den operativen Daten verschiedener Reedereien. Bei anderen Schiffen wurden die durchschnittlichen Laststufen anhand der gefahrenen Geschwindigkeiten berechnet. Für die restlichen Fälle wurden Standardwerte aus der Literatur verwendet.

#### 4.5 Die Nutzflächen an Bord

Auf den heutigen Kreuzfahrtschiffen existieren keine Passagierklassen mehr. Durch den Wandel der Kreuzfahrt vom Luxus- zum Massenmarkt fielen die Klassen weg. Somit stehen an Bord der Schiffe alle Einrichtungen (auch die aufpreispflichtigen) allen Passagieren zur Nutzung offen. Die Differenzierung erfolgt nur noch über die Kabinenkategorie und deren Preis. Daraus resultiert für den Emissionsrechner, dass durch Freizeit- und Entertainmenteinrichtungen verursachte Emissionen auf alle Passagiere umgelegt werden müssen.

Generell betrachtet der Emissionsrechner folgende Nutzbereiche an Bord eines Kreuzfahrtschiffes:

- Maschinenbereich
  - Motoren und Antriebs- bzw. Vortriebsanlagen
  - Ver- und Entsorgungseinrichtungen
  - Frischwasser- und Abwassertanks
  - Bunkeranlagen für Treibstoff
  
- Crew- und Arbeitsbereiche
  - Crewunterkünfte, Crewbar und –disco
  - Küchen und Proviantlager
  - Büros
  - Bordwäscherei und Servicebereiche
  - Brücke, Funk – und Navigationseinrichtungen
  
- Freizeit- und Entertainmentbereich
  - Speisesäle, Bars und Restaurants
  - Bade- und Poollandschaft, Sonnendecks
  - Einkaufsmöglichkeiten
  - Sporteinrichtungen
  - Kinos, Bibliotheken, Theater, Eislaufarena, Kletterwände, Wald
  
- Aufzüge, Treppenhäuser, Korridore

Die durch den Betrieb oben genannter Bereiche entstehenden Emissionen werden durch den Emissionsrechner bestimmt und verursachungsgerecht auf die Kabinen und Passagiere verteilt.

#### **4.6 Die Kabinen und Kabinenklassen**

Bei Schiffskabinen gibt es, im Gegensatz zu Transportmitteln wie Flugzeug, Auto oder Bahn im Hinblick auf Anzahl, Größe, Ausstattung weitaus weniger Einschränkungen. Letztlich wird das Kabinenlayout an Bord eines Kreuzfahrtschiffes nicht durch technische Notwendigkeiten (Gewicht, Platz, Energiebedarf) bestimmt sondern durch das Marketingkonzept sowie das Kundenprofil der jeweiligen Reederei.

Der Einfluss der Anzahl der Kabinen sowie der Anzahl der Passagiere an Bord auf den absoluten Verbrauch sind gering. Berechnungen am Beispiel mehrerer Kreuzfahrtschiffe haben ergeben, dass

auf baugleichen Kreuzfahrtschiffen der Verbrauchsunterschied zwischen den Schiffen der Luxusklasse (wenige große Kabinen) und den Schiffen des Family – Segments (viele kleine Kabinen) ca. 1 – 3 % beträgt.

Die Kabinen, die an Bord von Kreuzfahrtschiffen den Passagieren zur Verfügung stehen, sind in den meisten Fällen in verschiedene Preiskategorien eingeteilt. Die Unterteilung sowie der Preis werden bestimmt von Platz, Lage und Aussicht der Kabine. Der untersten und damit preiswertesten Kategorie gehören meistens innen liegende Kabinen auf den tieferliegenden Decks an. Je größer die Nähe zu öffentlichen Einrichtungen wie Restaurants oder Aufzügen, je höher die Unterkunft liegt und je größer sie ist, umso höher deren Kategorie und Preis.

Die Anzahl der Kabinentypen und Kabinenkategorien variieren von Reederei zu Reederei und von Schiff zu Schiff. Auf der „Independence of the Seas“ sind es beispielsweise 23 verschiedene Kabinenkategorien, die ein Passagier auswählen und buchen kann. Also müssten für dieses Schiff 23 verschiedene Kabinenarten hinterlegt werden, was die Nutzung des Emissionsrechners verkompliziert und die Datenpflege erschwert. Zudem ändern sich nach Umbauarbeiten am Schiff oft die Bezeichnungen sowie die Anzahl der Kabinen und der Kabinenkategorien, wodurch die Aktualität der Daten leiden würde. Unterzieht man das Kabinenangebot der Kreuzfahrtschiffe bzw. der Reedereien einer genaueren Analyse, lassen sich die verschiedenen Kategorien zu folgenden fünf zusammenfassen:

<b>Kategorie</b>	<b>Beschreibung</b>
Innenkabine	innen liegende Kabine ohne Fenster oder Bullauge
Außenkabine mit Fenster	Kabine mit Fenster oder Bullauge, oder mit Zugang zu einem Panoramagang
Balkonkabine	außen liegende Kabine mit separaten Balkon
Suite	Außen liegende Kabine (mit Balkon oder ohne), die exklusivere Ausstattung, größere Fläche und bessere Lage als Innen-, Außen- und Balkonkabinen haben
Penthouse Suite	Exklusive Kabinen, meist im Bereich von 100 – 300 qm und mit mehreren Räumen ausgestattet, oft auch über mehrere Etagen (Loft)

**Tabelle 7: Kabinenkategorien des Emissionsrechners**

Die Anzahl, Größe und Kategorie jeder Kabine ist für jedes Schiff hinterlegt. Somit können alle Kabinen eines Schiffes werden zu diesen Kategorien zusammengefasst werden. Auf Basis dieser Vereinfachung werden die absoluten Emissionen verursachungsgerecht auf die Kabinen und Passagiere umgelegt.

Im Gegensatz zu Flugzeug oder Bahn, wo ein Sitz einen Passagier bedeutet, können in Schiffskabinen bis zu 6 Personen untergebracht sein. Daher werden folgende Fälle berücksichtigt:

- Standardkabine: Standarddoppelbelegung, die Kabine verfügt über 2 Betten, es wird bei der Emissionsbestimmung von 2 Personen ausgegangen
- Mehrbettkabine: hier sind die Anzahl der Betten angegeben. Es sind z. B. 1-Bett-Kabinen bis 6-Bett-Kabinen möglich. Bei der Emissionsbestimmung wird von der jeweiligen Anzahl der Personen ausgegangen.
- Zustellbetten: gibt die Anzahl der Zustellbetten innerhalb der Kabine an. Hier wird je zugebetteten Passagier zu den Emissionen der Standardbelegung (2 Personen) der jeweilige Passagieranteil hinzugerechnet und dann durch die Anzahl der Passagiere geteilt.

Letzterer Fall stellt den „günstigsten“ für die Passagiere dar, d.h. hier sind die Emissionen je Passagier am geringsten.

#### **4.7 Zustellbetten**

Für viele Kabinen besteht seitens der Reederei die Möglichkeit, Zustellbetten zu buchen. In diesem Fällen werden, je nach Reederei, Betten aus der Wand heruntergeklappt, Couchen als Schlafgelegenheit hergerichtet oder Betten von außerhalb zugestellt. Wird aufgebettet, befinden sich dort mehr als zwei Personen auf der Kreuzfahrt, wodurch der Kabine mehr Emissionen zugeordnet werden müssen, als eine gleiche mit Doppelstandardbelegung.

Der Emissionsrechner geht davon aus, dass Zubettung immer zusätzlich gebucht wird, d.h. beispielsweise vier Passagiere nicht aus Kostengründen eine anstatt zwei Kabinen buchen. Einerseits ist der gesparte Geldbetrag gering, andererseits trübt das u.U. im erheblichen Umfang das Reisevergnügen.

Wählt der Nutzer die Option „Zustellbetten“ aus, wird dem berechneten CO<sub>2</sub> Wert der Kabine diejenige Menge an CO<sub>2</sub> zuaddiert, die durch den zusätzlichen Passagier anfällt. Dies umfasst Posten wie z.B. den erhöhten Reinigungsaufwand, die zusätzliche Menge an Müll oder den Mehrbedarf der Küche. Die Werte können aus der CO<sub>2</sub> – Berechnung abgelesen (vgl. Punkt 5) werden oder sind anhand von Literatur pauschal abgeschätzt worden.

## **4.8 Die Auslastung der Kabinen**

Das Verhältnis von gebuchten Kabinen an Bord zu Anzahl vorhandener Kabinen an Bord wird Auslastung genannt. Wie die Anzahl der Kabinen an Bord hat die „Masse“ der Passagiere kaum Einfluss auf die Höhe der absoluten Emissionen. Berechnungen zeigen, dass der Gewichtsunterschied zwischen 0 % sowie maximaler Auslastung (Personen, Gepäck, Treibstoff, Vorräte etc.) 2 – 4 % beträgt.

Die Auslastung der einzelnen Kreuzfahrtschiffe kann schwanken. Je nach bedientem Marktsegment und Region variiert die Anzahl der Buchungen. Die Reedereien steuern diesem Umstand entgegen, in dem Kreuzfahrten je Jahreszeit oder Urlaubssaison durchgeführt werden. Beispielsweise fahren im europäischen Markt im Winter viele Schiffe im Mittelmeerraum usw. Der Emissionsrechner nimmt derzeit bei den Hybridschiffen eine Auslastung von 100 % an, die die Realität von 90% annähert.

## **4.9 Wie wird das Streckenprofil der jeweiligen Kreuzfahrt berücksichtigt?**

Das Streckenprofil einer Kreuzfahrt hat entscheidenden Einfluss auf die Höhe der Emissionen einer Kreuzfahrt, da je nach Profil die verschiedenen Fahrtzustände des Schiffes anzutreffen sind. Tendenziell weisen Kreuzfahrten mit vielen Hafenanläufen eine bessere CO<sub>2</sub> – Bilanz auf als Beispielsweise Atlantiküberquerungen, da der Verbrauch eines Schiffes im Hafen signifikant geringer ist.

Kreuzfahrten als touristische Reisen haben kein Ziel wie Frachttransporte, sondern werden auf Basis von Tagen gebucht. Daher benötigt der Emissionsrechner keine Entfernungsbestimmung sondern die Verbräuche des Schiffes je Fahrtzustand je vollen Tag. Diese sind im Emissionsrechner für jedes Schiff hinterlegt.

Jede Kreuzfahrt, die man als Urlauber buchen kann, hat ein vorher einsehbares Profil mit Anzahl der Anläufe feststehender Häfen sowie die Anzahl der Tage „Erholung auf See“.

Letztere werden im Emissionsrechner als voller Tag auf See berücksichtigt.

Hafenaufenthalte dienen dazu, den Passagieren Landausflüge zu ermöglichen, daher laufen die Schiffe morgens bzw. vormittags in den Hafen ein und verlassen diesen am Nachmittag bis frühen Abend wieder. Selten verbleibt ein Schiff mehrere Tage im Hafen. Die Ein- und Auslaufzeiten sind von Hafen zu Hafen unterschiedlich, zudem kommen durch wetterbedingte Faktoren sowie Verzögerungen wegen erhöhtem Verkehrsaufkommen oder Wartezeiten wegen Lotsen hinzu. Die genaue Verweilzeit im Hafen zu berücksichtigen, ist angesichts der vielen Hundert Häfen

unmöglich, daher werden hier Durchschnittswerte zu Grunde gelegt. Die Revierfahrt von und zum Hafen wird ebenfalls mit durchschnittlichen Werten berücksichtigt. Auch hier ist auf Grund der Fülle an Revierlängen und vorgeschriebenen Geschwindigkeiten eine genaue Betrachtung ausgeschlossen.

Hafen	Länge der Seezufahrt in Seemeilen	Ø Dauer der Revierfahrt (h)
Hamburg	77	5:30
Bremen Stadt	66	5:46
Emden	40	3:30
Stralsund	36	4:00
Bremerhaven	32	2:36
Wismar	15	2:00
Rostock	3	0:30

**Tabelle 8: Reviere verschiedener deutscher Häfen**

Neben Verbrauch bei Liegen im Hafen und Revierfahrt kommt bei Tagen mit Hafenaufhalten noch die Fahrtzeit auf hoher See hinzu. Nach Analyse der angebotenen Kreuzfahrten verschiedener Reedereien ergibt sich folgendes Bild:

- Tage „Erholung auf See“: 24 Stunden Verbrauch des Schiffes auf hoher See
- Tage mit Landaufenthalt: Ø 9 h Liegezeit im Hafen, Ø 2 h Revierfahrt, Ø 13 h Fahrt auf hoher See
- An- und Abreisetag gelten dabei als jeweils halber Hafentag, da nur dort das Ein- und Aussteigen möglich ist.

Das Streckenprofil und somit die Tage im Hafen bzw. Tage auf See einer jeden Kreuzfahrt sind dem Kreuzfahrtreisenden bekannt und können von diesem eingegeben werden. Anhand dieser Eingaben und dem o. g. Verteilungsschlüssel werden die individuellen CO<sub>2</sub> – Emissionen des Passagiers für diese Kreuzfahrt bestimmt.

#### **4.10 Wetter & Strömung**

Wie bei jedem Fahrzeug haben auch bei Schiffen die Umweltbedingungen Einfluss auf den Treibstoffverbrauch. Meeresströmungen, Winde und Unwetter können die Fahrt des Schiffes

beeinflussen. Jedoch ist davon auszugehen, dass Reedereien die Routen ihrer Kreuzfahrtschiffe derart planen, dass derartige Einflüsse minimiert werden. Das geschieht nicht nur aus ökonomischer Sicht im Hinblick auf Treibstoffkosten, permanent schlechtes Wetter oder raue See trüben das Vergnügen der Passagiere an der Reise.

Ganz auszuschließen vermag die Routenplanung Wetter und Meereseinflüsse natürlich nicht. Da sie nicht konstant auftreten, werden sie für den Emissionsrechner nicht gesondert betrachtet.

#### **4.11 Winter- & Sommerbetrieb**

Einen nicht unerheblichen Einfluss auf den Stromverbrauch eines Kreuzfahrtschiffes hat die Frage, ob es in Regionen mit Winter – oder Sommerwetter unterwegs sind. Im Sommerbetrieb bspw. muss die Klimaanlage verstärkt kühle Luft zur Verfügung stellen, was einen höheren Energiebedarf als der Heizbetrieb an Bord eines Schiffes bedeutet. Der Grund hierfür ist: Die Wärmebedarfe können im Seebetrieb aus den Abgasen der Dieselmotoren gedeckt werden, während Kühlbetrieb verstärkt Strom für den Betrieb der Kältemittel - Kompressoren benötigt. Andererseits muss im Sommer die Außenbeleuchtung sowie teilweise die Kabinenbeleuchtung weniger in Anspruch genommen werden, da das Sonnenlicht länger zur Verfügung steht.

Viele Kreuzfahrtschiffe sind für den Betrieb in den warmen Regionen der Erde konzipiert und werden selten bis gar nicht im Winterbetrieb betrieben. Nur bei einem Teil der Schiffe ist ein Wechselbetrieb vorhanden, bei diesen wurde die elektrische Leistungsbilanz entsprechend angepasst.

## **5. Wie werden die absoluten Emissionen auf die Passagiere verteilt?**

Die Methode des Kreuzfahrtemissionsrechners stellt eine möglichst genaue verursachungsgerechte Zuordnung der CO<sub>2</sub> – Emissionen an Bord eines Kreuzfahrtschiffes sicher. Alle notwendigen Eingaben seitens des Nutzers können von diesem aus den Buchungsdaten der Kreuzfahrt entnommen werden.

Der Emissionsrechner betrachtet lediglich die Emissionen, die beim Verbrennen des Treibstoffs in den Motoren und Kesseln entstehen. Abgase aus eventuell vorhandenen Müllverbrennungsanlagen werden nicht betrachtet. Emissionen aus CO<sub>2</sub> – Feuerlöschanlagen oder Kühlmitteln bleiben ebenfalls unberücksichtigt, ebenso die anderen gasförmigen und betriebsbedingten Emissionen.

### **5.1 Umlage der absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf CO<sub>2</sub> pro Passagier**

Diese Umlage erfolgt in zwei Stufen:

- Stufe 1, Auslastung auf Ebene der Kabinen: Dies gibt das Verhältnis von belegten Kabinen zu vorhandenen Kabinen an. Der Wert beträgt in der Realität um 90% und wird derzeit von atmosfair konservativ zugunsten der Kreuzfahrt mit 100% angenommen.
- Stufe 2, Auslastung innerhalb der Kabine: Diese gibt an, auf wie viele Menschen sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen einer Kabine verteilen.

Auf Schiffen können die Unterkünfte von einzelnen oder mehreren Personen belegt werden. Einzelkabinen sind ebenso vorzufinden wie Familienkabinen für vier Passagiere oder Penthouse – Suiten mit drei separaten Schlafzimmern für insgesamt sechs Personen. Viele Reedereien bieten Doppelkabinen mit Aufbettung für eine dritte und vierte Person an.

Daher berechnet die Methode im ersten Schritt den Verbrauch je Kabine. Dieser wird in einem zweiten Schritt auf die Anzahl der darin reisenden Personen verteilt.

## 5.2 Verteilungsschlüssel in der Umsetzung des atmosfair-Rechners

Der Verteilungsschlüssel folgt folgendem Schema:

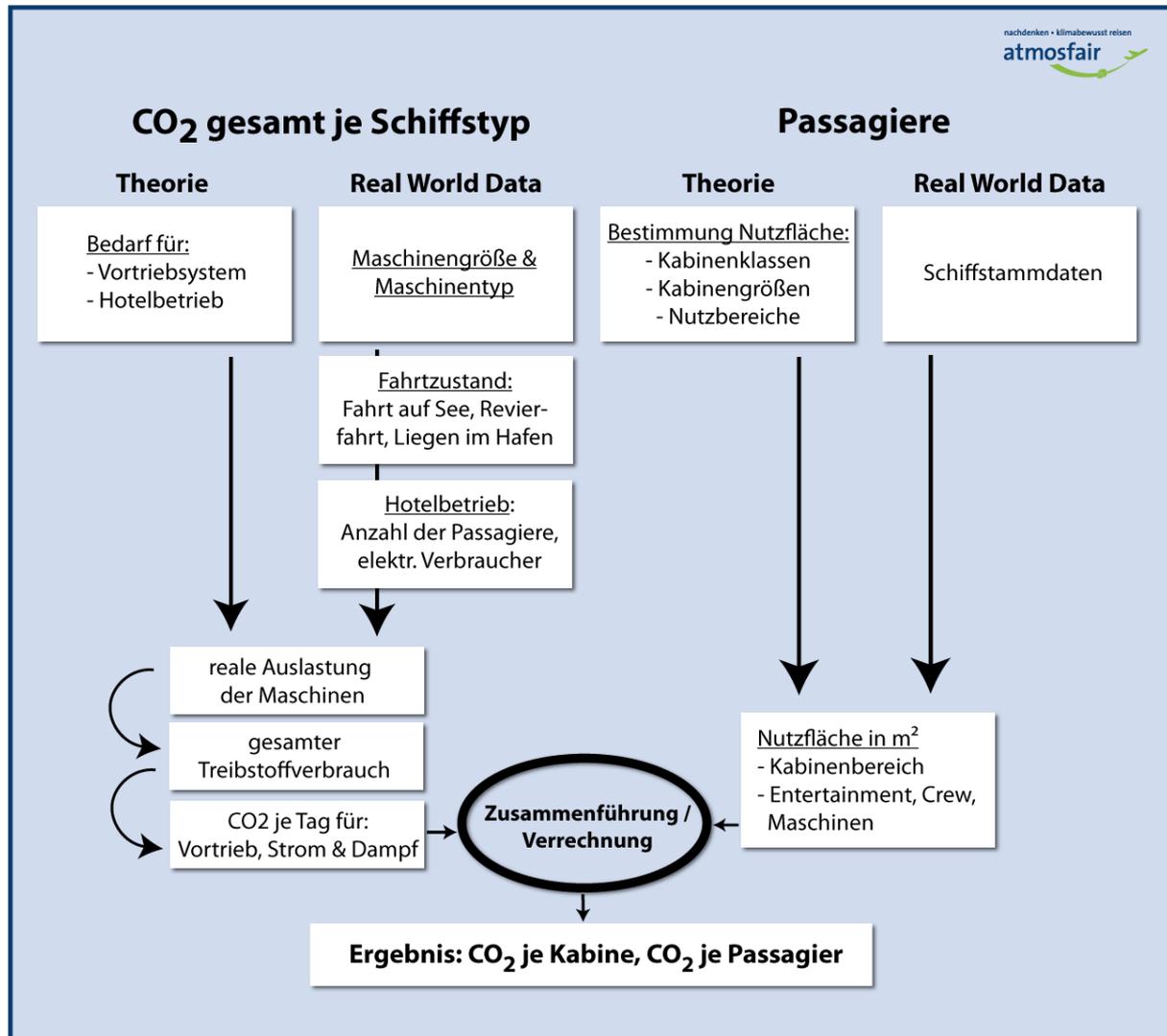


Abbildung 3: Verteilungsschema der CO<sub>2</sub> Emissionen auf die Passagiere (Quelle: atmosfair 2010)

Für die erste Stufe werden die absoluten Emissionen je Fahrtzustand in Abhängigkeit der für das Schiff hinterlegten technischen Daten für den Vortrieb sowie den Hotelbetrieb bestimmt. Je nach Verteilung der Nutzflächen an Bord des Schiffes wird für jede Kabinenklasse (vgl. 4.6) ihr Anteil an den Emissionen in Abhängigkeit ihrer Größe ermittelt. Dabei wird von 100% belegten Kabinen ausgegangen (ob die Kabine voll oder nur teilweise belegt ist kommt in der zweiten Stufe zu tragen). Somit erhält man einen Wert kg CO<sub>2</sub> je Tag je Kabine je Fahrtzustand.

Dieses CO<sub>2</sub> je Kabine je Tag und Fahrtzustand wird mit dem eingegebenen Kreuzfahrtprofil (Hafentage vs. Fahrttage) verrechnet und liefert die CO<sub>2</sub> – Emissionen einer Kabine für die gesamte Kreuzfahrt.

In der zweiten Stufe wird das CO<sub>2</sub> pro Kabine umgelegt auf die gebuchten Betten und damit Personen in der Kabine. Hier geht also ein, wenn eine Kabine zwar 5 Betten hat, aber nur eine Person bucht (diese würde dann dennoch die Emissionen für die vier leeren Betten mit verantworten). Je nachdem ob Zubettung gebucht wurde, erhöht sich der Wert entsprechend.

Diese Stufe bringt also das gewünschte Endergebnis von CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Passagier für die gesamte Kreuzfahrt.

## 6. Wie genau sind die Ergebnisse?

### 6.1 Unsicherheitsfaktoren

Folgende Unsicherheitsfaktoren sind bei der Bestimmung der CO<sub>2</sub> – Emissionen vorhanden:

- Gefahrene Geschwindigkeit (hoch)
- Laststufen der Maschinen (hoch)
- Passagierauslastung (mittel bis gering)
- Hybridschiffe (mittel)

### 6.2 Wie beeinflusst die Auslastung der Maschinen und die gefahrene Geschwindigkeit die Höhe der absoluten Emissionen?

Einen erheblichen Einfluss auf die Emissionen hat die gefahrene Geschwindigkeit des Schiffs. Das Schwanken der Geschwindigkeit zwischen Maximalgeschwindigkeit und langsamer Fahrt verbraucht mehr Treibstoff als das konstante Fahren einer durchschnittlichen Geschwindigkeit.

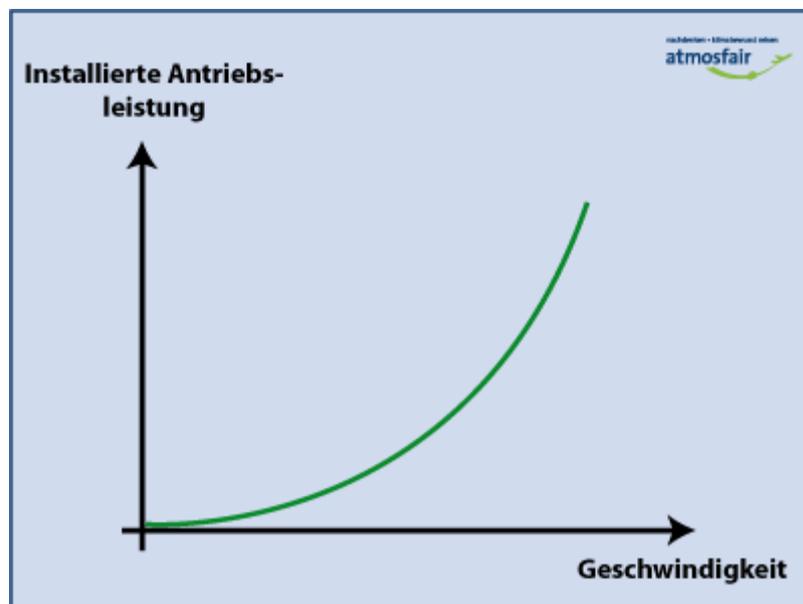


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und notwendiger Antriebsleistung

Je nach Streckenprofil variieren die Entfernungen zwischen den anzulaufenden Häfen stark, d.h. auch die notwendige Geschwindigkeit und somit die Emissionen des Schiffes können abweichen.

Angesichts der vielen angebotenen Kreuzfahrten, der wechselnden Streckenprofile sowie weiterer Unwägbarkeiten wie Wind, Strömung und Wetterlage wäre eine genaue Berücksichtigung der jeweiligen gefahrenen Geschwindigkeit nur mit größtem Aufwand verbunden. Daher scheint eine Herangehensweise mit Durchschnittswerten angemessen. Um den Fehler zu minimieren, verwendet der atmosfair-Rechner für die Laststufen ein mehrstufiges Verfahren:

1. Operative Daten der Reedereien, falls nicht möglich
2. Ableiten der Laststufen, falls nicht möglich
3. Literaturwerte

### **6.3 Wie beeinflusst die Passagierauslastung die Emissionen je Passagier?**

Die Anzahl der Passagiere an Bord haben nur einen geringen Einfluss auf die Höhe der absoluten Emissionen. Ein Großteil des Verbrauchs für den Vortrieb sowie den Hotelbetrieb würden auch anfallen, wäre das Schiff nur minimal ausgelastet. Ein dauerhafter Betrieb mit niedrigen Passagierzahlen wäre für die Reederei ökonomisch nicht sinnvoll und wird daher in der Realität, von Ausnahmen abgesehen, nicht eintreten. Der Unterschied in der absoluten Höhe der CO<sub>2</sub> – Emissionen bei Passagierauslastungen zwischen 0 % und 100 % beträgt bei allen betrachteten nur Schiffen 2 – 5 %.

Im momentanen Status geht der Emissionsrechner von einer 100 % Auslastung aus, d.h. es wird angenommen dass alle Kabinen auf der Kreuzfahrt belegt sind. Die relativen Emissionen je Kabine und Passagier werden dadurch niedriger ausfallen, als sie es in Wirklichkeit sind. Dies ist auch der Verwendung der Hybridschiffe geschuldet. Der Fehler ist aber gering, da die Annahme gut mit den ökonomischen Vorgaben der Betreiber übereinstimmt. Die Auslastung auf der Kabinenebene in der nächsten Version mit integriert.

Die wesentlich wichtigere Auslastung innerhalb der Kabine wird im Emissionsrechner voll berücksichtigt.

## 7. Schiffsdaten

Die Datenbank enthält Schiffsstammdaten von 210 Kreuzfahrtschiffen von folgenden 37 Reedereien:

AIDA, Carnival, Celebrity Cruises, CIC, Color Line, Compagnie du Ponant, Costa, Crystal Cruises, Cunard Line, Fred Olsen Cruises, Hansa Kreuzfahrten, Hapag Lloyd, Holland America Line, Hurtigruten, Cruise West, Karlsen Shipping, Kristina Cruises, Louis Cruise Lines, MSC, Norwegian Cruise Line, Oceana Cruises, Oceanwide Expeditions, P&O Cruises, Peter Deilmann Reederei, Princess Cruises, Quark Expeditions, Regent Seven Sea Cruises, Royal Caribbean Cruise Line, Seabourne Cruise Line, Silversea Cruises, Star Cruises, Thomson Cruises, TUI, Disney Cruise Line

## 8. Literaturverzeichnis

- Batley, Diane (2004): Harboring Pollution – The Dirty Truth about U.S: Ports; Study for National Resources Defense Council, March 2004
- Bojanowski, Axel (2010): Staaten versagen beim Meeresschutz; In: Spiegel Online <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/0,1518,675899,00.html>, 04.01.2010
- Brand, Manfred / Höth, Thomas (1999): MARION - Umweltrelevantes Informations- und Analysesystem für den Seeverkehr; Forschungsbericht UBA FuE-Vorhaben: FKZ 102 40 302, Hansestadt Bremisches Hafenamts (HBH), November 1999
- Cengiz, Réne / Hartmann, Tobias / Würsig, Gerd / Plump, Ralf (2008): Verringerung der Emissionen von Kreuzfahrtschiffen in Hamburg; Bericht Nr. ERD 2008.060, Hamburg, Januar 2008
- Detlefsen, Gert Uwe (2006): *Detlefsens illustriertes Schiffsregister 2006/2007*; Rostock, Verlag Gert Uwe Detlefsen
- Douvier, Stefan Wendelin (2004): MARPOL – Technische Möglichkeiten, rechtliche und politische Möglichkeiten eines internationalen Abkommens; Dissertation an der Universität Bremen FB 7, Januar 2004
- Eyring, V. (2005): Emissions from international shipping: 1. The last 50 years. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* (2005)
- Fridell, Erik / Löfblad, Gun (2006): *Experiences from use of some techniques to reduce emissions from ships*; Report to Swedish Maritime Administration, Göteborg, Mai 2006
- Hager, Martin (2006): *Die Nase macht den Unterschied*; In: Boote Exklusiv 3/06 S. 96 – 102
- Hassellöv, Ida-Maja (o.J.): *Die Umweltauswirkungen des Schiffverkehrs*; Studie im Auftrag von Michael Cramer MdEP, Europäisches Parlament, Die Grünen/EFA
- Hellwig, Udo (2008): *Energetische Abfallnutzung auf Schiffen*; In: „Mensch & Technik“ Nr. IV/2008 S.12
- Hochhaus, K.-H (1996): *Handbuch der Werften, Band 23*, Schiffahrtsverlag Hansa, Hamburg, 1996
- Kätscher, Ralf / Ranke, Johannes / Bergenthal, Markus (1999): *Vorstudie zum Bewuchsschutz für Schiffe*; Studie im Auftrag des Senators für Frauen, Gesundheit, Jugend, Soziales und Umweltschutz der Freien Hansestadt Bremen, Bremen, 1999
- Kageson, Per (2009): Linking CO2 Emissions from International Shipping to the EU *Emissions Trading Scheme*; Report No. (UBA-FB) 001085, Umweltbundesamt, 24/2009
- Kaiser, Arndt (o.J.): *Ver- und Entsorgung auf Schiffen*; Vortragsmanuskript, Aachen
- Karle, Ida-Maja / Turner, David (2007): *Seawater Scrubbing – Reduction of Cox emissions from ship exhaust*; report for the alliance for global sustainability, Göteborg, 2007

Lavender (1999): *Marine Exhaust Emissions Quantification Study – Mediterranean Sea*; Final Report Number 99/EE/7044 for European Commission, DG XI Environment, Nuclear Safety and Civil Protection, December 1999

Meier-Peter, Hansheinrich / Bernhardt, Frank (2008): *HANDBUCH Schiffsbetriebs-technik*; 2. Auflage, Hamburg, Seehafen Verlag

o.V. (2008): *Quantifizierung von gasförmigen Emissionen durch Maschinenanlagen der Seeschifffahrt an der deutschen Küste*; Studie für die Aktionskonferenz Nordsee e.V. von der GAUSS mbH, Bremen, Januar 2008

o.V. (2006): *Schiffstechnik und Schiffsbau-technologie*; 2. Auflage, Hamburg, Seehafen Verlag

o.V. (2008): *Schiffswiderstand und Vortrieb*; Lehrmaterial der Lehranstalt Gewerblichen Bremerhaven, Ausbildungsmaterial für Konstruktionsmechaniker Schiffbau, Mai 2008

Skjølsvik, K.O., et al. (2000): *Study of greenhouse gas emissions from ships*", IMO MEPC 45/8 (2000)