



Vergleich Luftschadstoff-Emissionen bei Kreuzfahrtschiff und Pkw

Faktor: 1 Kreuzfahrtschiff
entspricht Pkw:

	Kreuzfahrtschiff: <i>2,5%</i>		Pkw:	
Schwefelgehalt	25 kg/t <i>>1% >0,1%</i>		0,005 kg/t	
Schwefeldioxidemissionen pro Tag	7500 kg		0,00002 kg	376.030.220
NOx Emissionsfaktor	35 kg/t		0,35 g/km	
NOx Emissionen pro Tag	5.250 kg		0,0124 kg	421.153
Partikelemissionsfaktor	3 kg/t		0,012 g/km	
Partikelemissionen pro Tag	450 kg		0,0004 kg	1.052.885
CO2 Emissionsfaktor	3.179 kg/kg		160 g/km	
CO2 Emissionen pro Tag	476.850 kg		5,698 kg	83.678
Treibstoffverbrauch pro Tag:	150 t		0,002 t	

Quelle: Dr. Axel Friedrich, Berlin 2012

*150 t/Tag : 2.600 Pers. = 57,7 kg/Pers. und Tag
20 kn = ca. 40 km/h = ca. 960 km/Tag
-> ca. 60 g/km u. Pers.*

0,002 t/Tag = 2 kg/Tag (und i.d.R. Person) = parkender PKW?

Probe:

*6 Ltr/100 km x 80 km/h x 24 Std. = 155 Ltr/Tag = ca. 92 kg/Tag
bei 80 km/h = ca. 1920 km/Tag*

-> ca. 48 g/km u. Pers. (bei 8 Ltr/100 km: 64 g/km und Pers.)

Bewertung:

Die unterschiedlichen Regelwerke der Transportsysteme generieren unterschiedliche, teilweise schwer vergleichbare Emissionsfaktoren (z.B. g/kWh versus g/km). Landgebundene Systeme und Schiffssysteme sind daher nur schwer vergleichbar.

Unterstellt man, dass die Emissionsfaktoren und Eckdaten richtig sind (was wegen der o.g. Problematik diskussionfähig wäre), so kann festgestellt werden:

1. Das Rechenwerk berücksichtigt nicht die Transportleistung und die Effizienz der unterschiedlichen Systeme. Angemessene Vergleichsgrößen wären z.B. "kg/km und Pers." oder "kg/kWh und Pers.". Der Vergleich "eines dicken Schornsteins mit einem dünnen Schornstein" assoziiert falsche Schlussfolgerungen. Die Wirkungsgrade der Pkw-Motoren liegen bei ca. der Hälfte von Schiffsmotoren, somit reduzieren sich auch alle Emissionswerte um einen Divisor in dieser Größenordnung.

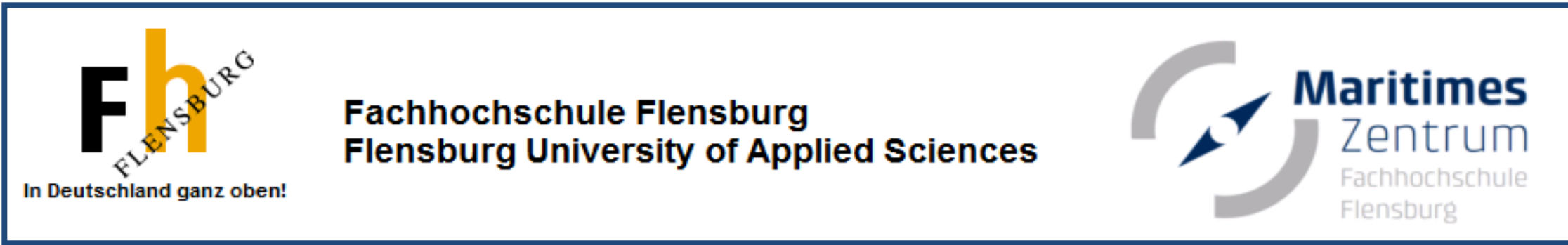
2. Bei Pkw basieren alle Emissionswerte auf einem täglichen Verbrauch von 2kg/Tag. Dies entspricht dem Pkw der überwiegend in der Garage bzw. parkend "genutzt" wird. Realistischere Ansätze wären 6 bis 8 bzw. höhere Verbrauchswerte pro 100 km. Somit sind alle Emissionswerte und alle Bezugswerte zum Schiff grundsätzlich in Frage zu stellen.

3. Rechen-systematisch ist anzumerken: Setzt man sehr kleine, noch dazu mit Fehlern behaftete Größen, in Relation, so ergeben sich sehr große Fehler bei den resultierenden Verhältnis-zahlen.

4. Bereits eine einfache Plausibilitätsrechnung (s.o.) sollte zeigen, dass aufgrund der höheren Effizienz, den gesetzlichen Vorgaben und den betriebswirtschaftlichen Zwänge, die NABU-Vergleichszahlen unrealistisch sind.

18.04.2012

Prof. Dr.-Ing. HOLGER WATTER
www.fh-flensburg.de/watter



Zusammenfassende Bewertung:

Mit dem neuen Rechenmodell korrigiert der NABU seine erste Aussage zu den Schiffsemissionen auf 1/5 bis 1/10. Statt 5.000.000 Pkw sind es nach den korrigierten Berechnungen deutlich weniger Fahrzeuge. Dennoch enthält das neue Rechenmodell systematische Fehler und Unzulänglichkeiten, die hinter den Erwartungen an einen Bachelorarbeit zurückbleiben.

Es wird nicht zwischen neuen und alten Schiffen bzw. Fahrzeugen unterschieden. Damit werden die eigentlichen Problemfälle nicht behandelt. In Analogie zu einem Mofa-Stadtbus-Vergleich werden nur die Emissionen ins Verhältnis gesetzt. Die Transportleistung, also die Anzahl der transportierten Personen wird nicht berücksichtigt - also ein Vergleich von Äpfeln mit Birnen!

Bereits der Rechenansatz des NABU (0,0000199452 Verbrauch pro Tag) ist nicht nachvollziehbar! Was ist das für ein Verbrauch pro Tag? Nimmt man eine mittleren Krst.-Verbrauch von 6 Ltr/100 km so ergäben sich bereits 144 Ltr/Tag an Verbrauch oder $3 \times 144 = \text{ca. } 430 \text{ kg CO}_2$ pro Tag. Die Verbrauchsangabe des NABU und die daraus resultierenden Rechendaten lassen also einen extrem günstigen Pkw-Ansatz vermuten. Der NABU betätigt sich hier defacto also Lobbyist der Pkw-Industrie.

Akzeptiert man jedoch den Datenansatz des NABU (was diskussionsfähig wäre!), so ist zu den Berechnungen anzumerken:
 Die Berechnungen des NABU vernachlässigen die Transportleistung des Schiffes. Während in einem Pkw statistisch gesehen eine Person transportiert wird, sind die spezifischen Emissionswerte des Schiffes i.d.R. deutlich günstiger, da sie in diesem Fall durch 2600 Personen zu teilen wären. So ergeben sich bei spezifischen Vergleichswerten (z.B. in pro Person und Stunde) **ca. 750-fach höhere Krst-Verbrauchs- und CO2-Emissionswerte beim Pkw und ca. 50-mal höhere Emissionswerte bei den Stickoxiden**. Berücksichtigt man die neuen Emissionsvorschriften, so sind sogar die **Schwefelemissionen des Pkw um den Faktor 4 höher** als beim Kreuzfahrtschiff!
 Die Partikelproblematik ist sehr kompliziert und eigentlich nicht vergleichbar. Die Berechnung nach "Dreisatzmethode", wie vom NABU vorgenommen, zeugt von fehlendem Sachverstand oder bewusster Täuschung.

Legt man die spezifischen Emissionswerte zugrunde, schneidet das Schiff also immer besser ab! Betrachtet man nun zusätzlich die Relationen der täglichen Pkw-Bewegungen mit den Schiffs- oder Passagierzahlen, so muss unterstellt werden, dass der NABU eine falsche Prioritätensetzung gewählt hat oder bewusst als Lobbyist der Automobilindustrie bewertet werden muss.

Unbeschadet davon kann natürlich hinterfragt werden, ob Waren aus Südostasien nach Europa, Urlaubsflieger und emissionsbegleitende Freizeitbeschäftigungen sinnvoll sind. Dies ist ja aber scheinbar nicht Gegenstand der Diskussion. Es geht wohl mehr um eine Kampagne, als um die Wahrheit oder Erkenntnisgewinn!

NaBu-Basisrechnung:

Vergleich Kreuzfahrtschiff-Pkw

	Kreuzfahrtschiff: Verbrauch pro Tag: 150t	Pkw Verbrauch pro Tag: 0,0000199452	Faktor: 1 Kreuzfahrtschiff entspricht Pkw:
Verbrauch Treibstoff pro Tag	25 kg Schwefel pro t	0,005kg Schwefel pro t	
Schwefeldioxidemissionen pro Tag	7500	1,99452E-05	376.030.220
NOx Emissionsfaktor	35kg NOx pro t	0,35kg NOx pro t	
NOx Emissionen pro Tag	5250kg NOx pro t	0,012465753kg NOx pro t	421.153,85
Partikelemissionsfaktor	3kg Partikel pro t	0,000427397kg Partikel pro t	
Partikelemissionen pro Tag	450kg Partikel pro t	0,012kg Partikel pro t	1.052.884,62
CO2 Emissionsfaktor	3,179kg CO2 pro kg Fuel	160kg CO2 pro kg Fuel	
CO2 Emissionen pro Tag	476850kg CO2 pro kg Fuel	5,698630137kg CO2 pro kg Fuel	83.678,00

Nach der ersten NABU-Berechnung waren es doch 5.000.000 Fahrzeuge????

Quelle: Dr. Axel Friedrich, Berlin 2012

Beispielschiff (Quelle: SCHIFF & HAFEN):

M/V "AIDADIVA"

Builders: Meyer Werft, Papenburg Yard no: 659 IMO no: 9334856, Call sign: ICDH Flag: Italy, Port of registry: Genova Vessel type: Passenger vessel Delivery: April 16, 2007 Owner: Societa de Crociere Mercurio Managing owner: Aida Cruises Classification: Germanischer Lloyd #100 A5 with freeboard 2.305 m Passenger Ship with Cabins IW ERS BWM-S P7D22 Environmental Passport #MC AUT RP3-50%	Depth: 9.60 m Draught: 7.30 m Speed: 22.5 kn	<div style="border: 2px solid red; padding: 5px;"> Propulsion Two electric motors Siemens 2x12,500 kW at 130 1/min acting on two fixed pitch propellers Rolls-Royce Kamewa of 5.2 m diameter, four diesel engines MaK 9M43C 4x9,000 kW connected to four propulsion generators 4x12,000 kVA Auxiliary engines: One emergency generator 1,000 kVA </div>
Main data Tonnage GT/NT: 69,203/42,051 Deadweight: 6,100 t Length o.a: 251.89 m Length b.p: 229.60 m Breadth: 32.20 m	Equipment Two transverse thrusters forward 2x2,300 kW, two transverse thrusters aft 2x1,500 kW, two steering gears Rolls-Royce Frydenbø RV900-2, two spade rudders with trunks Macor, six tender boats, 14 lifeboats, two fast rescue boats, four	<div style="background-color: yellow; border: 2px solid red; padding: 5px;"> 2 x 7.500 kW 2 x 9.000 kW 34.000 kW 2.050 Passagiere 634 Besatzung 13 kW / Person </div> compass binnacle NAVIPOL I Northrop Grumman Sperry Marine
		Capacities 2,050 passengers in 1025 cabins, 666 outside cabins, 359 inside cabins, 439 cabins with balcony, seven restaurants, eleven bars and lounges, 1,100 seats in theatre Crew 634.

Verbrauchsdaten SCHIFF:

Krst.-Verbrauch Schiff	150 t/Tag (gem. NABU-Vorgabe)
Dichte Schweröl	900 kg/m ³
Antriebs- und Kraftwerksleistung	34000 kW - Vollast vorausgesetzt (was eher nicht der Regel entspricht!)
Transportleistung	2600 Personen (Passagiere und Besatzung)
spez. Verbrauch pro Tag	4,41 kg/kW und Tag
spez. Verbrauch pro Std. und Person	0,07070 g/kWh und Person

Verbrauchsdaten PKW

Pkw-Antriebsleistung	70 kW (als Mittelwert)
Verbrauchsannahme	6 Ltr/100 km
	4,8 kg/100 km
Dichte Krst.	800 kg/m ³ (Mittelwert aus Dieselkrst., Super- und Normalbenzin)
Durchschnittsgeschwindigkeit	80 km/h
Verbrauch pro Tag	115,2 Ltr/Tag (in der Regel ist ein Pkw mit einer Person besetzt!)
Verbrauch pro Tag und Person	92,16 kg/Tag und Person
spez. Verbrauch	54,857 g/kWh und Person 776 Pkw-Mehrverbrauch gegenüber Schiff

Kohlendioxid-Emissionen:

pro kg Brennstoff werden ca. 3 kg Kohlendioxid emittiert (näherungsweise unabhängig von der Brennstoffsorte!)

Emissionsverhältnis **776 -fach höhere Emissionswerte des Pkw's gegenüber dem Schiff**

Emissionswerte Schwefel:

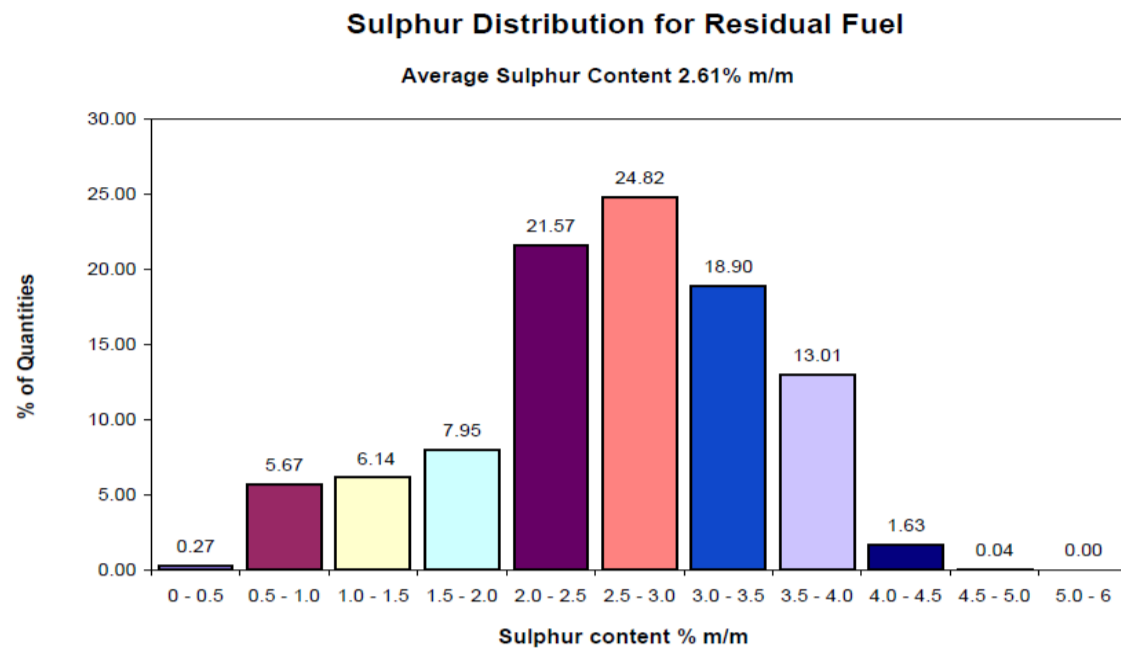
Basisdaten der mittleren Schwefelwerte der weltweiten Schiffahrtbrennstoffe:

MEPC 62/4
 Annex 1, page 1

ANNEX 1

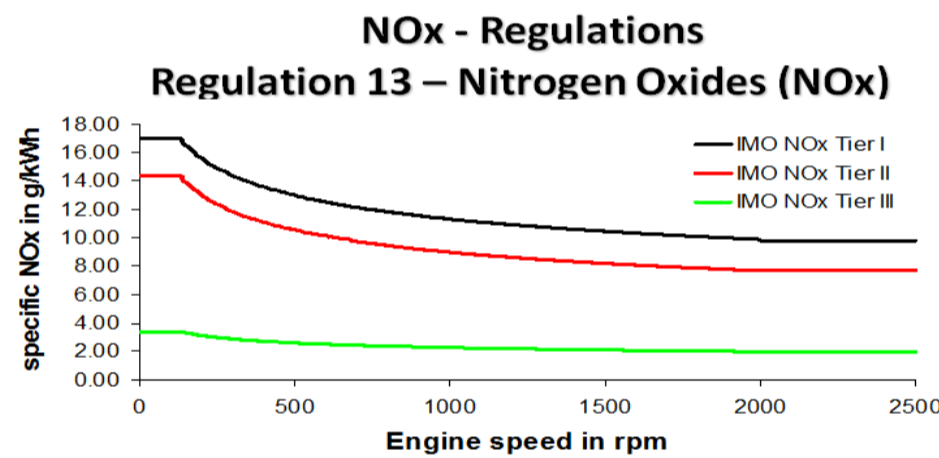
AVERAGE SULPHUR CONTENT OF RESIDUAL FUEL FOR 2010

Total number of samples tested : 101,894
 Corresponding quantity of residual fuel oil : 91,554,245 tonnes
 Calculated average sulphur content : 2.61% m/m
 Distribution per increment of 0.5% S m/m : as per graphical representation



Sulphur monitoring programme 2009 – 2010

Stickoxidemissionen:



	Remarks
Tier I	Current IMO NOx emission level
Tier II	Approx. minus 2,5 g/kWh (approx. -15% to - 22%) reduction compared to Tier I. (achievable by Engine Internal Measures)
Tier III	80% reduction from Tier I. Applicable in regional Emission Control Areas (ECAs). Exhaust Gas After-treatment. Outside the ECAs Tier II limits are applicable.

Partikelemissionen:

Hier werden die NaBu-Daten übernommen, da die Problemstellung äußerst komplex ist. Betriebsbedingungen und Messverfahren lassen Pkw und Schiffpartikel nur schwer vergleichen. Außerdem sind gerade kleine und damit nicht sichtbare Partikel besonders gesundheitsgefährdend. Die Problematik ist also nicht so einfach (quasi per "Dreisatz" darstellbar, wie vom NaBu vereinfacht berechnet). Vgl. dazu z.B.:

Berg, Sören: Clean North Sea Shipping (CNSS): Zusammenstellung und Beurteilung von gas- und partikelförmigen Emission aus Schiffsdieselmotoren (M, 2010): Internationale Organisationen und Verwaltungen, einschließlich der Verwaltung der Freien und Hansestadt Hamburg, sind sehr daran interessiert, die Luftverschmutzung von Schiffen zu verhindern, während diese ihre Häfen besuchen. Aus diesem Grund wurde ein international agierendes „Clean North Sea Shipping“ (CNSS) Projekt initiiert. Ziel dieses Großprojektes ist die Reduzierung der Luftverschmutzung und Treibhausgas-Emissionen von Schiffen. Aufgabe soll hierbei die Untersuchung von Technologien zur Emissionsminderung für den Betrieb von Schiffen sowie die Implementierung einer Infrastruktur für die Versorgung von effizienteren und saubereren Kraftstoffen für Schiffe sein. Als ein Teilprojekt des CNSS sollen im Rahmen einer Masterarbeit die Abgas- und Partikelemissionen von Schiffsmotoren zusammengestellt und charakterisiert werden. Insbesondere soll hierbei der Einfluss von Betriebsbedingungen und der Motor-Parameter sowie der Heizöl Qualität untersucht werden. Das Ziel dieser Arbeit ist eine detaillierte Literaturrecherche der Partikelemissionen in der Seeschifffahrt sowie eine Auflistung und Bewertung der jeweils verwendeten und verfügbaren messtechnischen Möglichkeiten. Insbesondere sollen in dieser Arbeit alternative Messtechniken für Partikelemissionen aufgezeigt werden, welche eine detaillierte Beurteilung von Partikelemissionen ermöglichen. Denn insbesondere innerhalb von Ballungszentren gewinnt die Beurteilung der Partikelgrößenverteilung an Wichtigkeit. Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen die Basis für spätere Messkampagnen an Bord ausgewählter Kreuzfahrtschiffe im Hamburg Cruise Terminal bilden. Die so erzielten Ergebnisse können die Basis für "Emissionsfaktoren" für die weitere Beurteilung des Potentials alternativer Technologien im Vergleich mit der herkömmlichen Schiffsdieseln beim Betrieb mit Destillat oder schwerem Heizöl bilden. Die Arbeit wird fachlich vom GL unterstützt.

Schiffsemissionen	3 kg Partikel / Tonne =	3 g/kg 0,00721 kg Partikel pro Person und Std.
Pkw-Emissionen:	0,000427397 kg Partikel/Tonne	0,0004274 g/kg 0,0016412 kg Partikel pro Person und Std.
Emmissionsverhältnis:		4,4 höhere Emissionswerte des Schiffes. wobei der Rechenansatz des NABU aus technischer Sicht grundsätzlich in Frage zu stellen wäre!

siehe auch

- <http://www.fh-flensburg.de/mz/index.htm#presse>
- http://www.fh-flensburg.de/mz/2012_Fakten-Check_Kreuzfahrtschiffe.pdf
- http://www.fh-flensburg.de/mz/NDR_Emissionen.mpg
- <http://youtu.be/D-FHBkCfjA>
- http://www.fh-flensburg.de/watter/Buch_Energiesysteme-Inhalt.pdf

Schwefelemissionen Schiff:

2% mittl. Schwefelgehalt
 1 kg S reagiert zu
 2 kg SO₂

also:

150 t Krst./ Tag
 3 t S / Tag
 6 t SO₂ / Tag

bzw.

0,25 kg SO₂ / Std
 0,096 g SO₂ / Std und Person
 in EU-Häfen und Ostsee- und Nordsee 0,1%
 0,0048 g SO₂ / Std und Person

Schwefelemissionen Pkw:

0,005 kg S / t (gem. NaBu-Vorgabe)
 0,005 g S / kg (gem. NaBu-Vorgabe)
 mit den o.g. Verbrauchsdaten pro Std.:
 0,019 g S / Std. und Person

Emissionsverhältnis:

5,01 höhere Schwefelemissionen durch das Schiff
3,99 höhere Emissionswerte des Pkw bei Berücksichtigung der neuen Vorschriften

Anm:
 Die Internationale Seeschifffahrtsorganisation und die EU haben eine stufenweise Absenkung der Schwefelwerte in Sondergebieten (Ostsee und Nordsee), in EU-Häfen und global bis 2020 beschlossen.
Das Problem ist also erkannt und wird relativ zeitnah beseitigt!

Anm:
 Auch hier ist eine Absenkung der Stickoxidwerte bereits Beschlusslage - vgl. nebenstehende Grafik. Problematisch dabei ist, dass niedrigere Stickoxidemissionen immer mit leicht erhöhten Kohlendioxidemissionen verbunden sind.
Es besteht ein Zielkonflikt: Pkw habe schlechte Wirkungsgrade und damit niedrige NOx-Werte, Kraftwerks- und Schiffsmotoren haben hohe Wirkungsgrade und damit schlechtere (spezifische) NOx-Werte.

für das AIDA-Schiff ergibt sich damit hier:

2 g NOx/kWh als TIER III-Vorgabe
 68 kg NOx/h
 0,026 kg NOx/h und Pers.

Emissionen Pkw (gem. NaBu-Vorgabe):

0,35 kg NOx pro Tonne
 0,35 g NOx pro kg
 1,344 g NOx / Std. und Pers.

Emissionsverhältnis:

51 höhere Emissionen durch den Pkw pro Person und Std.