

LUFTHYGIENEAMT BEIDER BASEL / SCHWEIZERISCHE RHEINHÄFEN

LUFTSCHADSTOFFEMISSIONEN DER SCHIFFFAHRT IN DEN KANTONEN BASEL-STADT UND BASEL- LANDSCHAFT

AKTUALISIERUNG 2010 / 2015 / 2020

Schlussbericht

Bern, 5. Juni 2012

Mario Keller, Martin Schmied

7219A_SCHIFFSEMISSIONEN_BSBL_V2.DOCX



INFRAS

INFRAS

MÜHLEMATTSTRASSE 45
CH-3007 BERN
t +41 31 370 19 19
f +41 31 370 19 10
BERN@INFRAS.CH

BINZSTRASSE 23
CH-8045 ZÜRICH

WWW.INFRAS.CH

INHALT

Zusammenfassung	3
1. Ausgangslage und Zielsetzung	6
2. Methodik und Grundlagen	6
2.1. Berechnungsansatz	6
2.2. Verkehrsmengengerüst	9
2.2.1. Schiffsbewegungen 2010/2011	9
2.2.2. Schiffsbewegungen 2015 bzw. 2020	12
2.3. Schadstoff-Palette	13
2.4. Ergänzende Annahmen für die Emissionsberechnungen	14
2.5. Geographische Zuordnung	16
2.6. Emissionsfaktoren	17
2.6.1. Emissionsfaktoren für 2010	18
2.6.2. Emissionsfaktoren 2015 bzw. 2020	19
3. Ergebnisse	23
3.1. Übersicht	23
3.2. Vergleich mit den Ergebnissen der Studie aus dem Jahre 2003	26
3.3. Schlussbemerkung	27
Annex	29
Annex 1: Statistische Angaben der Schweiz. Rheinhäfen (Jahr 2011)	29
Annex 2: Geografische Lage	31
Annex 3: Emissionsergebnisse	37
Annex 4: Vergleich der Emissionsergebnisse mit der Vorgängerstudie (2003)	38
Glossar	39
Literatur	40

ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Bericht aktualisiert die Berechnung der Emissionen der Schifffahrt in den Kantonen Basel-Stadt und Basel-Landschaft, welche letztmals im Jahr 2003 durchgeführt wurde. Neu steht das Bezugsjahr 2010 im Vordergrund. Gleichzeitig wird ein Ausblick auf die Jahre 2015 bzw. 2020 gemacht.

Die Methodik wird im Grundsatz aus der Vorgängerstudie übernommen, wenn auch in einigen Punkten die Annahmen neu festgelegt werden mussten. Nach wie vor werden vier Schiffsgruppen unterschieden:

- › Güterschiffe, die ab dem Dreiländereck zu den verschiedenen Zielorten – von den Hafenbecken 1 und 2 bis hinauf nach Rheinfelden – verkehren,
- › Fahrgastschiffe (sog. „Hotelschiffe“),
- › Fahrgastschiffe der Basler Personenschiffahrtsgesellschaft (BPG), welche Hafenrundfahrten wie auch Schleusenfahrten im Kursbetrieb bzw. als Extrafahrten anbieten,
- › private Vergnügungsboote.

Ebenfalls übernommen werden die Unterscheidung nach Emissionsquellen: es wird weiterhin differenziert zwischen Fahrtemissionen („Cruising“), den Emissionen für die Anlegemanöver („Manoeuvring“) sowie die Hafenemissionen („Port“) als Folge der Stromproduktion durch Hilfsaggregate.

Für die Verkehrsmengengerüste standen neue statistische Grundlagen der Schweizerischen Rheinhäfen zur Verfügung. Ebenfalls aktualisiert wurde das Mengengerüst der BPG-Schiffe. Auch verschiedene ergänzende Annahmen wurden aktualisiert, wie etwa die Nennleistungen der Schiffsmotoren, die Lastfaktoren sowie die Einsatzbedingungen (Fahrzeiten zu den verschiedenen Zielhäfen). Diese Angaben wurden im Austausch mit Vertretern der Schweiz. Rheinhäfen festgelegt. Des Weiteren wurden auch die Emissionsfaktoren grundlegend neu bestimmt. Dabei wurden vor allem zwei Quellen herangezogen: einerseits das BAFU-Emissionsinventar zum Off-road-Sektor aus dem Jahr 2008 (BAFU 2008), andererseits eine neuere Studie aus Deutschland zu den Emissionsfaktoren der Binnenschifffahrt (IFEU/Öko-Institut 2011). Die Emissionsangaben lassen sich geografisch fein auflösen, indem sie einzelnen Streckenabschnitten entlang des Rheins bzw. einzelnen Häfen zugeordnet werden.

Ergebnisse

Die Aktualisierung ergibt für das Jahr 2010 einen um rund 37% höheren Treibstoffverbrauch als in der Vorgängerstudie aus dem Jahr 2003 für 2010 erwartet wurde. Auch die NO_x- und PM-Emissionen werden höher veranschlagt (NO_x: + 35%, PM: +8%), während die CO- und HC-

Emissionen auf rund 40% bis 45% geschätzt werden. Der Grund liegt einerseits in höheren Verkehrsmengen wie auch höheren Motorleistungen der Schiffe, andererseits in je nach Schadstoff zum Teil markant modifizierten Emissionsfaktoren.

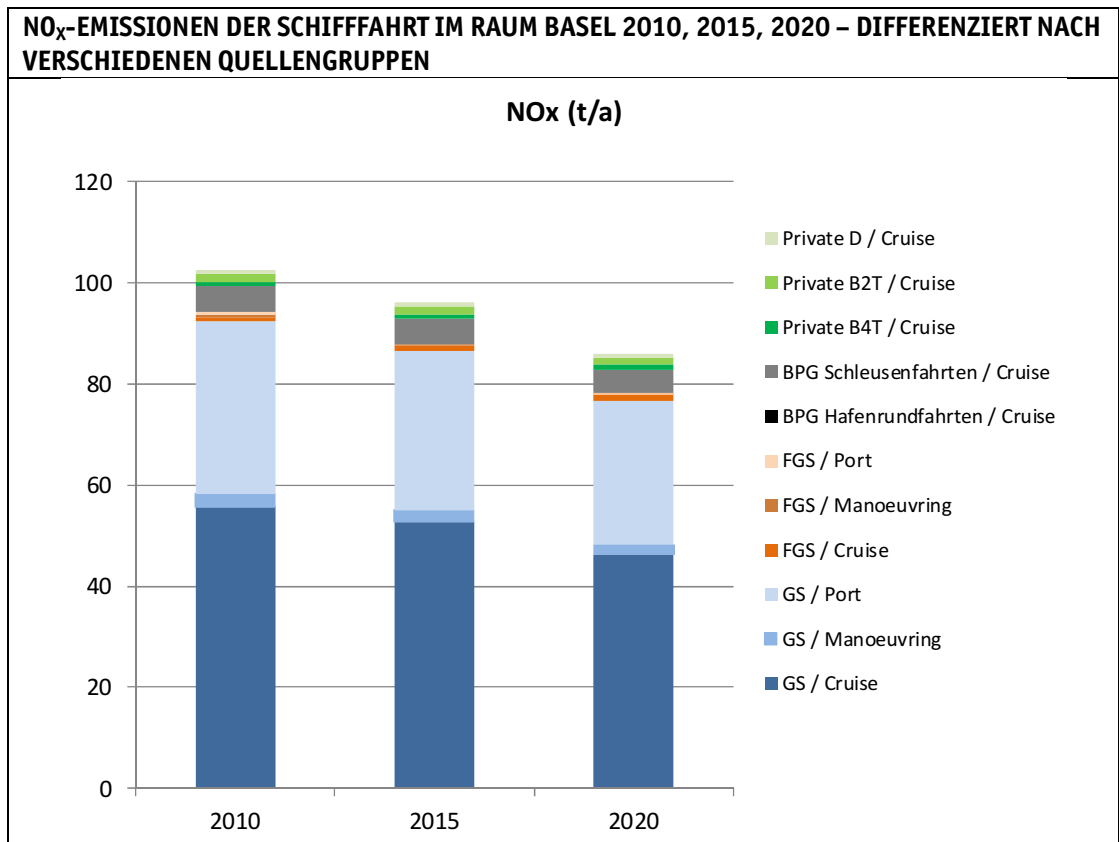
Die nachstehende Grafik zeigt am Beispiel der NO_x -Emissionen die Bedeutung der verschiedenen Emissionsquellen. So sind die Fahrtemissionen der Güterschiffe (in der Grafik als GS bezeichnet) für rund die Hälfte der Emissionen verantwortlich, aber auch die Hafenemissionen (Hilfsaggregate zur Stromproduktion) haben einen signifikanten Anteil an den Gesamtemissionen (rund 33% im Jahr 2010). Gleichzeitig ist aus der Grafik ablesbar, dass die Gesamtemissionen in Zukunft trotz moderatem Verkehrswachstum (Annahme: 1%/a bei Güterschiffen) tendenziell zurückgehen. Dies ist dem Umstand zuzuschreiben, dass über die Flottenerneuerung die Schiffe nach und nach sauberer werden – ein Prozess, der aufgrund langer Lebensdauern der Schiffe allerdings relativ langsam vor sich geht.

Ein höheres Wachstum wird für die „Hotelschiffe“, die in der Grafik mit FGS abgekürzt sind, erwartet (Annahme: Verdopplung bis 2020). Das schlägt aber emissionsseitig nicht stark zu Buche, weil aufgrund landseitiger Stromversorgung diese Schiffe keine direkten Hafenemissionen besitzen und der Anteil an den Fahrtemissionen aufgrund der kurzen Strecken gering ist (rund 2 % in 2010).

Die Fahrgastschiffe der Basler Personenschiffahrtsgesellschaft (BPG) haben im Jahr 2010 einen Anteil von rund 6 % an den gesamten NO_x -Emissionen und liegen damit noch vor den Hotelschiffen. Im Vergleich zu den Emissionen der Güterschiffe ist aber auch die Bedeutung der BPG eher gering. Zukünftig ist trotz leichtem Passagierwachstum (+3% p.a.) mit einem Rückgang der NO_x -Emissionen bis 2020 bei der BPG zu rechnen.

Private Vergnügungsboote tragen mit rund 3 % zu den NO_x -Emissionen des Jahres 2010 bei und liegen damit ebenfalls noch vor den „Hotelschiffen“. Für diese Gruppe wurden keine Veränderungen der NO_x -Emissionen bis 2020 angenommen.

Bei den PM-Emissionen, die neben den NO_x -Emissionen im Mittelpunkt dieser Studie stehen, ergeben sich ähnliche Anteile der verschiedenen Emissionsquellen. Stark unterschiedlich ist das Bild lediglich bei HC und CO. Bei beiden Luftschadstoffen spielen die privaten Boote (namentlich die Boote mit kleineren Benzin-Motoren) eine nicht vernachlässigbare Rolle. Der Anteil dieser Boote liegt im Jahr 2010 bei den HC-Emissionen bei 22%, bei den HC-Emissionen bei 62 %.



Figur Z-1 NO_x-Emissionen der Schifffahrt differenziert nach verschiedenen Quellengruppen.

Diese Aktualisierungsstudie hat zwar neue Grundlagen heranziehen können. Es wurde aber sichtbar, dass für eine Reihe von Parametern Annahmen getroffen werden mussten, welche die Ergebnisse unmittelbar beeinflussen. Die Unsicherheiten der Angaben sind deshalb nach wie vor beträchtlich. Mit einfachen Mitteln (z.B. punktuelle Umfragen zum Alter der Schiffsmotoren, zu Nennleistungen und Einsatzzeiten von Hilfsaggregaten u.a.m.) könnten diese Unsicherheiten reduziert werden.

1. AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG

Die Behörden der Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft erarbeiten derzeit einen „Aktionsplan „Gesunde Luft in Wohnquartieren“. Grundsätzlich besteht das Ziel in der Erreichung der Luftqualitätsgrenzwerte (namentlich bei NO_x und PM). Bei der Aufbereitung der Grundlagen hat sich herausgestellt, dass die Schiffsemissionen, welche im Wesentlichen auf der „Studie 2003“ (Infras-Studie aus dem Jahr 2003 (Infras 2003) beruhen, an einzelnen Punkten einen nicht unerheblichen Einfluss haben. Allenfalls kann dies darauf zurückzuführen sein, dass die damals getroffenen Annahmen für die künftige Entwicklung bis zum Jahr 2010 aus heutiger Sicht nicht mehr zutreffen. Deshalb soll mit den im Folgenden beschriebenen Arbeiten die Emissionsermittlung aktualisiert werden.

Das Ziel der Arbeiten besteht darin, die Emissionsberechnungen aus dem Jahr 2003 zu aktualisieren und die inzwischen eingetretenen oder absehbaren Entwicklungen zu berücksichtigen. Neben einem Ausgangszustand 2010 werden die Emissionen auch für die beiden Jahre 2015 bzw. 2020 abgeschätzt. Im Vordergrund stehen die beiden Schadstoffe NO_x und PM; analog zur Studie 2003 werden aber auch Abschätzungen für weitere Schadstoffe gemacht.

2. METHODIK UND GRUNDLAGEN

2.1. BERECHNUNGSANSATZ

Ansatz

Die Berechnung der Schiffsemissionen folgt im Grundsatz dem Ansatz, wie er im Offroad-Bereich üblich ist und wie er z.B. auch im BAFU-Bericht zur Ermittlung des Treibstoffverbrauchs und den Schadstoffemissionen des Offroad-Sektors (BAFU 2008) verwendet wird. Dieser Ansatz basiert auf zwei Grundlagen:

- › dem Mengengerüst, d.h. Bestände und Betriebsstunden, soweit als möglich differenziert nach Schiffskategorien bzw. Motorentyp, Leistungsklasse und Baujahr, so dass der Energiebedarf (in kWh/a) ermittelt werden kann.
- › den Emissionsfaktoren: Diese bestimmen die spezifische Emission (in g/kWh) je Motortyp. Die Emissionsfaktoren lassen sich im Prinzip in Emissionsstufen einteilen, die den Zeitraum (nach Baujahr) von Maschinen umfassen, für die bestimmte Emissionsfaktoren charakteristisch sind. Bei neueren Maschinen entsprechen die Emissionsstufen dem Zeitraum, ab dem bestimmte Grenzwerte für neue Maschinen bindend sind.

Aufgrund der beiden Datensätze (Mengengerüste, Emissionsfaktoren) lassen sich schliesslich die Emissionen je Gruppe (Maschinen gleichen Typs und gleicher Leistungsklasse sowie ähnlichen Baujahrs, denen dieselben Emissionsfaktoren zugeordnet werden können) gemäss folgender Formel berechnen (BAFU 2008)¹:

$$Em = N \cdot H \cdot P \cdot \lambda \cdot \varepsilon$$

Wobei

Em	=	Emission pro Maschinentyp, je Schadstoff bzw. Emissionsstufe (in g resp. t/a)
N	=	Bestand (Anzahl)
H	=	Anzahl Betriebsstunden (h/a)
P	=	mittlere Nennleistung (kW)
λ	=	effektiver Lastfaktor (dimensionslos)
ε	=	Emissionsfaktor (g/kWh)

Durch Summierung über alle Maschinentypen lassen sich die Gesamtemissionen pro Jahr ermitteln. Diese Berechnungsmethodik lässt sich für den Treibstoffverbrauch wie auch für die verschiedenen Luftschadstoffe applizieren. Grundsätzlich ist dieser Berechnungsansatz sowohl für die Haupt- als auch für die Hilfsmotoren und damit zur Berechnung sowohl der Fahrt-, Anlege- manöver- und Hafenemissionen anwendbar.

Schiffskategorien

Die Differenzierung nach Schiffskategorien orientiert sich im Wesentlichen an der bereits in der Studie 2003 verwendeten Gruppierung, wird aber aufgrund der verfügbaren Daten und aufgrund der Relevanz etwas vereinfacht. So werden nach wie vor die folgenden Typen unterschieden:

- › *Güterschiffe (im Folgenden kurz GS)*, welche die Lasten (primär) rheinaufwärts von Norden her transportieren und die verschiedenen Häfen auf den Gebieten der beiden Kantone (BS, BL) anfahren.
- › *Fahrgastschiffe („Hotelschiffe“; kurz: FGS)*, welche von Norden her bis Basel fahren, eine gewisse Zeit hier verweilen und anschliessend den Raum Basel wieder rheinabwärts verlassen.

¹ Der BAFU-Bericht fügt zusätzlich drei dimensionslose Korrekturfaktoren an. Diese berücksichtigen- die Abweichung der effektiven Last von der Normlast im Zyklus, auf dem der Emissionsfaktor basiert,
 - den dynamischen Maschineneinsatz,
 - den Verschleiss einer Maschine.
 Weil im vorliegenden Kontext keine Angaben für diese Einflüsse verfügbar sind, werden diese Korrekturfaktoren in der Formel nicht aufgeführt.

- › *Schiffe der Basler Personenschiffahrts-Gesellschaft AG (BPG)*, welche mit derzeit drei Schiffen Stadt- und Hafentrundfahrten sowie Schleusenfahrten bis Rheinfeldern durchführen, und zwar als Kurs-, Extra- oder Erlebnisfahrten.
 - › *Private Vergnügungsschiffe* (Motoryachten sowie Segelyachten mit Hilfsmotor).
- Auf die in der Studie 2003 noch separat aufgeführte Kategorie von Spezialschiffen wird verzichtet (da als Gruppe wenig relevant; sie werden unter Güterschiffen subsummiert).

Emissionen nach Einsatzarten

Die Studie 2003 unterschied verschiedene Einsatzarten:

- › „Cruise“, wobei nach „upstream“ / „downstream“ bzw. Berg-/Talfahrt differenziert wurde,
- › „Manoeuvring“, worunter Anlege- bzw. Abfahrtsmanöver fallen,
- › „Port“, umfasst die Emissionen der Hilfsaggregate zur Stromerzeugung, falls der Hauptmotor ausgeschaltet ist.

In der vorliegenden Arbeit werden diese Differenzierungen weiterhin vorgenommen, aber lediglich dort, wo auch entsprechend belastbare Inputdaten bzw. sinnvolle Annahmen getroffen werden können. Das heisst, diese Unterscheidungen werden teilweise für die Güter- und „Hotel“-Schiffe gemacht. Konkret:

- › Die Güterschiffe mit Zielort Hafenbecken 1 und 2 weisen keine „cruise“-Anteile auf, da sie direkt nach der Überquerung der Landesgrenze in den „Manoeuvring“-Modus schalten.
- › Für die Güterschiffe mit weiter flussaufwärts liegenden Zielorten werden die Phasen „cruise“ und „Manoeuvring“ zusammengefasst.
- › Für alle Güterschiffe fallen „Port“-Emissionen infolge Stromerzeugung mittels Hilfsaggregaten an, da diese Landstellen nicht mit Landstrom-Versorgungseinrichtungen ausgerüstet sind.
- › Die Fahrgastschiffe („Hotelschiffe“), welche die Stadt Basel in grösserer Anzahl besuchen, legen entweder am PBT St. Johann, am PBT Dreiländereck oder – aus Kapazitätsgründen als „Notlösung“ – am Klybeckquai an. An den beiden erstgenannten Orten werden die Schiffe vom Ufer aus mit Landstrom versorgt, am letztgenannten fehlt eine derartige Infrastruktur noch, entsprechend fallen auch für diese Schiffe „Port“-Emissionen (durch Stromerzeugung mittels Hilfsaggregaten) an. Für den Klybeckquai ist jedoch eine Nachrüstung vorgesehen, so dass unterstellt wird, dass in den künftigen Zuständen (2015, 2020) keine „Port“-Emissionen auftreten².

² Allfällige Emissionen der Stromproduktion werden in dieser Studie nicht weiter betrachtet.

- › Bei den BPG-Schiffen werden die Emissionen aus dem Treibstoffverbrauch zurückgerechnet. Da keine Differenzierung des Treibstoffverbrauchs nach Verbrauchstyp (Cruise, Manoeuvring, Stromerzeugung) vorliegt, werden auch die Emissionen über pauschale Emissionsfaktoren abgeleitet.
- › Bei den privaten Vergnügungsbooten werden die Mengengerüste (Anzahl Schiffe und Energiebedarf) aus der Studie 2003 übernommen. Die Emissionen werden letztlich nach Treibstoffart (Diesel, 4-Takt- bzw. 2-Takt-Benzin) differenziert ermittelt und entsprechend ausgewiesen.

Emissionsfaktoren

Der Berechnungsansatz ermöglicht bzw. verlangt an sich eine weitere Verfeinerung der Schiffsaktivitäten nach Emissionsstufen, d.h. die Schiffe sind im Grundsatz in Gruppen je nach Zeitraum zu klassieren, ab dem bestimmte Grenzwerte für neue Maschinen bindend sind. Man muss allerdings feststellen, dass die heutige Datenlage beim Binnenschiffsverkehr faktisch keine solche Differenzierung zulässt. Weder auf Seiten des Mengengerüsts (Anzahl Schiffe bzw. Schiffs-Km bzw. Altersverteilung) noch auf Seiten Emissionsfaktoren liegen die nötigen Angaben in einem belastbaren Differenzierungsgrad vor, dass – etwa analog zum Strassenverkehr – eine „saubere“ Unterscheidung nach entsprechenden Emissionsstufen gemacht werden könnte. Deshalb wird für das Jahr 2010 eine „aggregierte“ Betrachtung gemacht, welche dem derzeitigen Flottenmix mittlere Emissionsfaktoren zuweisen. Dazu werden verschiedene neuere Quellen herangezogen (namentlich BAFU 2008 und Ifeu/Öko-Institut 2011). Für die künftigen Jahre (2015 bzw. 2020) werden Annahmen getroffen, wie sich die Emissionsgesetzgebung künftig ändern, wie sich in der Folge der Flottenmix anpassen und schliesslich wie sich die mittleren Emissionsfaktoren verändern dürften (vgl. Abschnitt 2.6).

2.2. VERKEHRSMENGENGERÜST

2.2.1. SCHIFFSBEWEGUNGEN 2010/2011

Güter- und Fahrgastschiffe

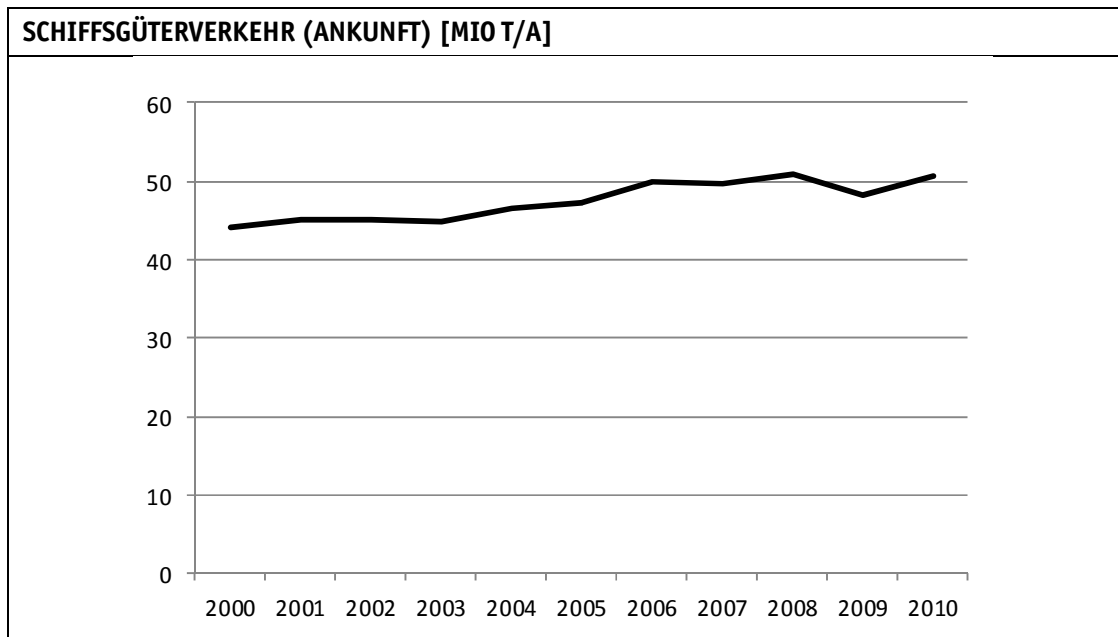
Bei den Güter- und Fahrgastschiffen kann auf eine Auswertung der Schiffsbewegungen der Schweizerischen Rheinhäfen für das Jahr 2011 abgestellt werden. Die statistischen Rohdaten weisen pro Schiffsbewegung Angaben zum Zielhafen, zur Nennleistung der Antriebsmotoren, der Grösse (Länge, Tiefgang) und bei Güterschiffen zum Gewicht der Ladung bzw. zur Anzahl der geladenen Container, jeweils getrennt für Berg- bzw. Talfahrt sowie differenziert nach Ankunfts- bzw. Abfahrtstag, aus. Die nachstehende Tabelle zeigt das aggregierte Mengengerüst für die

Schiffsbewegungen. Für die räumliche Zuordnung werden die Zielorte weiter differenziert (wichtige Zielorte der Güterschiffe sind neben den beiden Hafenbecken 1 und 2 namentlich Auhafen und Birsfelden, vgl. Annex 1). Diese Datenbasis lässt zudem auch Auswertungen über weitere Parameter zu, welche den Energiebedarf und in der Folge die Emissionen beeinflussen. Das sind namentlich die Nennleistung der Antriebsmotoren und Generatoren, der Anteil an Containerschiffen, denen ein anderes Fahrverhalten und damit Emissionsverhalten zugewiesen wird sowie die Aufenthaltsdauer (Details dazu folgen in Abschnitt 2.4).

SCHIFFSBEWEGUNGEN DER GÜTER- UND „HOTEL“-SCHIFFE 2011 IN DEN BASLER RHEINHÄFEN			
	Hafenteil	Total Berg- und Talfahrt	% Containerschiffe
	Güterschiffe		
	- Ziel oberhalb Birsfelden	3204	18%
	- Ziel Hafenbecken 1 und 2	2741	45%
	- Ziel übrige	298	
	Total Güterschiffe	6243	
	Fahrgastschiffe (Hotelschiffe)	441	
	Total Güter- und Fahrgastschiffe	6'684	

Tabelle 1 Quelle: Schweizerische Rheinhäfen (Auswertung Feb. 2012). Weitere Details siehe Annex 1

Für die weitere Bearbeitung unterstellen wir vereinfachend, dass diese 2011er Werte auch für das Jahr 2010 gültig sind. Wie Figur 1 zeigt (hier dargestellt anhand der eingeführten Güter in den Rheinhäfen, 2000 – 2010), hält sich die Dynamik und die Schwankungen insbesondere in den letzten fünf Jahren in Grenzen, so dass diese Vereinfachung zulässig erscheint.



Figur 1 Eingeführte Güter in den Rheinhäfen, 2000 – 2010 (Quelle: Schweizerische Rheinhäfen, www.port-of-switzerland.ch)

BPG-Schifffahrt

Gemäss Angaben der Basler Personenschiffahrts-Gesellschaft AG legten ihre Schiffe im Jahr 2011 rund 24'300 Km zurück. Sie verbrauchten dabei rund 158'700 l Diesel (oder rund 130.6 t). Diese Angabe zum Dieserverbrauch enthält sowohl die Antriebsenergie als auch den Energieverbrauch für die Hilfsaggregate (z.B. zur Stromproduktion). Präzisere Angaben zu den Anteilen liegen nicht vor, die BPG schätzen jedoch, dass letztere einen nennenswerten Anteil von 33% (bei Schleusenfahrten) bis 50% (Hafenfahrten) ausmachen können (Schätzung BPG, Hr. Stalder). Auf eine Differenzierung nach Einsatzarten wird in der Folge verzichtet und alles unter „Cruise“ subsummiert. Der aktuelle Wert ist deutlich grösser als in der Studie 2003 ausgewiesen [26.5 t/a]³; einer der Gründe mag darin liegen, dass in der früheren Angabe möglicherweise lediglich der Energieverbrauch für den Antrieb gerechnet wurde; dies erklärt allerdings die grosse Differenz noch nicht hinreichend⁴.

³ Gemäss Studie 2003, welche sich vor allem an die Angaben aus LHA 1997 angelehnt hat.

⁴ Grobe Vergleichsrechnung: Schätzt man grob aus den statistischen Angaben von BPG über mittlere Auslastungsgrade die Pkm, so resultieren in der Summe rund 2.2 Mio. Pkm/a. Daraus kann man ableiten, dass der spezifische Energieverbrauch pro Pkm bei etwa 7.1 l / 100 Pkm liegt. Dieser Wert liegt rund doppelt so hoch wie z.B. bei der Zürichsee-Schiffahrtsgesellschaft oder rund 50% höher als der mittlere Verbrauch im PW-Verkehr. Der Wert für BPG scheint somit zwar hoch, aber nicht völlig abwegig.

Aufgrund einer Analyse der Kurszahlen und -typen lässt sich ermitteln, dass rund 15% der Schiffs-Km auf Hafenfahrten und 85% auf Schleusenfahrten entfallen, was letztlich für die räumliche Umlegung und Zuordnung der Emission auf Flussabschnitte von Bedeutung ist.

Wie bei den Güter- und Fahrgastschiffen unterstellen wir auch bei der BPG-Schifffahrt, dass diese Werte von 2011 auch für das Bezugsjahr 2010 gültig sind. Als Indikator dafür kann die Zahl der Passagiere herangezogen werden, welche im Jahr 2011 fast gleich war wie im Jahr 2010 (marginaler Rückgang um 1%).

SCHIFFSBEWEGUNGEN 2011 DER BPG-SCHIFFE			
Typ	Fahrten	Km	% [Km]
Extrafahrten	163	5'689	23%
Erlebnisfahrten	190	7'381	30%
Kursfahrten	429	11'235	46%
Total	782	24'305	100%

Tabelle 2 Quelle: Auswertung BPG.

Private Vergnügungsschiffe

Diese Schiffskategorie macht gemäss Studie 2003 lediglich knapp 6% des Energieverbrauchs aus und an den hier vor allem interessierenden NO_x - bzw. PM-Emissionen nur rund 3%. Deshalb wurde für diese Kategorie keine vertiefte Analyse durchgeführt, sondern es wird für 2010 das Mengengerüst aus der 2003-Studie übernommen (Bestand: rund 700 Schiffe, Energieverbrauch: 98.5 Tonnen bzw. 294 MWh).

2.2.2. SCHIFFSBEWEGUNGEN 2015 BZW. 2020

Offizielle Prognosen, wie sich die Rheinschifffahrt oder auch die BPG-Schifffahrt entwickeln wird, gibt es nicht bzw. solche liegen nur teilweise und indikativ vor. Vor diesem Hintergrund wird für die **Güterschiffsbewegungen** auf dem Rhein eine pauschale Annahme eines Wachstums von 1% pro Jahr getroffen. Gleichzeitig wird für die Container-Schiffe ein höheres Wachstum unterstellt (3%/a), dem ein deutlich geringeres Wachstum bei den Massengüterschiffen gegenübersteht (0.6%/a). Gleichzeitig wird davon ausgegangen, dass die Struktur der Hafenanlagen im Raum Kleinhüningen gegenüber heute unverändert bleibt. Das heisst, der Bau eines künftigen Hafenbeckens 3 auf der Nordseite der Autobahn bei gleichzeitiger Aufhebung des heutigen Hafenbeckens 1 und entsprechenden Verlagerungen der Schiffsbewegungen werden hier noch nicht unterstellt. Hingegen wird davon ausgegangen, dass die heute (bzw. gemäss statistischen

Unterlagen für das Jahr 2011) für den Hafen „St. Johann“ ausgewiesenen Güterschiffe⁵ künftig nach Hafengebäcken 2 und Auhafen verlagert werden.

Die **Fahrgastschiffe** („Hotelschiffe“) haben in den letzten Jahren markante Steigerungen erfahren, die zu Engpässen bei den Anlegestellen führten. Deshalb sind entsprechende Ausbauten vorgesehen, einerseits mit dem Zweck, mehr längere Schiffe (135 m an Stelle der bisher üblichen 110 m) aufnehmen zu können, da diese den neuen Standard darstellen, und andererseits um diesen eine bessere landseitige Versorgung zu gewähren (Landstrom, Wasser, Abwasser). In einer Untersuchung von Ecoplan (2011) wurde dabei für die Entwicklung 2010 – 2015 ein pessimistisches Szenario (mit 33% höheren Schiffsankünften und gleichzeitig +50% Passagieren für 2015 gegenüber 2010) und ein Trend-Szenario (mit +85% höheren Schiffsankünften bei +100% Passagieren) skizziert. Für die hier durchzuführende Emissionsberechnung unterstellen wir ein „mittleres“ Szenario mit einer Zunahme der Fahrgastschiffs-Ankünfte von +50% per 2015 bzw. +100% per 2020 (jeweils gegenüber 2010). Gleichzeitig wird unterstellt, dass keine Port-Emissionen mehr entstehen aufgrund der neuen landseitigen Versorgung auch am dritten, heute noch nicht ausgebauten Anlegepunkt (Klybeckquai).

Für die **Basler Personenschiffahrt** BPG wird pauschal ein jährliches Wachstum von 3% pro Jahr unterstellt, in der Annahme, dass die BPG eine moderate Wachstumsstrategie fährt. Emissionsseitig relevant ist darüber hinaus die Frage, ob die heutigen Schiffe entsprechend nachmotorisiert werden müssten bzw. für ein solches Szenario ein viertes Schiff notwendig würde. Für eine entsprechend präzisere Ausdifferenzierung (z.B. Fahrleistung je Schiff – heute bzw. 2015 und 2020; Neubau bzw. Nachrüstung etc.) stehen allerdings keine Grundlagen zur Verfügung, weshalb auf Seiten der Verkehrsmengen wie auch auf Seiten der Entwicklung der Emissionsfaktoren auf pauschale Annahmen zurückgegriffen werden muss (Details zu den Emissionsfaktoren folgen in Abschnitt 2.6).

Für die **privaten Vergnügungsschiffe**, deren emissionsseitige Bedeutung ohnehin begrenzt ist, wird eine Stagnation unterstellt, d.h. für 2015 und 2020 wird das gleiche Verkehrsmengengerüst unterstellt wie für 2010.

2.3. SCHADSTOFF-PALETTE

In der Studie 2003 wurden die Emissionen für eine ganze Reihe von Schadstoffen ausgewiesen (CO, HC, NO_x, PM, SO₂, N₂O, NH₃, CH₄, NMHC, Pb, Dioxin, PAH und HCB+PCB). In der vorliegenden Studie wird bezüglich Emissionsfaktoren namentlich auf die BAFU-Studie (Offroad-

⁵ Einschliesslich jene Güterschiffe, deren Zielort mit „unbekannt“ ausgewiesen ist.

Inventar) aus dem Jahr 2008 abgestützt. Darin werden neben den reglementierten Schadstoffen (CO, HC, NO_x, PM) und dem Treibstoffverbrauch auch Angaben zu SO₂, N₂O, NH₃, CH₄ und NMHC gemacht. Keine Angaben finden sich jedoch für Dioxin, PAH und HCB+PCB, weshalb auch hier dazu keine aktualisierten Angaben gemacht werden können. Pb (Blei) spielt keine Rolle mehr und wird daher ebenfalls nicht mehr betrachtet.

2.4. ERGÄNZENDE ANNAHMEN FÜR DIE EMISSIONSBERECHNUNGEN

Die Umsetzung des Berechnungsansatzes wird in Abhängigkeit der Datenlage vorgenommen, welche je nach Schiffskategorien unterschiedlich ist. Dazu bedarf es weiterer Annahmen:

Güter- und Fahrgastschiffe

Ausgangspunkt der Berechnungen ist die statistische Auswertung der Schweizerischen Rheinhäfen für das Jahr 2011 (vgl. Tabelle 1 bzw. Annex 1). Ergänzend sind für die „Cruise“-Emissionen weitere Annahmen notwendig: Einerseits zum Leistungsbedarf (d.h. zur Nennleistung bzw. zum Lastfaktor) und andererseits zur Geschwindigkeit, mit der die Schiffe unterwegs sind, um daraus auf die Dauer des Leistungsbezugs zu schliessen. Grundsätzlich wird dabei zwischen berg- bzw. talwärts fahrenden sowie zwischen beladenen und unbeladenen Schiffen differenziert. Die nachstehende Tabelle zeigt die getroffenen Annahmen für die verschiedenen Schiffstypen und Einsatzarten (diese basieren auf Auswertungen der statistischen Grundlagen der Schweiz. Rheinhäfen durch Infrac sowie in Absprache mit Hr. Sauter, Schweiz. Rheinhäfen).

		Nennleistung	Lastfaktor		Lastfaktor		Geschw. [km/h]			
			bergwärts		talwärts		bergwärts		talwärts	
		[kW]	bel.	unb.	bel.	unb.	bel.	unb.	bel.	unb.
Cruise										
Güterschiffe	Container	2'354	0.50	0.50	0.33	0.33	8	8	20	20
Güterschiffe	Massengüter	1'200	0.75	0.55	0.33	0.33	6	8	12	20
Fahrgastschiffe		1'368	0.25	0.25	0.25	0.25	6	6	6	6
Manoeuvring			Lastfaktor		Lastfaktor		Zeitbedarf/Vorgang [h]			
			Ankunft		Abfahrt		Ankunft		Abfahrt	
Güterschiffe	Manoeuvring / Hafenbecke	1'200	0.10		0.20		0.25		0.25	
Fahrgastschiffe		1'200	0.10		0.10		0.30		0.30	
Port			Lastfaktor				Zeitbedarf/Vorgang [h]			
Güterschiffe		40	0.40				33			
Fahrgastschiffe		40	0.40				38			

Tabelle 3 Annahmen zur Umsetzung des Emissionsberechnungsansatzes.

Ergänzende Anmerkungen zu den einzelnen Annahmen:

› Nennleistungen:

Die in Tabelle 3 genannten Nennleistungen basieren auf den statistischen Grundlagen der

Schweiz. Rheinhäfen, wobei diese Angabe für rund 80% der Einträge verfügbar ist. Details dazu finden sich in Annex 1.

› Nennleistungen der Hilfsmotoren:

Dazu orientieren wir uns an einer ARTEMIS-Studie (DTU 2004), wo Angaben des Europäischen Entwicklungszentrums für Binnen- und Küstenschifffahrt (heute: Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V.) zitiert werden. Demnach beträgt die Leistung von Hilfsmotoren knapp 10% jener der Hauptmotoren, konkret lässt sich ein Mittelwert von 34 bis 49 kW ableiten. Deshalb wird im Weiteren ein Wert von 40 kW unterstellt (gleich wie in der Vorgängerstudie 2003). Bezüglich dieser Frage besteht allerdings eine gewisse Unsicherheit, denn weitere Literatur-Auswertungen waren für die Klärung dieser Frage nicht schlüssig. So schätzt etwa EcoTransIT (Ifeu/Öko-Institut/IVE RMCN 2011) die Nennleistungen dieser Hilfsmotoren („Aux“) auf rund einen Viertel der Hauptmotoren. Eine Schätzung von PORT (Hr. Sauter) liegt ebenfalls deutlich höher (ca. 150 kW). Die Untersuchung Ifeu/Öko-Institut (2011) macht keine explizite Aussage dazu, schätzt den Zusatzverbrauch der Hilfsmotoren bezogen auf den gesamten Brennstoffverbrauch der Hauptaggregate auf rund 5%⁶. Weil im vorliegenden Fall die Bezugsbasis (nämlich der Energieverbrauch für den „Cruise“-Anteil) sehr gering ist, lässt sich mit der letztgenannten Angabe höchstens eine nachträgliche Plausibilisierung durchführen.

› Aufenthaltsdauer:

Die Aufenthaltsdauer wird benötigt für eine Abschätzung der „Port“-Emissionen (Dauer der Nutzung der Hilfsmotoren zur Stromproduktion). Diese wurde abgeleitet aus dem Ankunfts- bzw. Abfahrtsdatum und ergab im Mittel einen Wert von 38 Stunden für Fahrgastschiffe (lediglich für FGS mit Zielort Klybeckquai relevant) und 50 Stunden für Güterschiffe, wobei für letztere angenommen wurde, dass die Aggregate lediglich während zwei Drittel der Zeit in Betrieb sind, also 33 Stunden.

BPG Schiffe

Ausgangspunkt für die Ermittlung der Emissionen der BPG-Schiffe ist der Energieverbrauch von rund 130 t/a. Daraus lässt sich in einem „top-down“-Ansatz auf den Energiebedarf (in MWh) schliessen, auf dessen Basis anschliessend die Emissionen berechnet werden können. Wir unterstellen dabei, dass dieser Ausgangswert des Energieverbrauchs auch für 2010 gültig ist. Mit der Annahme von 0.223 g/kWh Treibstoffverbrauch kann so auf den Energiebedarf in MWh geschlos-

⁶ Verbräuche zur Stromerzeugung und durch Schleusen oder während Hafentiegezeiten bedingte zusätzliche Verbräuche

sen werden, was einen Wert von 586 MWh/a ergibt. Zum Vergleich: die Güter- und Hotel-Schiffe weisen einen Gesamtenergiebedarf von rund 9'000 MWh/a aus.

Bezüglich der geografischen Aufteilung kann man aufgrund einer Auszählung der Kurse je Einsatzzweck abschätzen, dass rund 15% der Fahrleistung auf Stadt- und Hafentrunden und 85% auf Schleusenfahrten entfällt (siehe oben). Vereinfachend unterstellen wir auch eine entsprechende Aufteilung des Energieverbrauchs.

Private Vergnügungsboote

Wie oben vermerkt wird für diese Schiffskategorie aufgrund der beschränkten Bedeutung das gleiche Mengengerüst wie in der Studie 2003 verwendet. Dieses weist insgesamt einen Energiebedarf von 294 MWh/a aus, wobei dieser Summenwert auf drei Bootstypen fällt:

- › Boote mit Benzin 4-Takt-Motoren: 30%
- › Boote mit Benzin 2-Takt-Motoren: 45%
- › Boote mit (kleinen) Dieselmotoren: 25%.

2.5. GEOGRAPHISCHE ZUORDNUNG

Im Rahmen der Studie 2003 wurde der für die Schifffahrt relevante Raum in Knoten und Abschnitte aufgeteilt, so dass die Emissionen räumlich diesen Punkten bzw. Streckenabschnitten zugewiesen werden können. Die relevanten „Knoten“ wurden anhand der offiziellen Kilometrierung definiert. So erhält beispielsweise der oberste Knoten (Rheinfelden) die Nummer 1485 (=148.5 km). Der unterste Punkt (Dreiländergrenzpunkt) erhält die Nr. 1700 (=170.0 km). Die nachstehende Abbildung zeigt eine geographische Übersicht anhand des BPG-Streckennetzes. Eine detailliertere Darstellung der Knoten findet sich in Annex 2 (die Streckenabschnitte [="Links"] ergeben sich aus der Verbindung zweier benachbarter Knoten; die Liste Knoten bzw. der Abschnitte sind ebenfalls in Annex 2 aufgeführt.)



Figur 2 Übersicht über das Streckennetz und die Anlegestellen der BPG. Weitere Details zum verwendeten Streckennetz finden sich in Annex 2.

Die statistischen Angaben der Güter- und Fahrgastschiffe enthalten neben dem impliziten „Startort“ (nämlich dem Grenzpunkt am Dreiländereck) jeweils einen Zielort (vgl. Annex 1). Damit lassen sich die Verkehrsströme auf dieses Linknetz (gemäss Annex 2) umlegen und so als Link-Emissionen geographisch zuordnen. Letzteres gilt für die „Cruise“-Emissionen. Die entstehenden „Manoeuvring“- bzw. „Port“-Emissionen werden als Punkt-Emissionen betrachtet und den entsprechenden „Knoten“ zugewiesen.

Die BPG-Schiffsemissionen werden in einem ersten Schritt je für die Stadt- und Hafensrundfahrten bzw. die Schleusenfahrten aggregiert ermittelt. Anschliessend werden sie geographisch auf 2 Routen umgelegt: die Stadt- und Hafensrundfahrten werden distanzproportional den Abschnitten von der Dreiländergrenze bis St. Alban-Tal zugeordnet, die Schleusenfahrten den Abschnitten von der Dreiländergrenze bis Kaiseraugst.

Die Emissionen der privaten Vergnügungsboote werden als Punkt-Emissionen betrachtet und dem Punkt Klybeckquai zugeordnet.

2.6. EMISSIONSFAKTOREN

Im vorliegenden Kontext interessieren im Wesentlichen die Emissionsfaktoren für 4 Schiffstypen:

- › „grosse“ mit Diesel betriebene Schiffe (>130 kW⁷)
- › mit Diesel betriebene Boote
- › mit Benzin betriebene Boote (4-Takt)
- › mit Benzin betriebene Boote (2-Takt).

Mit dem BAFU-Bericht zum Offroad-Sektor (BAFU 2008) liegt ein Grundlagenbericht vor, mit dem auch entsprechende Emissionsfaktoren (Emission in g/kWh) vorgelegt wurden. Der BAFU-Bericht weist differenzierte Emissionsfaktoren je Emissionskonzept sowie mittlere gewichtete Werte in einer zeitlichen Stufung (in 5-Jahresschritten) aus, was für die Abschätzungen 2015 bzw. 2020 günstig ist. Allerdings haben sich die gesetzlichen Rahmenbedingungen inzwischen (gegenüber dem Jahr 2008, als der BAFU-Bericht veröffentlicht wurde) verändert, so dass diese Werte nicht unbesehen übernommen werden können. Gleichzeitig ziehen wir eine andere, aktuellere Quelle (Ifeu/Öko-Institut 2011) heran, in der neuere Messwerte zu den wichtigsten reglementierten Schadstoffen (CO, HC, NO_x und PM) ausgewertet wurden. Diese Studie weist allerdings keine nach Emissionskonzepten differenzierte Stufung der Emissionsfaktoren aus, sondern gibt lediglich gewichtete Mittelwerte für das Jahr 2010.

2.6.1. EMISSIONSFAKTOREN FÜR 2010

Die nachstehende Tabelle 4 zeigt die für 2010 verwendeten Emissionsfaktoren für die wichtigsten Schadstoffe. Die Angaben für NO_x der Güter- und Fahrgastschiffe basieren auf BAFU (2008), jene für PM, CO und HC auf der Untersuchung Ifeu/Öko-Institut (2011), welche sich ihrerseits auf Messungen abstützen konnten (vgl. Figur 3), die bei der Fertigstellung von BAFU (2008) nicht verfügbar waren. Diese Messwerte legen es nahe, tiefere Werte zu verwenden als jene des BAFU-Berichts, der sich bei den Emissionsfaktoren für die Schifffahrt primär an den Grenzwerten orientierte. Das gilt namentlich für CO und HC. Der Wert für NO_x hingegen ist praktisch deckungsgleich, der hier verwendete PM-Wert etwas tiefer als in BAFU (2008)⁸.

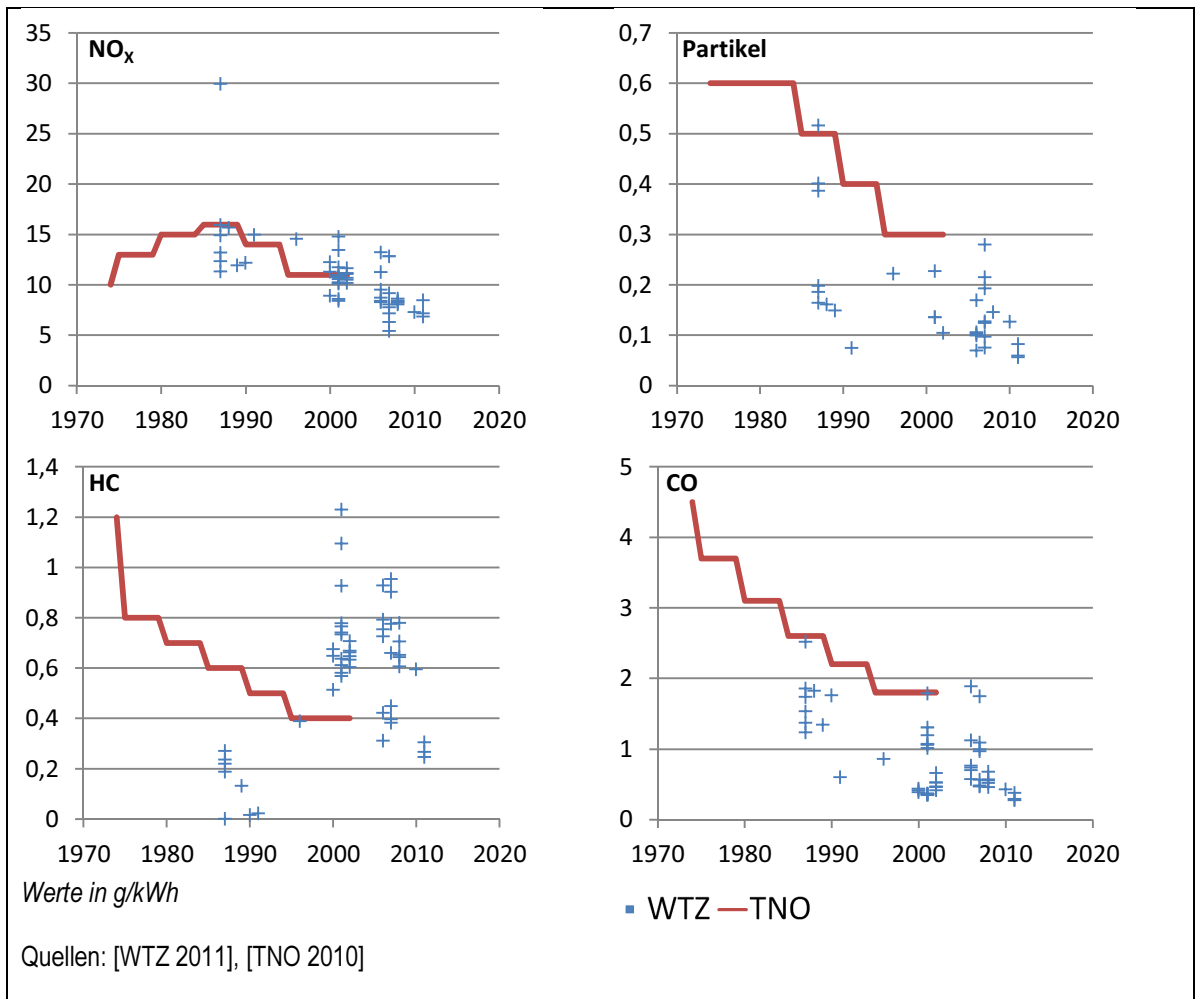
Für die Hilfsaggregate und somit für die PORT-Emissionen werden die Emissionsfaktoren aus BAFU (2008) verwendet. Ebenfalls von dieser Quelle übernommen werden die Angaben für die Boote (Diesel, 4T- und 2T-Benziner). Auch die Werte für die übrigen Schadstoffe (SO₂, N₂O, NH₃, CH₄ und NMHC) stammen aus BAFU (2008), wobei für CH₄ und NMHC lediglich das Verhältnis übernommen wird, da der Summenwert durch HC vorgegeben ist.

⁷ BAFU 2008 weist für die primär interessierenden Schadstoffe NO_x und PM für alle Grössenklassen >130 kW die gleichen E-Faktoren aus.

⁸ Die entsprechenden Werte gemäss BAFU (2008) lauten für CO 5.7 g/kWh, für HC 3.4 g/kWh und für PM 0.44 g/kWh.

2010					
EF in g/kWh	Treibstoff	CO	HC	NOx	PM
Schiffe D >560 kW	223	1.5	0.6	10.3	0.25
Schiffe D Hilfsaggr.	225	5.7	3.4	10.3	0.44
Boote D	260	6.7	6.6	10.3	0.89
Boote B 4-Takt	325	98.5	5.3	9.5	0.00
Boote B 2-Takt	380	281.7	24.9	11.6	0.00

Tabelle 4 Verwendete Emissionsfaktoren für den Zustand 2010 (basierend auf BAFU 2008 sowie Ifeu/Öko-Institut 2011).



Figur 3 Vergleich der Emissionsfaktoren in Abhängigkeit des Motorenalters (Quelle: Ifeu/Öko-Institut 2011, Abb. 13).

2.6.2. EMISSIONSFAKTOREN 2015 BZW. 2020

Die Emissionsfaktoren für künftige Zustände 2015 bzw. 2020 hängen u.a. von den gesetzlichen Rahmenbedingungen ab. Relevant sind hier vor allem die Regulierungen für die Rheinschiffahrt. Grundsätzlich gilt dafür die sog. **Rheinschiffsuntersuchungsordnung** (Stand

1.12.2011). Dort sind die heute gültigen Grenzwerte für neu in Verkehr genommene Schiffe aufgeführt, welche der sog. Stufe II entsprechen.

P_N [kW]	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NO [g/kWh]	PT [g/kWh]
$19 \leq P_N < 37$	5,5	1,5	8,0	0,8
$37 \leq P_N < 75$	5,0	1,3	7,0	0,4
$75 \leq P_N < 130$	5,0	1,0	6,0	0,3
$130 \leq P_N < 560$	3,5	1,0	6,0	0,2
$P_N \geq 560$	3,5	1,0	$n \geq 3150 \text{ min}^{-1} = 6,0$ $343 \leq n < 3150 \text{ min}^{-1} = 45 \cdot n^{(-0,2)} - 3$ $n < 343 \text{ min}^{-1} = 11,0$	0,2

Tabelle 5 Grenzwerte gemäss Rheinschiffsuntersuchungsordnung (Kap. 8)⁹

Daneben gibt es längere Übergangsfristen. So galten etwa für ältere Schiffe, in welche Austauschmotoren installiert wurden, bis Ende 2011 weniger strenge Vorschriften (vgl. Rheinschiffsuntersuchungsordnung, Kap. 24). Für die künftige Entwicklung ist – analog zu andern Sektoren des Offroad-Bereichs – von der Zentralkommission für die Rheinschiffahrt (ZKR) angedacht, die Grenzwerte stufenweise weiter zu reduzieren. Eine strengere Stufe III ist für ca. 2012, eine Stufe IV für ca. 2016 angedacht (vgl. Tabelle 6).

Emissionsgrenzwerte für Motoren von Binnenschiffen					
Stufe	Datum	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NO _x [g/kWh]	PT [g/kWh]
ZKR I	2003	5.0-6.5	1.3	8.0-9.2	0.54-0.85
ZKR II	2007	3.5-5.5	1.0-1.5	6.0-11.0	0.2-0.8
ZKR III	2012?	2.5-3.5	0.8-1.0	4.0-6.6	0.11-0.2
ZKR IV	2016?	2.5	0.19	0.4	0.025

Tabelle 6 Vorschläge zur Grenzwertverschärfung gemäss der Zentralkommission für die Rheinschiffahrt (ZKR). Quelle: Pauli/Schweighofer 2008.

Gemäss Auskunft BAV ist die Situation derzeit offen. In Diskussion ist der Vorschlag, die Stufe III auszulassen und direkt auf Stufe IV überzugehen. Gleichzeitig gibt es Vorschläge von Seiten

⁹ <http://www.bav.admin.ch/grundlagen/03514/03533/03737/index.html?lang=de> (Stand 1.12.2011). Ein Vergleich mit den Grenzwerten der EU-Richtlinie 2004/26/EG zeigt, dass die Unterschiede der Stufe II der ZKR bei NO_x trotz anderer Einteilung der Motoren gering sind. Die Grenzwerte für die Partikelemissionen sind bei der Stufe II ZKR im Vergleich zur EU-Richtlinie 2004/26/EG bei kleineren Motoren höher, bei größeren Motoren jedoch niedriger.

Euromot, welche z.B die Stufe IV für NO_x weniger tief ansetzen (1.8 statt 0.4 g/kWh). Offen ist auch, ob dazu der vorgeschlagene Zeitpunkt 2016 eingehalten werden kann. Aufgrund dieser Situation werden im Vergleich zu den in BAFU 2008 verwendeten Absenkraten geringere Reduktionen angesetzt. Konkret wird das dort für 2015 erwartete Niveau erst für 2020 angesetzt, und für 2015 wird ein Mittelwert der beiden Zustände 2010 / 2015 unterstellt. Für NO_x heisst es beispielsweise eine Reduktion von 10.3 (2010) auf 9.0 (2015) bzw. 7.7 g/kWh (2020). Für CO und HC wird keine weitere Absenkung unterstellt, da die hier für 2010 angesetzten Werte bereits unter den Grenzwerten der Stufe III liegen bzw. eine Stufe IV erst marginale Einflüsse auf den Mittelwert hätte (vgl. Tabelle 7).

Für den Treibstoffverbrauch und damit auch die CO₂-Emissionen wird eine geringfügige Absenkrate von 0.5% pro Jahr unterstellt.

Auch wenn im vorliegenden Kontext vor allem die Rheinschiffsuntersuchungsordnung relevant ist, seien auch die nationalen **Abgasvorschriften für Schiffsmotoren (SAV)**¹⁰ erwähnt. Diese legen die zulässigen Emissionen von Antriebsmotoren für gewerbsmässig und nicht gewerbsmässig eingesetzte Schiffe sowie das Prüfverfahren fest. Diese basieren im Wesentlichen auf der EU-Richtlinie 94/25 EG. Die letztmalige Revision erfolgte 2007, entsprechend der Revision der EU-Richtlinie 2003/44 EG, was der Stufe I entspricht. Eine weitere Revision (Stufe II) ist derzeit in Diskussion; der Zeitpunkt der Einführung ist jedoch noch ungewiss. Eine schweizerische Besonderheit liegt darin, dass für Nachmotorisierungen bzw. Neubauten bei Fahrgastschiffen und gewerbsmässig eingesetzten Schiffen eine Diesel-Partikelfilterpflicht gilt, soweit dies technisch machbar und wirtschaftlich vertretbar ist.

Tabelle 7 zeigt die auf diesem Hintergrund unterstellten Emissionsfaktoren für die Zustände 2015 und 2020.

¹⁰ SR 747.201.3, Stand 1.Juni 2007. Die entsprechenden Grenzwerte sind z.B. auch in BAFU (2008), Annex A3 aufgeführt.

2015					
EF in g/kWh	Treibstoff	CO	HC	NOx	PM
Schiffe D >560 kW	217	1.5	0.6	9.0	0.22
Schiffe D Hilfsaggr.	219	5.5	2.9	9.0	0.35
Boote D	254	6.6	5.7	10.0	0.82
Boote B 4-Takt	317	98.5	5.3	9.5	0.00
Boote B 2-Takt	371	288.0	24.3	11.5	0.00

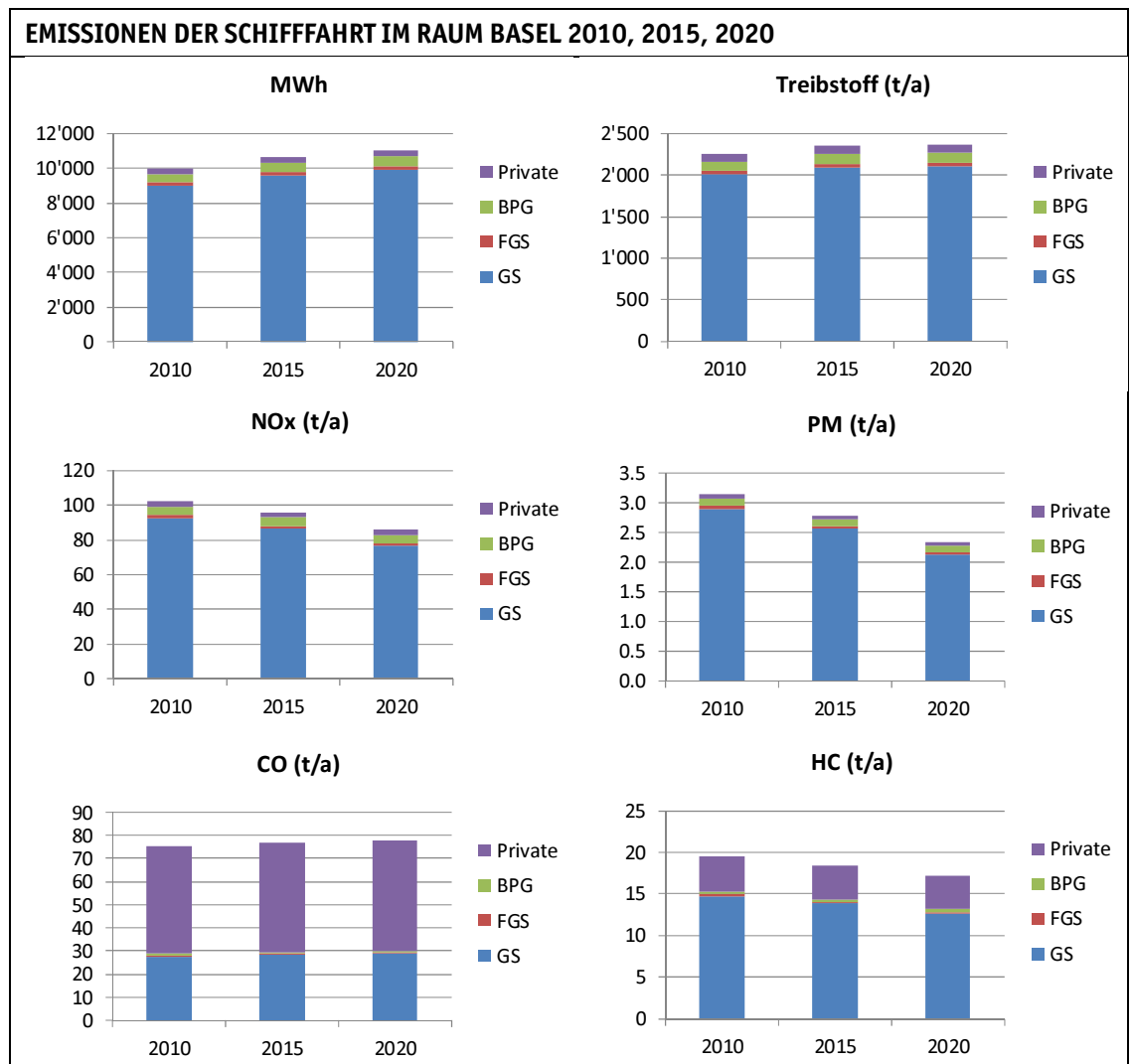
2020					
EF in g/kWh	Treibstoff	CO	HC	NOx	PM
Schiffe D >560 kW	212	1.5	0.6	7.7	0.19
Schiffe D Hilfsaggr.	213	5.3	2.4	7.7	0.26
Boote D	247	6.4	4.8	9.7	0.76
Boote B 4-Takt	309	98.5	5.3	9.5	0.00
Boote B 2-Takt	361	291.3	24.3	11.5	0.00

Tabelle 7 Verwendete Emissionsfaktoren für den Zustand 2015 bzw. 2020 (Entwicklungstrends in Anlehnung an BAFU 2008).

3. ERGEBNISSE

3.1. ÜBERSICHT

Die nachstehenden Figuren vermitteln ein Bild der Emissionen heute sowie der Emissionsentwicklung 2010 / 2015 / 2020 unter Berücksichtigung der Wachstumsannahmen bzw. der Entwicklung der spezifischen Emissionen. Hauptverursacher sind klar die Güterschiffe. Der Anteil der Fahrgastschiffe wie auch der BPG-Schiffe ist beschränkt. Die kleineren Boote (und hier



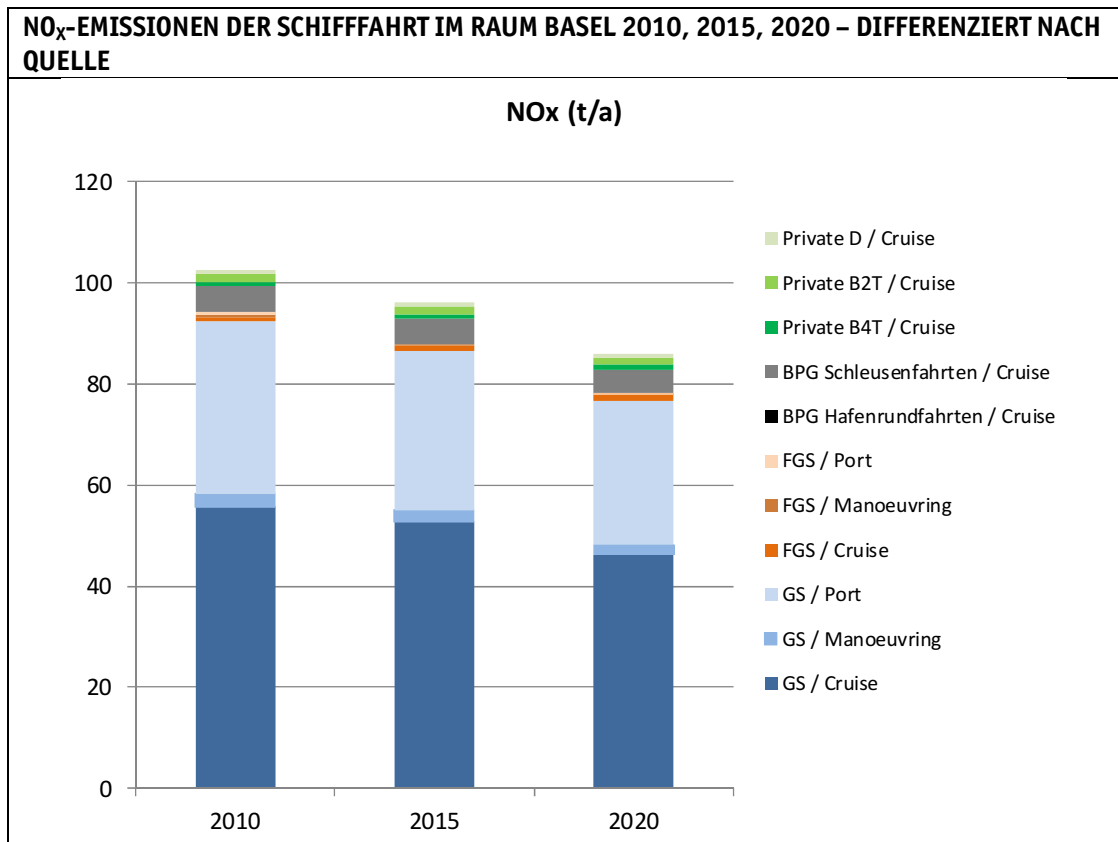
Figur 4 Energiebedarf und Schadstoff-Ausstoss in den Kantonen Basel-Stadt und Basel-Landschaft. Die Zahlen dazu finden sich in Annex 3.

namentlich die kleineren Benzin-Motoren) spielen nur bei CO und HC eine nicht vernachlässigbare Rolle.

Trotz insgesamt leichtem Verkehrswachstum und damit Anstieg des Treibstoffverbrauchs ist tendenziell eine rückläufige Luftschadstoff-Belastung auszumachen, da die alten Schiffe (bzw. Motoren) im Lauf der Zeit aus dem Verkehr gezogen werden und durch neuere, sauberere Schiffe (bzw. Motoren) ersetzt werden. Dieser Effekt führt zu einer wenn auch nur leichten Entlastung, namentlich weil dieser Flottenerneuerungseffekt bei der Binnenschifffahrt wesentlich langsamer vorangeht als z.B. im Strassenverkehr. Würden die neuen Grenzwert-Stufen zügig umgesetzt und z.B. die angedachte Stufe III nicht übersprungen, wäre die Reduktion grösser.

Aufteilung nach Emissionsquellen

Figur 5 zeigt eine noch weitergehende Aufschlüsselung der Emissionsquellen. Dabei fällt der vergleichsweise grosse Anteil der sog. „Port“-Emissionen der Güterschiffe auf, die auf die Hilfsaggregate zurückzuführen sind. Gleichzeitig wird sichtbar, dass bei den Fahrgastschiffen aufgrund der landseitigen Versorgung kaum „Port“-Emissionen anfallen. Bei den BPG-Schiffen sind die Emissionen der Hilfsaggregate in den „Cruise“-Emissionen subsummiert. Aufgrund der unzufrieden stellenden Datenlage bei den Hilfsaggregaten sowie deren grossen Bedeutung für das Gesamtergebnis wären zukünftig vertiefende Analysen empfehlenswert.



Figur 5 Differenzierte Darstellung der Quellen anhand der NO_x-Emissionen. Die Zahlen dazu finden sich in Annex 3.

Aufteilung nach Kantonen

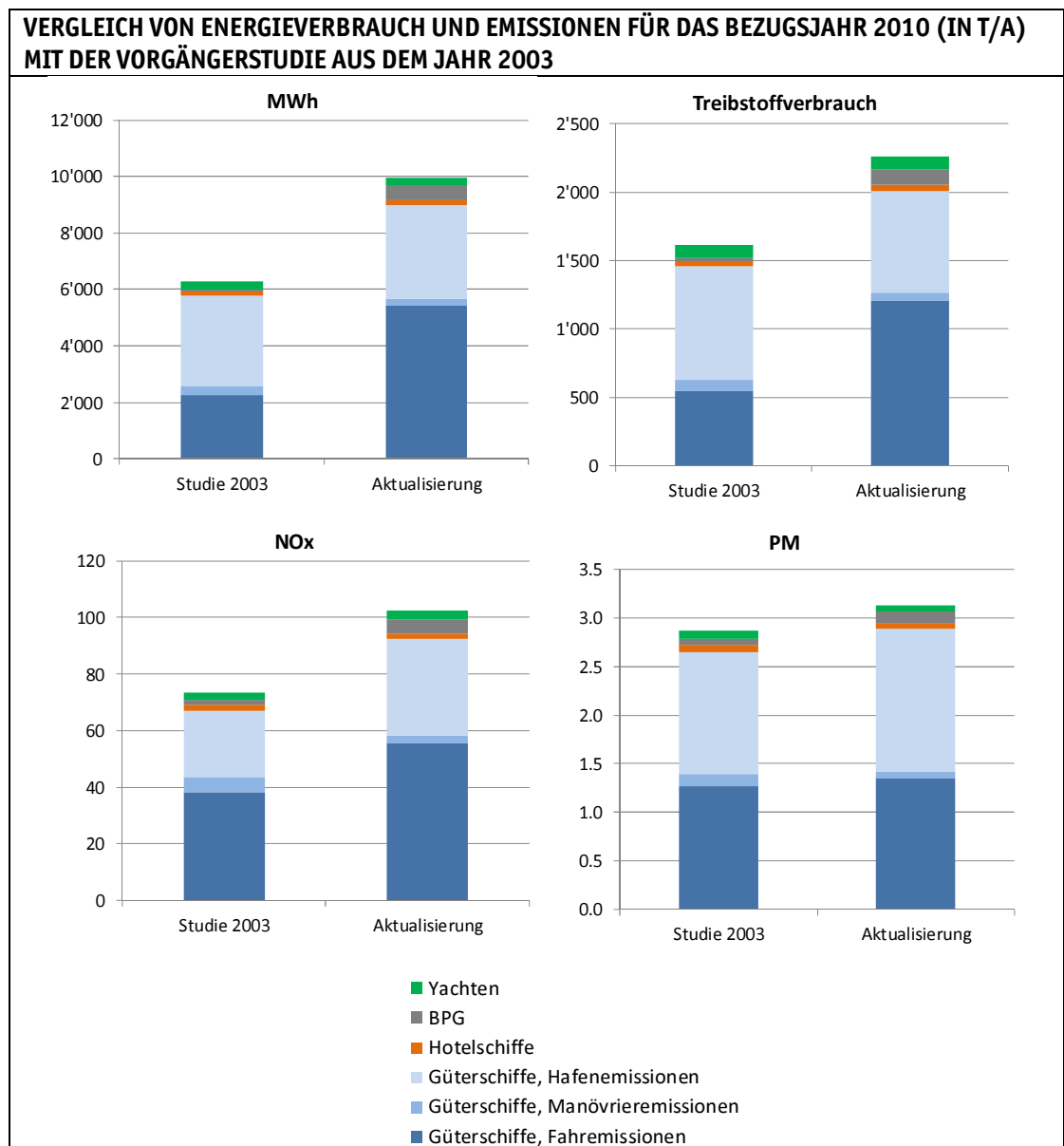
Die nachstehende Tabelle zeigt eine Aufteilung der Emissionen nach Kantonen. Demnach fallen knapp 60% der NO_x- und PM-Emissionen auf dem Gebiet des Kantons Basel-Stadt an. Bei den CO- und HC-Emissionen ist der Anteil höher, da hier v.a. die Benzin-Motoren eine signifikante Quelle darstellen und diese dem Kanton BS zugewiesen wurden.

Emissionen in t/a		MWh	HC	CO	NO _x	FC	PM	CO ₂
2010	BL	4'189	7.3	13.5	43.0	937	1.38	2'952
2010	BS	5'868	12.3	61.8	60.4	1'344	1.78	4'233
2010	Total	10'056	19.6	75.3	103.4	2'281	3.16	7'185
2015	BL	4'641	7.3	14.9	41.8	1'012	1.27	3'189
2015	BS	6'081	11.1	62.0	55.2	1'356	1.53	4'273
2015	Total	10'722	18.5	76.9	97.0	2'369	2.81	7'461
2020	BL	4'822	6.7	15.1	37.3	1'025	1.05	3'229
2020	BS	6'304	10.6	62.8	49.6	1'369	1.30	4'312
2020	Total	11'126	17.3	77.9	86.8	2'394	2.35	7'541

Tabelle 8 Aufteilung der Emissionen nach den beiden Kantonen BS und BL.

3.2. VERGLEICH MIT DEN ERGEBNISSEN DER STUDIE AUS DEM JAHRE 2003

Die nachstehende Figur macht einen Vergleich der aktualisierten Berechnungen mit den Angaben aus der Vorgängerstudie. Dabei zeigt sich, dass die Aktualisierung vor allem den Energie-



Figur 6 Vergleich der aktualisierten Berechnung des Energieverbrauchs und der Emissionen für das Jahr 2010 mit den Angaben aus der Vorgängerstudie (Infras 2003). Angaben in t/a. Die Zahlen dazu finden sich in Annex 4.

verbrauch markant höher veranschlagt (rund 37% beim Treibstoffverbrauch)¹¹. Dies ist vor allem auf den Fahr-Anteil zurückzuführen, während der Verbrauch für das Manövrieren und im Hafen vergleichbar ist. Die Differenz beim „Cruise“-Energieverbrauch ist durch verschiedene Faktoren erklärbar: Einerseits ist die Zahl der Güterschiffsbewegungen heute um 24% höher als damals (neu total 12'500 statt damals 10'100), andererseits sind die Nennleistungen mit über 1'490 kW mehr als doppelt so hoch als damals unterstellt (720 kW). Zudem werden heute die Fahrgeschwindigkeiten tiefer veranschlagt (6-8 km/h) als früher (10-12 km/h), woraus sich eine längere Betriebsdauer und damit eine längere Zeit ergibt, in der die Motoren Treibstoff verbrennen. Hingegen sind die Lastfaktoren etwas tiefer veranschlagt (im Mittel etwa 0.50 bis 0.55 statt 0.65). In der Summe ist damit ein erhöhter Energiebedarf plausibel erklärbar. Zudem schlagen auch die höheren Verbräuche bei der BPG zu Buche (ca. Faktor 5), auch wenn das absolut betrachtet für den Gesamtverbrauch keine gravierende Rolle spielt.

Bei den NO_x- und PM-Emissionen werden neu deutlich höhere Belastungen ausgewiesen, für CO und HC tiefere Werte. Die Erhöhung bei NO_x und PM ist allerdings geringer als beim Treibstoffverbrauch, was u.a. auf die tieferen Emissionsfaktoren zurückzuführen ist. Das gilt für die NO_x- und die Partikel-Emissionen, aber noch verstärkt für die CO- und HC-Emissionen (vgl. Zahlen in Annex 4). So werden die NO_x-Emissionsfaktoren heute auf rund 10 g/kWh eingeschätzt (statt 17 g/kWh), die PM-E-Faktoren (bei den Fahremissionen) rund halb so hoch wie damals. Bei CO und HC werden neu noch tiefere E-Faktoren angesetzt.

EF in g/kWh	HC	HC	CO	CO	NO _x	NO _x	PM	PM
Schiffsklasse	Studie 2003	Aktualisierung	Studie 2003	Aktualisierung	Studie 2003	Aktualisierung	Studie 2003	Aktualisierung
Güterschiffe, Fahremissionen	1.5	0.6	4.1	1.5	17.0	10.3	0.56	0.25
Güterschiffe, Manövrieremissionen	1.2	0.6	8.8	1.5	16.4	10.3	0.39	0.25
Güterschiffe, Hafemissionen	7.5	3.4	31.2	5.7	7.3	10.3	0.39	0.44
Hotelschiffe	1.7	1.5	4.6	2.9	18.3	10.3	0.63	0.31
BPG	1.7	0.6	4.6	1.5	18.3	10.3	0.63	0.25
Yachten	64.8	14.4	186.3	157.6	8.4	10.6	0.29	0.22

Tabelle 9 Aktualisierte Emissionsfaktoren im Vergleich mit der Vorgängerstudie (Infras 2003).

3.3. SCHLUSSBEMERKUNG

Die Abschätzung der Emissionen der Schifffahrt ist zwangsläufig auf verschiedene Grundlagen, aber auch ergänzende Annahmen angewiesen. Das Verkehrsmengengerüst (Schiffsbewegungen

¹¹ Die Differenz bei den MWh ist noch grösser (60%). Dass der Unterschied beim Treibstoffverbrauch geringer ist, ist darauf zurückzuführen, dass neu bessere Wirkungsgrade unterstellt wurden (223 g/kWh statt 240-260 g/kWh).

vor allem für die Güter- und Fahrgastschiffe, aber auch die Annahmen zu Nennleistungen der Hauptmotoren) dürfte mit der Aktualisierung deutlich belastbarer geworden sein, da entsprechende empirische Grundlagen dazu ausgewertet werden konnten. Unsicherheiten bestehen vor allem bei den Lastfaktoren, aber auch bei den Fahrzeiten.

Die grössten Unsicherheiten bestehen nach wie vor bei den Emissionsfaktoren, die ihrerseits wiederum an den Flottenmix gekoppelt sind, da ältere Motoren klar höhere Emissionen verursachen. Allfällige Vertiefungsarbeiten sollten demnach das Augenmerk auf diese Parameter richten. Eine punktuelle Erhebung der Altersverteilung der Schiffe bzw. Motoren würde beispielsweise eine hilfreiche Zusatzinformation liefern.

Im Weiteren hat sich bestätigt, dass die Hafenemissionen einen signifikanten Beitrag an die Gesamtemissionen liefern, nämlich rund die Hälfte. Diese Angaben basieren allerdings auf vergleichsweise schwachen Grundlagen; deshalb bestehen diesbezüglich beträchtliche Unsicherheiten. Das gilt für die Nennleistungen der Hilfsmotoren (widersprüchliche Angaben in der Literatur), für deren Betriebsdauer wie auch für die zu verwendenden Emissionsfaktoren. Gerade aus Sicht Basels, wo diese Emissionen mutmasslich eine grosse Rolle spielen, wäre eine Vertiefung angezeigt. Beispielsweise könnte eine punktuelle und begrenzte Erhebung zu Nennleistung und Einsatzdauern der Hilfsaggregate einen wertvollen Beitrag zur Reduktion der Unsicherheit beisteuern. Gleichzeitig könnte eine entsprechende vertiefende Analyse aufzeigen, wie gerade die Emissionen der Hilfsaggregate zukünftig weiter reduziert werden könnten.

ANNEX

ANNEX 1: STATISTISCHE ANGABEN DER SCHWEIZ. RHEINHÄFEN
(JAHR 2011)

Hafenteil	Anzahl Bergfahrt	Anzahl Talfahrt	Total Berg- und Talfahrt	Gewicht Berg	TEU Berg	Gewicht Tal	TEU Tal
Güterschiffe							
Total Auhafen	1'349	1'349	2'698	1'461'193	4'868	41'287	3'515
Total Birsfelder Hafen	1'496	1'496	2'992	1'096'857	10'244	323'506	12'634
Total Grenzacher Hafen	2	2	4	1'436	0	0	0
Total Hafen Rheinfelden DE	108	108	216	111'616	2'509	440	0
Total Strecke 3 (Auhafen - Rheinfelden)	249	249	498	313'043	0	0	0
Gesamttotal oberhalb Birsfelden	3'204	3'204	6'408	2'984'145	17'621	365'233	16'149
Güterschiffe							
Total Hafenbecken 1	1'962	1'962	3'924	758'453	29'136	60'087	33'070
Total Hafenbecken 2	779	779	1'558	586'968	4'045	72'795	5'228
Gesamttotal Hafenbecken 1 und 2	2'741	2'741	5'482	1'345'421	33'181	132'882	38'298
Fahrgastschiffe							
Total Klybeckquai	97	97	194	0	0	0	0
Total Rheinquai, PBT Dreiländereck (Schleuse)	114	114	228	0	0	0	0
PBT St. Johann	230	230	460	0	0	0	0
Gesamttotal Fahrgastschiffe	441	441	882	0	0	0	0
übrige Güterschiffe							
Total Klybeckquai	230	230	460	283'591	0	2'821	0
Total St. Johann	63	63	126	61'364	0	72'102	0
Total Unbekannt	5	5	10	1	0	4	60
Gesamttotal übrige	298	298	596	344'956	0	74'927	60
Gesamttotal alle Hafenteile	6'684	6'684	13'368	4'674'522	50'802	573'042	54'507

Quelle: Schweiz. Rheinhäfen, 2012

Nennleistungen der Antriebsmotoren und deren Verteilung

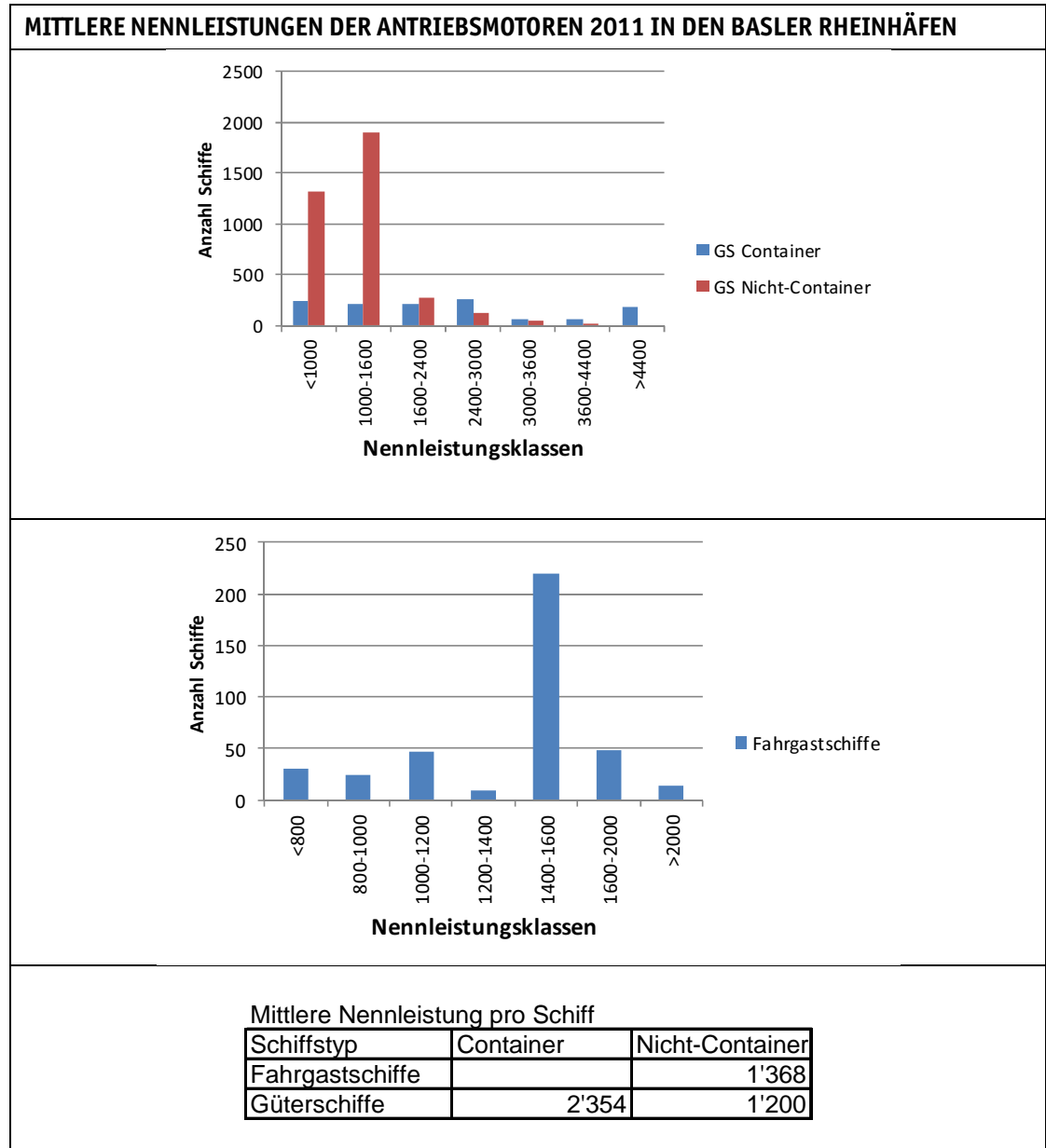
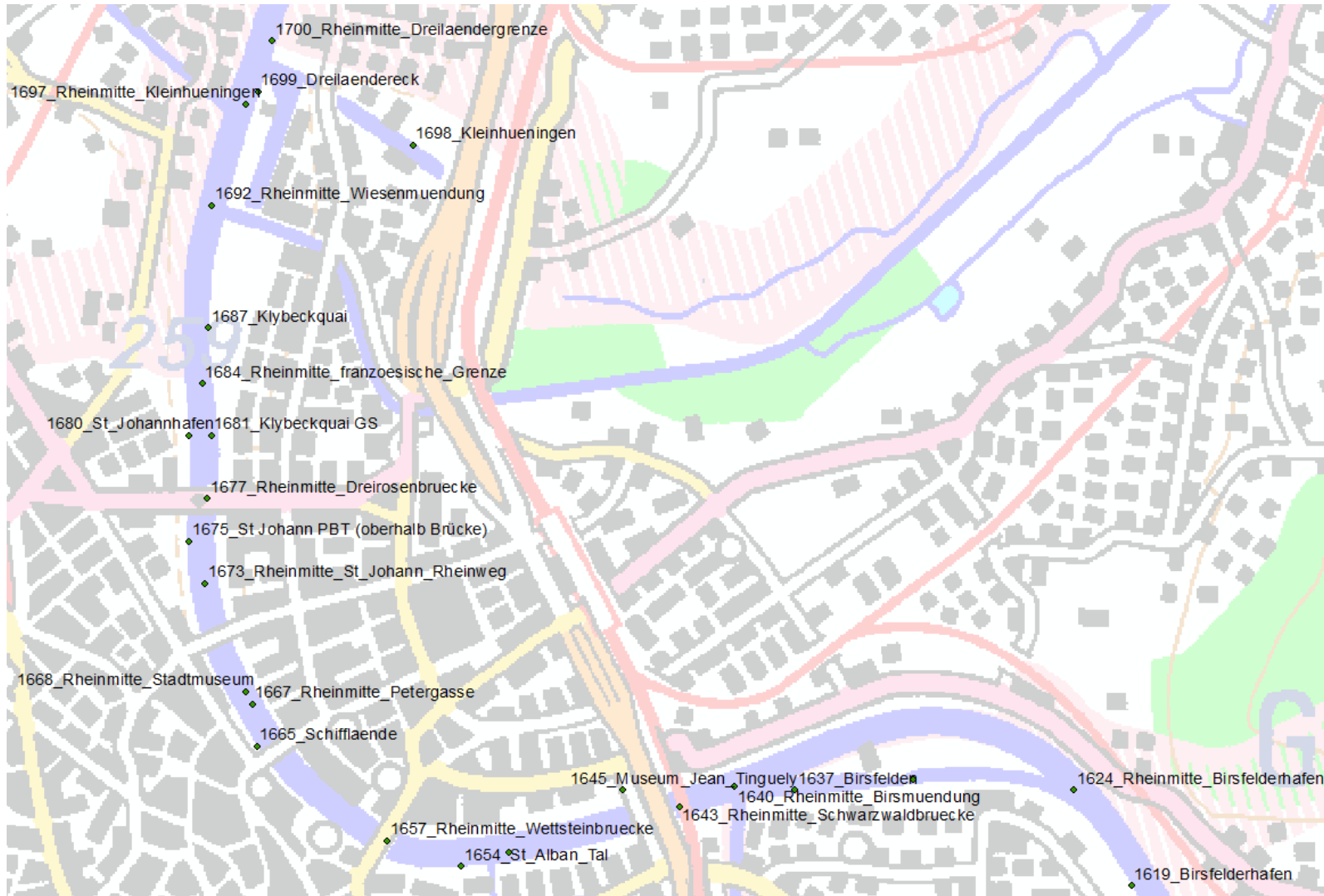


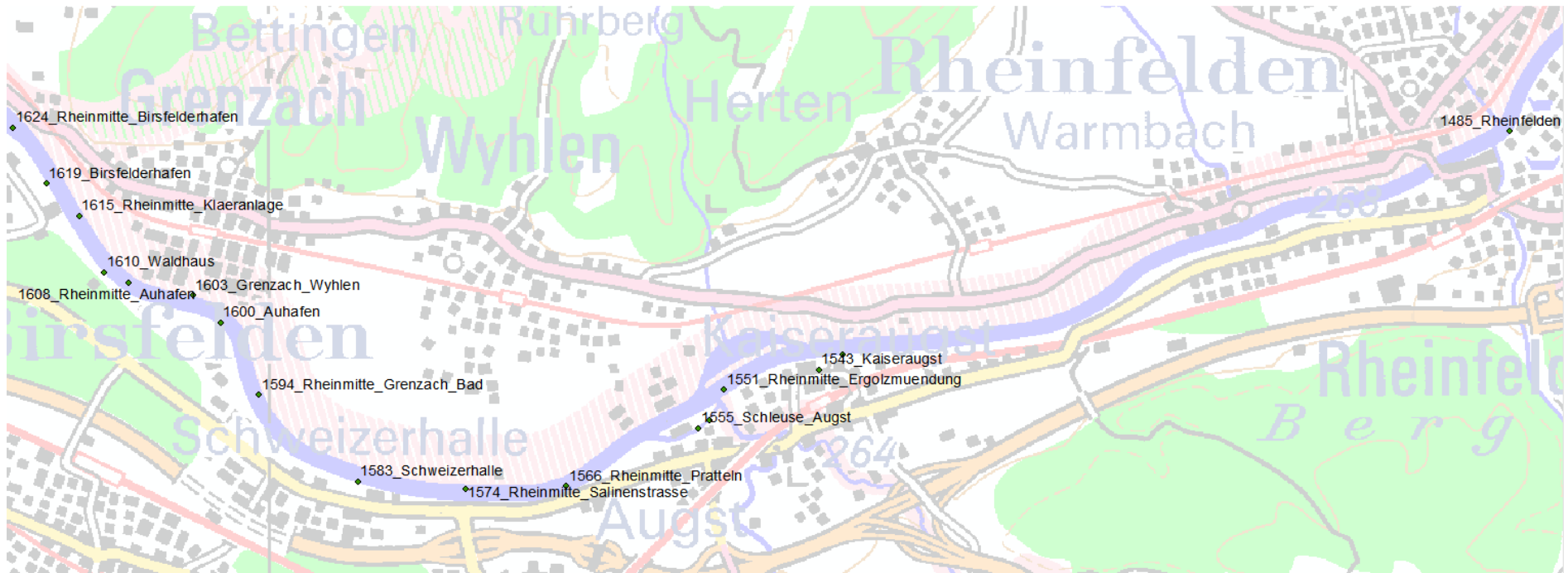
Tabelle 10 Quelle: Schweizerische Rheinhäfen (Auswertung Feb. 2012)¹².

¹² Basis dieser Zusammenstellung ist eine Auswertung des Rohdatensatzes. Dabei wurde eine Schiffsbewegung als „Containerschiff“ definiert, falls es mindestens 5 Container mitführte.

ANNEX 2: GEOGRAFISCHE LAGE

Streckennetz als Basis für die räumliche Zuordnung der Emissionen. Teil 1: Hafen (BS) bis Birsfelden



Streckennetz als Basis für die räumliche Zuordnung der Emissionen. Teil 2: Rheinfelden - Birsfelden

Knoten- und Link-Definitionen

› Knotenpunkte¹³:

Die Emissionen infolge „Manoeuvring“ bzw. die „Port“-Emissionen werden direkt einzelnen Knotenpunkten zugewiesen.

G_Node

ID_NODE	NODE	RHEIN-KM
1485	Rheinfelden	148.5
1541	Kaiseraugst_Gueter	154.1
1543	Kaiseraugst	154.3
1551	Rheinmitte_Ergolzmuendung	155.1
1554	Augst_Kraftwerk	155.4
1555	Schleuse_Augst	155.5
1566	Rheinmitte_Pratteln	156.6
1574	Rheinmitte_Salinenstrasse	157.4
1583	Schweizerhalle	158.3
1594	Rheinmitte_Grenzach_Bad	159.4
1600	Auhafen	160.0
1603	Grenzach_Wyhlen	160.3
1608	Rheinmitte_Auhafen	160.8
1610	Waldhaus	161.0
1615	Rheinmitte_Klaeranlage	161.5
1619	Birsfelderhafen	161.9
1624	Rheinmitte_Birsfelderhafen	162.4
1632	Schleuse_Birsfelden	163.2
1637	Birsfelden	163.7
1640	Rheinmitte_Birsmuendung	164.0
1643	Rheinmitte_Schwarzwaldbruecke	164.3
1645	Museum_Jean_Tinguely	164.5
1651	Rheinmitte_St_Alban	165.1
1654	St_Alban_Tal	165.4
1657	Rheinmitte_Wettsteinbruecke	165.7
1665	Schiffaende	166.5
1667	Rheinmitte_Petergasse	166.7
1668	Rheinmitte_Stadtmuseum	166.8
1673	Rheinmitte_St_Johann_Rheinweg	167.3
1675	St_Johann_PBT	167.5
1677	Rheinmitte_Dreirosenbruecke	167.7
1680	St_Johann_GS	168.0
1681	Klybeckquai_GS	168.1
1684	Rheinmitte_franzoesische_Grenze	168.4
1687	Klybeckquai	168.7
1692	Rheinmitte_Wiesenmuendung	169.2
1697	Rheinmitte_Kleinhueningen	169.7
1698	Kleinhueningen	169.8
1699	Dreilaendereck	169.9
1700	Rheinmitte_Dreilaendergrenze	170.0

¹³ Gegenüber der Vorgängerstudie wurden 2 neue Knoten eingefügt: 1681 Klybeckquai GS und 1675 St. Johann PBT

› „Makro-Links“:

Die Schiffsbewegungen bzw. Emissionen („Cruise“) werden je „Makro-Link“ ermittelt (z.B. Emissionen der Schiffsbewegungen von Punkt 1700 zu Punkt 1485). Anhand der nachstehenden Listen lassen sich diese Emissionen anschliessend distanzproportional auf die „Mikro-Links“ umlegen.

IDMakrolink	Zielort	Dist [km]
17001485	Hafen Rheinfelden DE	21.5
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfelden)	15.9
17001600	Auhafen	10
17001603	Grenzacher Hafen	9.7
17001619	Birsfelder Hafen	8.1
17001654	Stadt- und Hafentrundfahrt	4.6
17001675	PBT St. Johann (Strecke 2 zw Dreirosen - Schleuse)	2.5
17001680	St Johann GS	2
17001681	Klybeckquai GS	1.9
17001687	Klybeckquai FGS	1.3
17001695	Rheinquai, PBT Dreiländereck	0.5

› Zuordnung von „Makro-Links“ zu „Mikro-Links“

Die Längen der Links können aus der jeweiligen Knoten-ID (=100m-Einheiten) abgeleitet werden. Beispiel: Der Link 17001697 entspricht dem Abschnitt von Knoten 1700 (170.0 km) zu 1697 (169.7 km), was einer Länge von 300 m entspricht.

IDMakro_Link	Zielort	Sequenz	IDMikro_Link
17001600	Auhafen	1	17001697
17001600	Auhafen	2	16971692
17001600	Auhafen	3	16921684
17001600	Auhafen	4	16841677
17001600	Auhafen	5	16771673
17001600	Auhafen	6	16731668
17001600	Auhafen	7	16681667
17001600	Auhafen	8	16671657
17001600	Auhafen	9	16571651
17001600	Auhafen	10	16511643
17001600	Auhafen	11	16431640
17001600	Auhafen	12	16401632
17001600	Auhafen	13	16321624
17001600	Auhafen	14	16241615
17001600	Auhafen	15	16151608
17001600	Auhafen	16	16081600
17001619	Birsfelder Hafen	18	17001697
17001619	Birsfelder Hafen	19	16971692
17001619	Birsfelder Hafen	20	16921684
17001619	Birsfelder Hafen	21	16841677
17001619	Birsfelder Hafen	22	16771673

IDMakro_Link	Zielort	Sequenz	IDMikro_Link
17001619	Birsfelder Hafen	23	16731668
17001619	Birsfelder Hafen	24	16681667
17001619	Birsfelder Hafen	25	16671657
17001619	Birsfelder Hafen	26	16571651
17001619	Birsfelder Hafen	27	16511643
17001619	Birsfelder Hafen	28	16431640
17001619	Birsfelder Hafen	29	16401632
17001619	Birsfelder Hafen	30	16321624
17001619	Birsfelder Hafen	31	16241619
17001485	Hafen Rheinfelden DE	33	17001697
17001485	Hafen Rheinfelden DE	34	16971692
17001485	Hafen Rheinfelden DE	35	16921684
17001485	Hafen Rheinfelden DE	36	16841677
17001485	Hafen Rheinfelden DE	37	16771673
17001485	Hafen Rheinfelden DE	38	16731668
17001485	Hafen Rheinfelden DE	39	16681667
17001485	Hafen Rheinfelden DE	40	16671657
17001485	Hafen Rheinfelden DE	41	16571651
17001485	Hafen Rheinfelden DE	42	16511643
17001485	Hafen Rheinfelden DE	43	16431640
17001485	Hafen Rheinfelden DE	44	16401632
17001485	Hafen Rheinfelden DE	45	16321624
17001485	Hafen Rheinfelden DE	46	16241615
17001485	Hafen Rheinfelden DE	47	16151608
17001485	Hafen Rheinfelden DE	48	16081594
17001485	Hafen Rheinfelden DE	49	15941583
17001485	Hafen Rheinfelden DE	50	15831574
17001485	Hafen Rheinfelden DE	51	15741566
17001485	Hafen Rheinfelden DE	52	15661555
17001485	Hafen Rheinfelden DE	53	15551551
17001485	Hafen Rheinfelden DE	54	15511541
17001485	Hafen Rheinfelden DE	55	15411485
17001603	Grenzacher Hafen	57	17001697
17001603	Grenzacher Hafen	58	16971692
17001603	Grenzacher Hafen	59	16921684
17001603	Grenzacher Hafen	60	16841677
17001603	Grenzacher Hafen	61	16771673
17001603	Grenzacher Hafen	62	16731668
17001603	Grenzacher Hafen	63	16681667
17001603	Grenzacher Hafen	64	16671657
17001603	Grenzacher Hafen	65	16571651
17001603	Grenzacher Hafen	66	16511643
17001603	Grenzacher Hafen	67	16431640
17001603	Grenzacher Hafen	68	16401632
17001603	Grenzacher Hafen	69	16321624
17001603	Grenzacher Hafen	70	16241615
17001603	Grenzacher Hafen	71	16151608
17001603	Grenzacher Hafen	72	16081603
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfelden)	74	17001697
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfelden)	75	16971692

IDMakro_Link	Zielort	Sequenz	IDMikro_Link
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfeldern)	76	16921684
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfeldern)	77	16841677
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfeldern)	78	16771673
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfeldern)	79	16731668
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfeldern)	80	16681667
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfeldern)	81	16671657
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfeldern)	82	16571651
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfeldern)	83	16511643
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfeldern)	84	16431640
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfeldern)	85	16401632
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfeldern)	86	16321624
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfeldern)	87	16241615
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfeldern)	88	16151608
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfeldern)	89	16081594
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfeldern)	90	15941583
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfeldern)	91	15831574
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfeldern)	92	15741566
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfeldern)	93	15661555
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfeldern)	94	15551551
17001541	Strecke 3 (zw Auhafen - Rheinfeldern)	95	15511541
17001680	St. Johann GS	97	17001697
17001680	St. Johann GS	98	16971692
17001680	St. Johann GS	99	16921684
17001680	St. Johann GS	100	16841680
17001681	Klybeckquai GS	102	17001697
17001681	Klybeckquai GS	103	16971692
17001681	Klybeckquai GS	104	16921684
17001681	Klybeckquai GS	105	16841681
17001687	Klybeckquai FGS	107	17001697
17001687	Klybeckquai FGS	108	16971692
17001687	Klybeckquai FGS	109	16921687
17001695	Rheinquai, PBT Dreiländereck	110	17001695
17001675	PBT St. Johann (Strecke 2 zw Dreirosen - Schleuse)	111	17001697
17001675	PBT St. Johann (Strecke 2 zw Dreirosen - Schleuse)	112	16971692
17001675	PBT St. Johann (Strecke 2 zw Dreirosen - Schleuse)	113	16921684
17001675	PBT St. Johann (Strecke 2 zw Dreirosen - Schleuse)	114	16841681
17001675	PBT St. Johann (Strecke 2 zw Dreirosen - Schleuse)	115	16811675
17001654	Stadt- und Haf Rundfahrt	201	17001697
17001654	Stadt- und Haf Rundfahrt	202	16971692
17001654	Stadt- und Haf Rundfahrt	203	16921684
17001654	Stadt- und Haf Rundfahrt	204	16841677
17001654	Stadt- und Haf Rundfahrt	205	16771673
17001654	Stadt- und Haf Rundfahrt	206	16731668
17001654	Stadt- und Haf Rundfahrt	207	16681667
17001654	Stadt- und Haf Rundfahrt	208	16671665
17001654	Stadt- und Haf Rundfahrt	209	16651657
17001654	Stadt- und Haf Rundfahrt	210	16571654

ANNEX 3: EMISSIONSERGEBNISSE

Emissionen in t/a

2010

	Einsatzart	MWh	HC	SO2	N2O	NH3	CO	NOx	FC	PM	CO2	CH4	NMHC
GS	Cruise	5'420	3.25	0.02	0.16	0.03	8.13	55.7	1'209	1.36	3'808	0.00	3.25
GS	Manoeuvring	247	0.15	0.00	0.01	0.00	0.37	2.5	55	0.06	173	0.00	0.15
GS	Port	3'324	11.33	0.01	0.10	0.02	19.06	34.1	747	1.47	2'353	0.03	11.31
GS total		8'991	14.73	0.04	0.27	0.05	27.56	92.4	2'011	2.89	6'334	0.03	14.70
FGS	Cruise	86	0.05	0.00	0.00	0.00	0.13	0.9	19	0.02	61	0.00	0.05
FGS	Manoeuvring	36	0.02	0.00	0.00	0.00	0.05	0.4	8	0.01	25	0.00	0.02
FGS	Port	59	0.20	0.00	0.00	0.00	0.34	0.6	13	0.03	42	0.00	0.20
FGS total		182	0.27	0.00	0.01	0.00	0.52	1.9	41	0.06	128	0.00	0.27
BPG Hafenrundfahrten	Cruise	88	0.05	0.00	0.00	0.00	0.13	0.9	20	0.02	62	0.00	0.05
BPG Schleusenfahrten	Cruise	498	0.30	0.00	0.01	0.00	0.75	5.1	111	0.12	350	0.00	0.30
BPG total		586	0.35	0.00	0.02	0.00	0.88	6.0	131	0.15	411	0.00	0.35
Private B4T	Cruise	88	0.47	0.00	0.00	0.00	8.67	0.8	29	0.00	90	0.06	0.41
Private B2T	Cruise	132	3.29	0.00	0.01	0.00	37.17	1.5	50	0.00	158	0.68	2.61
Private D	Cruise	74	0.49	0.00	0.00	0.00	0.50	0.8	19	0.07	61	0.00	0.49
Private total		294	4.25	0.00	0.01	0.00	46.34	3.1	98	0.07	309	0.74	3.51
Summe		10'052	19.61	0.05	0.31	0.06	75.30	103.4	2'280	3.16	7'182	0.77	18.84

2015

	Einsatzart	MWh	HC	SO2	N2O	NH3	CO	NOx	FC	PM	CO2	CH4	NMHC
GS	Cruise	5'862	3.52	0.03	0.18	0.04	8.79	52.8	1'275	1.29	4'015	0.00	3.51
GS	Manoeuvring	253	0.15	0.00	0.01	0.00	0.38	2.3	55	0.06	173	0.00	0.15
GS	Port	3'493	10.23	0.02	0.10	0.02	19.33	31.4	765	1.22	2'411	0.03	10.20
GS total		9'608	13.90	0.04	0.29	0.06	28.51	86.5	2'095	2.56	6'599	0.03	13.87
FGS	Cruise	126	0.08	0.00	0.00	0.00	0.19	1.1	27	0.03	87	0.00	0.08
FGS	Manoeuvring	37	0.02	0.00	0.00	0.00	0.06	0.3	8	0.01	25	0.00	0.02
FGS	Port	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0	0.00	0	0.00	0.00
FGS total		163	0.10	0.00	0.00	0.00	0.25	1.5	36	0.04	112	0.00	0.10
BPG Hafenrundfahrten	Cruise	99	0.06	0.00	0.00	0.00	0.15	0.9	21	0.02	67	0.00	0.06
BPG Schleusenfahrten	Cruise	558	0.33	0.00	0.02	0.00	0.84	5.0	121	0.12	382	0.00	0.33
BPG total		657	0.39	0.00	0.02	0.00	0.99	5.9	143	0.14	450	0.00	0.39
Private B4T	Cruise	88	0.47	0.00	0.00	0.00	8.67	0.8	28	0.00	88	0.06	0.41
Private B2T	Cruise	132	3.20	0.00	0.01	0.00	38.00	1.5	49	0.00	154	0.69	2.52
Private D	Cruise	74	0.42	0.00	0.00	0.00	0.49	0.7	19	0.06	59	0.00	0.42
Private total		294	4.09	0.00	0.01	0.00	47.16	3.1	96	0.06	301	0.74	3.35
Summe		10'722	18.48	0.05	0.33	0.07	76.89	97.0	2'369	2.81	7'461	0.77	17.71

2020

	Einsatzart	MWh	HC	SO2	N2O	NH3	CO	NOx	FC	PM	CO2	CH4	NMHC
GS	Cruise	5'990	3.59	0.03	0.18	0.04	8.99	46.3	1'269	1.14	3'998	0.00	3.59
GS	Manoeuvring	258	0.15	0.00	0.01	0.00	0.39	2.0	55	0.05	172	0.00	0.15
GS	Port	3'659	8.95	0.02	0.11	0.02	19.53	28.3	781	0.93	2'461	0.03	8.92
GS total		9'907	12.70	0.04	0.30	0.06	28.90	76.6	2'105	2.12	6'630	0.03	12.67
FGS	Cruise	164	0.10	0.00	0.00	0.00	0.25	1.3	35	0.03	110	0.00	0.10
FGS	Manoeuvring	38	0.02	0.00	0.00	0.00	0.06	0.3	8	0.01	25	0.00	0.02
FGS	Port	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0	0.00	0	0.00	0.00
FGS total		202	0.12	0.00	0.01	0.00	0.30	1.6	43	0.04	135	0.00	0.12
BPG Hafenrundfahrten	Cruise	109	0.07	0.00	0.00	0.00	0.16	0.8	23	0.02	72	0.00	0.07
BPG Schleusenfahrten	Cruise	615	0.37	0.00	0.02	0.00	0.92	4.8	130	0.12	410	0.00	0.37
BPG total		723	0.43	0.00	0.02	0.00	1.09	5.6	153	0.14	483	0.00	0.43
Private B4T	Cruise	88	0.47	0.00	0.00	0.00	8.67	0.8	27	0.00	86	0.06	0.41
Private B2T	Cruise	132	3.20	0.00	0.01	0.00	38.45	1.5	48	0.00	150	0.69	2.59
Private D	Cruise	74	0.36	0.00	0.00	0.00	0.47	0.7	18	0.06	58	0.00	0.35
Private total		294	4.03	0.00	0.01	0.00	47.59	3.1	93	0.06	293	0.74	3.35
Summe		11'126	17.28	0.05	0.34	0.07	77.88	86.8	2'394	2.35	7'541	0.78	16.58

ANNEX 4: VERGLEICH DER EMISSIONSERGEBNISSE MIT DER VORGÄNGERSTUDIE (2003)

Emissionen in t/a bzw. Emissionsfaktoren in g/kWh

Emissionen in t/a	MWh		FC		HC		CO		NOx		PM	
	Studie 2003	Aktualisierung	Studie 2003	Aktualisierung	Studie 2003	Aktualisierung	Studie 2003	Aktualisierung	Studie 2003	Aktualisierung	Studie 2003	Aktualisierung
Schiffsklasse												
Güterschiffe, Fahremissionen	2'256	5'420	544	1'209	3.41	3.25	9.36	8.13	38.44	55.69	1.27	1.36
Güterschiffe, Manövriermmissionen	321	247	84	55	0.38	0.15	2.84	0.37	5.26	2.53	0.13	0.06
Güterschiffe, Hafenemissionen	3'214	3'324	836	747	24.15	11.33	100.26	19.06	23.40	34.14	1.25	1.47
Güterschiffe (inkl. Arbeitsschiffe)	5'791	8'991	1'463	2'011	27.93	14.73	112.46	27.56	67.10	92.36	2.65	2.89
Hotelschiffe	119	182	31	41	0.20	0.27	0.55	0.52	2.17	1.87	0.07	0.06
BPG	97	586	25	131	0.16	0.35	0.45	0.88	1.78	6.02	0.06	0.15
Yachten	296	294	99	98	19.16	4.25	55.06	46.34	2.49	3.13	0.08	0.07
TOTAL	6'302	10'052	1'660	2'280	47.57	19.61	168.90	75.30	76.49	103.37	2.93	3.16
		160%		137%		41%		45%		135%		108%

EF in g/kWh			FC		HC		CO		NOx		PM	
	Studie 2003	Aktualisierung	Studie 2003	Aktualisierung	Studie 2003	Aktualisierung	Studie 2003	Aktualisierung	Studie 2003	Aktualisierung	Studie 2003	Aktualisierung
Schiffsklasse												
Güterschiffe, Fahremissionen			241	223	1.5	0.6	4.1	1.5	17.0	10.3	0.56	0.25
Güterschiffe, Manövriermmissionen			260	223	1.2	0.6	8.8	1.5	16.4	10.3	0.39	0.25
Güterschiffe, Hafenemissionen			260	225	7.5	3.4	31.2	5.7	7.3	10.3	0.39	0.44
Hotelschiffe			260	224	1.7	1.5	4.6	2.9	18.3	10.3	0.63	0.31
BPG			260	223	1.7	0.6	4.6	1.5	18.3	10.3	0.63	0.25
Yachten			333	333	64.8	14.4	186.3	157.6	8.4	10.6	0.29	0.22

GLOSSAR

BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAV	Bundesamt für Verkehr
BPG	Basler Personenschiffahrts-Gesellschaft
B2T	Benzin, 2-Takt
B4T	Benzin, 4-Takt
CH ₄	Methan
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
D	Diesel
EF	Emissionsfaktor
FC	Fuel Consumption (Treibstoffverbrauch)
FGS	Fahrgastschiff
GS	Güterschiff
HC	Kohlenwasserstoffe
HCB+PCB	Hexachlorbenzol + Polychlorierte Biphenyle
LHA	Lufthygieneamt beider Basel
NH ₃	Ammoniak
NMHC	Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe
NO _x	Stickoxide
N ₂ O	Distickstoffoxid (Lachgas)
Offroad	Überbegriff für die „Nicht-Strassen“-Sektoren (auch: Non-Road), wie z.B. Baumaschinen, Landwirtschaft, Schifffahrt etc.
PAH	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
Pb	Blei
PBT	Passagierbootterminal
PM	Partikel (Particulate matters)
SAV	Abgasvorschriften für Schiffsmotoren
SO ₂	Schwefeldioxid
ZKR	Zentralkommission für die Rheinschifffahrt

LITERATUR

- BAFU 2008:** Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen des Offroad-Sektors, Studie für die Jahre 1980-2020, Reihe Umwelt-Wissen 29-2008, Bundesamt für Umwelt, ausgeführt durch Infras, Bern 2008.
- DTU 2004:** Georgakaki, Aiki; Sorenson, Spencer C.: ARTEMIS: Report on Collected Data resulting Methodology for Inland Shipping- Technical University of Denmark (DTU), Lyngby: 2004.
- Ecoplan 2011:** Passagierbootterminal Basel-Stadt, Nutzen und Kosten eines neuen Passagierbootterminals am Klybeckquai, im Auftrag der Schweizerischen Rheinhäfen, 15. August 2011.
- Ifeu/Öko-Institut 2011:** Aktualisierung der Emissionsfaktoren und Verkehrsleistungen von Binnenschiffen und Übertragung ins TREMOD-Programm, im Auftrag des deutschen Umweltbundesamtes, FKZ 363 01 403, 15. Dezember 2011.
- Ifeu/Öko-Institut/IVE RMCON 2011:** Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports Environmental: Methodology and Data Update. Commissioned by DB Schenker Germany and UIC (International Union of Railways). Berlin, Hannover, Heidelberg: 2011
- Infras 2003:** Luftschadstoffemissionen der Schifffahrt in den Kantonen Basel-Stadt und Basel-Landschaft, Im Auftrag des Lufthygieneamtes beider Basel (LHA), 15. April 2003.
- LHA 1997:** Emissionskataster BS/BL, Berechnungsmethodik 0803 Schifffahrt. Interner Bericht, Lufthygieneamt (LHA) beider Basel, 1997.
- Pauli, Schweighofer 2008:** Pauli, Gernot; Schweighofer, Juha: Die Entwicklung der Abgasemissionen in der Binnenschifffahrt, in: Binnenschifffahrt – ZfB – Nr. 9 – 2008, S. 41-48.