

**Earth, Environmental and Life
Sciences**

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56

infodesk@tno.nl

TNO-rapport

TNO-060-UT-2011-02018

**Modules voor sluis- en lig-emissies voor
BIVAS**

Datum 24 november 2011

Auteur(s) Ir. J.H.J. Hulskotte

Aantal pagina's 12 (incl. bijlagen)

Aantal bijlagen -

Opdrachtgever Rijkswaterstaat, Dienst Verkeer en Scheepvaart
t.a.v. dhr. A. Kamst

Projectnaam Advies uitbreiding BIVAS

Projectnummer 054.01596

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2011 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Gevolgde aanpak	4
3	Resultaten	5
3.1	Emissies tijdens het stilliggen buiten de vaart	5
3.2	Emissies tijdens oponthoud bij sluizen en bruggen	8
4	Referenties	11
5	Ondertekening	12

1 Inleiding

In regionale projectstudies bestaat met enige regelmaat behoefte om de emissies tijdens het schutten in sluizen en het liggen in overnachtingslocaties door te rekenen. De systematiek hiervoor is ten dele beschikbaar in sommige projectstudies doch echter niet voor handen in het huidige BIVAS-systeem. Het is wenselijk om aparte modules in te bouwen in BIVAS waarmee deze emissies op gestandaardiseerde wijze kunnen worden meegenomen in projectstudies op grond van de in de in BIVAS-beschikbare data.

Het voorliggende rapport bevat een advies met betrekking tot de berekening van emissies in sluizen en overnachtingslocaties. Dit advies kan worden gebruikt voor de uitbreiding van BIVAS met de sluis- en lig- emissie. In het bestaande BIVAS zijn alleen de emissies tijdens het varen ingebouwd.

2 Gevolgde aanpak

Als eerste is nagegaan welke invoer reeds beschikbaar is in het BIVAS-model om gebruikt te worden voor emissieberekeningen. Het betreft bijvoorbeeld gegevens over schuttijden bij sluisen en het aantal en type passerende schepen. Vervolgens is nagegaan welke emissieberekeningsmethoden zijn toegepast voor stilliggende en passerende binnenvaartschepen in reeds uitgevoerde projectstudies.

Deze analyse levert een beschrijving op van de beschikbare invoer in het BIVAS-model en van de reeds toegepaste methoden voor sluis- en lig-emissies.

Op grond van de verzamelde informatie is een advies opgesteld met betrekking tot de methode die de meest betrouwbare informatie oplevert tegen een minimale inspanning ten aanzien van de dataverzameling.

3 Resultaten

3.1 Emissies tijdens het stilliggen buiten de vaart

De emissies van binnenvaartschepen tijdens het stilliggen buiten de vaart komen voornamelijk voort uit het gebruik van generatoren voor de elektriciteitsopwekking aan boord. Daarnaast draagt de inzet van verwarmingstoestellen bij aan de emissies. Laatstgenoemde emissies worden in deze analyse buiten beschouwing gelaten omdat deze emissies naar schatting minder dan 2% bedragen van de (NO_x) emissies van de generatoren en ruim binnen de onzekerheidsmarge van de van de generatoremissies liggen.

Vanwege de logische opbouw van het rapport wordt eerst de methode voor de berekening beschreven waarna wordt ingegaan op data die in BIVAS beschikbaar zijn.

3.1.1 *Kengetallen en methoden toegepast in vorige projecten*

Omdat het gebruik van de emissiecijfers in projecten is geconcentreerd in het kader van het Plan van Aanpak Stikstofdepositie (PAS) ligt het zwaartepunt op de NO_x -emissies.

In verschillende projectstudies is voor de berekening van de emissies gebruik gemaakt van een ruwe voorlopige inschatting van het brandstofgebruik en de emissiefactoren van generatoren.

In diverse voorgaande TNO-studies (J. van der Brugh, 2005; S. Jonkers, 2008 en J. den Boeft, 2010) is uitgegaan van een brandstofgebruik van 1 kilogram per uur in combinatie met 45 gram NO_x per kilogram brandstof en van 2,5 gram PM_{10} per kilogram brandstof.

In een studie naar de effecten van de invoering van walstroom ten behoeve van Havenbedrijf Amsterdam (Hulskotte en Jonkers, 2008) is een ander uitgangspunt gehanteerd.

In deze studie werd uitgegaan van een brandstofgebruik van 60 liter per dag of 2,1 kilogram per uur bij een dichtheid van 0,84 kg/L. De toegepaste emissiefactoren waren 50 gram NO_x per kilogram brandstof en 2 gram PM_{10} per kilogram brandstof.

3.1.2 *Keuze op grond van best beschikbare gegevens*

Onderzocht is welke primaire gegevens thans beschikbaar zijn voor de emissieberekening van het gebruik van generatoren in binnenschepen. Recentelijk is een studie van de TUD (in opdracht van CBRB) naar het gebruik van generatoren op binnenschepen uitgevoerd (de Vos & van Gils, 2011). De resultaten van deze studie, die zich voornamelijk op de kosten heeft gericht, blijken echter niet eenduidig vertaalbaar naar emissies.

Daarom is in onderhavige studie teruggevallen op basisdata die verzameld werden in het kader van het EMS-project (Hulskotte et al., 2003).

Tabel 1 Inventarisatie brandstofgebruik van binnenvaartschepen

Type schip	aantal	draaitijd (uren/jaar)	brandstof (m3/jaar)	brandstof (L/uur)	brandstof (kg/uur)
Containerschip	2	5160	29	5,6	
M0	2	2240	7	3,1	
M1	6	686	6	8,7	
M2	19	3121	5	1,6	
M3	9	2178	5	2,3	
M4	10	5144	16	3,1	
M5	9	5482	15	2,7	
M6	21	7166	17	2,4	
M7	1	7300	18	2,5	
M8	17	7899	34	4,3	
M1-M7 (gewogen gemiddelde)				2,5	2,1
M8 (gemiddelde)				4,3	3,6

Bron: Hulskotte, Bolt en Broekhuizen, 2003a (bijlage)

Uit Tabel 1 blijkt dat het cijfer van het brandstofgebruik van de walstroomstudie (Hulskotte en Jonkers, 2008) heel dicht ligt bij het cijfer uit het EMS-protocol (Hulskotte, Bolt en Broekhuizen, 2003a).

De emissiefactoren die op deze generatoren toegepast kunnen worden zijn ontleend aan een rapport waarin het EMMA-model voor mobiele machines is beschreven (Hulskotte, 2009). Het EMMA-model is momenteel de gebruikte standaard voor het berekenen van emissies van mobiele machines en is ook van toepassing op emissies van generatoren.

Tabel 2 Emissiefactoren generatoren omgerekend in gram per kilogram brandstof

Toepasbaarheid	Technologie	NO _x	PM	HC	CO
Binnenschepen behalve M8 en M9	1991-STAGE I (< 18 kW)	41,5	5,9	9,3	18,5
	Emissiefactor inclusief TAF-correctie	45,6	11,7	21,2	47,6
Binnenschepen M8 en M9	1991-STAGE I (18-37 kW)	37,4	5,3	6,9	17,2
	Emissiefactor inclusief TAF-correctie	41,1	10,5	15,7	44,1

Omdat de generatoren in het algemeen zeer laag belast zijn nemen de emissies van bepaalde stoffen sterk toe ten opzichte van de basisemissiefactoren. De aanpassingsfactoren die hiervoor gebruikt worden zijn de zogenaamde TAF-factoren (zie Tabel 3). TAF (transient adjustment factors zoals gedefinieerd in het NON-ROAD model van het Amerikaanse EPA) beschrijft het verschil in emissies tijdens dynamisch gebruik ten opzichte van stationair gebruik. Het dynamisch gebruik wordt kwalitatief omschreven. In dit geval gaat het om het dynamisch gebruik in een laag bereik van het vermogen (getypeerd met "Low").

Tabel 3 TAF-factoren toegepast op basis emissiefactoren

TAF_type	Stof	TAF_factor
Low	NO _x	1,1
Low	PM	1,97
Low	CO	2,57
Low	HC	2,29

Door combinatie van het brandstofgebruik per uur en de emissiefactoren per kilogram gebruikte brandstof zijn emissiefactoren per uur van generatoren op binnenvaartschepen afgeleid (zie Tabel 4). De emissiefactoren van PM10 zijn aanzienlijk hoger dan de oorspronkelijke PM10-emissiefactoren (die op de hoofdmotoren waren gebaseerd). Dit wordt veroorzaakt doordat de kleinere dieselmotoren van generatoren gemiddeld een hogere uitstoot hebben dan scheepsmotoren voor aandrijving. Bovendien heeft de lage belasting meer onvolledige verbranding tot gevolg waardoor de TAF-factoren voor de producten van onvolledige verbranding zoals PM10, HC en CO hoog zijn.

Tabel 4 Emissiefactoren binnenschepen ten gevolge van het gebruik van generatoren (trendfactoren voor prognoses zijn binnen haakjes aangegeven)

Type schip	Periode	brandstof (kg/uur)	NO _x (g/uur)	PM ₁₀ (g/uur)	HC (g/uur)	CO (g/uur)
Binnenschepen (behalve M8 en M9)	2010-2030	2,1	95	24	44	99
Binnenschepen M8 en M9	2010	3,6	148	38	57	160
Binnenschepen M8 en M9	2020	3,6	121 (0,81)	29 (0,76)	40 (0,70)	128 (0,80)
Binnenschepen M8 en M9	2030	3,6	110 (0,74)	27 (0,71)	39 (0,69)	128 (0,80)

De emissiefactoren van de generatoren op de grotere schepen M8 en M9 zullen naar verwachting in de toekomst afnemen. Deze generatoren vallen vanwege hun vermogen in de categorie motoren (18-37 kW) waarop de Europese emissienormering van Stage II en Stage IIIa van toepassing is. Omdat de hoogte van deze Europese emissienormen niet erg veel afwijkt van de CCR-2 norm zijn dezelfde trends in emissiefactoren aangehouden die ook voor de schepen is aangehouden (de trendfactoren zijn binnen haakjes aangegeven in tabel 4). De emissiefactoren van generatoren op kleinere schepen zullen op grond van de huidige bekende Europese emissienormering niet afnemen omdat voor deze lage vermogens geen regels zijn gesteld.

Opmerking:

In de binnenvaart begint het vervoer van koelcontainers in omvang toe te nemen. De eerste binnenlandse koelcontainerterminal is bijvoorbeeld onlangs in Wanssum in gebruik genomen. Voor generatoren ten behoeve van de koeling van containers geladen op binnenschepen is aanzienlijk meer brandstof nodig dan voor binnenvaartschepen in het algemeen. Het verdient aanbeveling om een aanvullende studie te verrichten voor projecten waarin binnenschepen of feeders geladen met koelcontainers het belangrijkste onderwerp van studie zijn.

Feeders vervoeren scheepscontainers van en naar verschillende kleinere havens en transporteren deze van of naar centrale containerterminals waar deze op of vanaf grotere containerschepen worden geladen.

3.1.3 *Advies voor berekening van emissies tijdens het stilliggen buiten de vaart*

In het BIVAS-model is geen specifieke informatie opgenomen van binnenschepen over liglocaties in havens en in overnachtingshavens. Zolang BIVAS deze informatie niet bevat zal het niet mogelijk zijn om emissies van stilliggende schepen buiten de vaart met behulp van het BIVAS model te berekenen.

Geadviseerd wordt om BIVAS in elk geval uit te breiden met de kwantitatieve gegevens voor laden en losse aan de kades van binnenhavens. Het gaat in dit geval om de locatie van de kades of havenbekkens waar lading wordt gelost of ingenomen als onderdeel van de reisinformatie die in BIVAS is opgeslagen. De gemiddelde ligtijd op een bepaalde locatie zou hier dan deel van uit moeten maken om de emissie correct te kunnen berekenen.

Hiermee is het mogelijk om zowel de emissies tijdens varen als tijdens stilliggen fijnmaziger te berekenen. In het huidige BIVAS-model liggen de voedingspunten van de reizen meestal nog buiten de havenbekkens waardoor het laatste stukje reis alsmede de daaraan gekoppelde emissies in feite nog ontbreken in het BIVAS model.

Om de emissies tijdens stilliggen te berekenen zal het ook nodig zijn om informatie over gemiddelde ligtijden van binnenvaartschepen aan kades te verzamelen en de locaties die zijn voorzien van walstroom in kaart te brengen.

Voor infrastructurele projecten kan informatie over de ligduur en het type schepen worden toegepast voor emissieberekeningen die eenvoudig kunnen worden uitgevoerd met behulp van de emissiefactoren uit Tabel 4.

3.2 **Emissies tijdens oponthoud bij sluizen en bruggen**

Het oponthoud van binnenschepen bij sluizen en bruggen heeft tot gevolg dat de emissie per tijdseenheid daalt. Doordat de snelheid echter tijdelijk tot nul wordt gereduceerd nemen de emissies als geheel toe omdat de hoofdmotoren en de hulpmotoren niet worden uitgeschakeld maar min of meer stationair draaien. Deze extra emissie wordt veroorzaakt doordat brandstof wordt gebruikt die (extra) emissies oplevert terwijl er geen extra afstand wordt afgelegd. In de volgende paragrafen wordt beschreven welke benaderingen zijn toegepast in projecten om de emissie van binnenschepen bij sluizen en bruggen te berekenen.

3.2.1 *Kengetallen en methoden toegepast in vorige projecten*

Er is slechts één studie gevonden waarin het effect van oponthoud van schepen in een sluis is berekend (den Boeft en Hulskotte, 2010). Dezelfde rekenmethode is geïmplementeerd in PRELUDE 1.0 (Erbrink et al, 2011). De methode die hierin werd toegepast is gebaseerd op een schatting van de gemiddelde schuttijd en de emissie van binnenschepen in een sluis. De emissie is geschat op 15 procent van de emissies per tijdseenheid onder normaal vaarbedrijf op dezelfde vaarweg. Het toegepaste percentage komt overeen met het stationair draaien van de motoren waarbij zo nu en dan wat wordt bijgestuurd, zoals plaatsvindt bij bruggen en sluizen.

Vervolgens worden de emissiefactoren van de verschillende stoffen (NOx en PM10) nog gecorrigeerd voor de lage belasting van de motor tijdens het schutten.

De rekenmethode die werd toegepast is met de volgende formules te beschrijven:

$$EF_{o,s} = M_{o,s} \cdot EF_{ref,s} \quad (\text{formule 1})$$

En

$$M_{o,s} = T_o \cdot \left(\frac{V_{ref}}{L_o} \right) \cdot F_p \cdot CEF_s \quad (\text{formule 2})$$

Waarbij:

$EF_{o,s}$ = Emissiefactor van stof s op het traject van oponthoud, (g/vtg.km)

$EF_{ref,s}$ = Emissiefactor van stof s op hetzelfde traject zonder oponthoud, (g/vtg/km)

Deze emissiefactor $EF_{ref,s}$ is afgeleid van EMS en is overgenomen in het BIVAS-model en in het PRELUDE-model inclusief een prognose voor de toekomstige situatie.

$M_{o,s}$ = Vermenigvuldigingsfactor van emissie van stof s op traject van oponthoud, (./.)

T_o = Tijdsduur van het oponthoud, (uur)

L_o = Lengte van het traject van oponthoud, (km)

V_{ref} = Referentiesnelheid op het traject van oponthoud, (km/uur)

F_p = Fractie van het ingezette vermogen (defaultwaarde = 15%)

CEF_s = Correctiefactor van de emissiefactor van stof s bij de defaultwaarde van het ingezette vermogen, (./.)

Tabel 5 Correctiefactor van de emissiefactor (CEF) voor verschillende stoffen

Vermogen	NOx	PM	CO	VOS
15%	1,17	1,63	3,51	2,74

Bron: Hulskotte, Bolt en Broekhuizen, 2003b, tabel 5

3.2.2 Sluizen

In het BIVAS-model is voor elke sluis een gemiddelde passeertijd (T_o) beschikbaar die afhankelijk is van de belasting en de capaciteit van de sluis. De berekening van de passeertijd van sluizen wordt berekend met het Kooman model dat binnen Rijkswaterstaat is ontwikkeld. De passeertijd (T_o) bestaat uit de overligtijd (als het schip niet in de eerstvolgende schutting meekan, moet overliggen) en de wachttijd (inclusief sluis invaren, schutten en de kolk uitvaren). Voor de gebruikte formules wordt verwezen naar de BIVAS-documentatie (<http://bivas.chartasoftware.com/Article/246>). Tevens is in BIVAS bekend wat de lengte is van het traject van de sluis die gepasseerd moet worden. Hiermee zijn alle benodigde variabelen van formule 2 voor de berekening in BIVAS beschikbaar.

3.2.3 *Bruggen*

In het BIVAS-model is aan de verschillende scheepstypen een hoogte toegekend die afhankelijk is van de belading. Indien een binnenschip een beweegbare brug moet passeren terwijl de hoogte van het schip in kwestie de veilige passeerhoogte (aanwezig in het BIVAS-model) van de brug overschrijdt zal rekening moeten worden gehouden met de bedientijd van de brug. De gemiddelde bedientijd (T_o) van een brug is in BIVAS op 5 minuten gesteld. In BIVAS hebben de bruggen vaak een lengte van ongeveer 10 m. De emissie kan dus net als bij sluizen met de werkelijke lengte, die per brug kan verschillen, worden berekend. Hiermee zijn alle benodigde variabelen, die in formule 2 moeten worden ingevuld, beschikbaar in BIVAS. Na berekening van $M_{o,s}$ kan formule 1 worden gebruikt om de emissiefactor te schatten.

4 Referenties

Jonkers S., *Luchtkwaliteitsonderzoek overnachtingshaven Lobith voor de jaren 2013 en 2020*, TNO-rapport 2008-U-R0859/R, augustus 2008

Boeft J. den, *Luchtkwaliteitsonderzoek voor de toekomstige overnachtingshaven bij Lobith (2016)*, TNO-034-UT-2010-00352_RPT_ML, 22 februari 2010

Brugh, J.H.A.M. van der, Weinhold, O., Wesseling, J.P., *Luchtkwaliteitsonderzoek uitwijkhaven Lobith voor de jaren 2003, 2010 en 2020*, TNO-rapport B&O-A R 2005/354, december 2005

Hulskotte J.H.J., Jonkers S., *Milieueffecten van de invoering van walstroom voor zee- en riviercruiseschepen en binnenvaartschepen in de haven van Amsterdam*, TNO-rapport 2008-U-R0329/B |3|, mei 2008

Hulskotte, J.H.J., E. Bolt, D. Broekhuizen, *Emissies door binnenvaart: Verbrandingsmotoren, EMS-protocol*, uitgave Adviesdienst Verkeer en Vervoer Rijkswaterstaat, Rotterdam, 2003a

Hulskotte J.H.J., Verbeek R., *Emissiemodel Mobiele Machines gebaseerd op machineverkoop in combinatie met brandstof Afzet (EMMA)*, TNO-034-UT2009-0178, november 2009

Boeft J. den, Hulskotte J.H.J., *Emissie en immissie ten gevolge van het scheepvaartverkeer op de Waal en het Maas-Waalkanaal bij Nijmegen (2007, 2010 en 2015)*, TNO—034-UT-2010-00760_RPT-ML, 19 april 2010

Hulskotte, J.H.J., E. Bolt, D. Broekhuizen, *Emissies door verbrandingsmotoren van varende en manoeuvrerende zeeschepen op Nederlands grondgebied: Verbrandingsmotoren, EMS-protocol*, uitgave Adviesdienst Verkeer en Vervoer Rijkswaterstaat, Rotterdam, 2003b

Erbrink J.J., Wolff J. de, Hulskotte J.H.J., Jonker S., Ganswijk J.W.W. van, Lanser N., *Scheepvaartmodellering Fase 2: In consensus naar een nationale aanbeveling*, KEMA rapport 50964435-TOS/HSM 1045-39, Arnhem 21 april 2011

Vos P. de, Gils R. van, *WALSTROOM VERSUS GENERATORSTROOM-een studie naar de kosten*, Technische Universiteit Delft, 15 augustus 2011

5 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever:
Rijkswaterstaat, Dienst Verkeer en Scheepvaart
T.a.v. de heer A. Kamst
Postbus 5044
2600 GA Delft

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:
-

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:
Juni 2011 – November 2011

Naam en paraaf tweede lezer:



Ir. P.W.H.G. Coenen

Ondertekening:



Ir. J.H.J. Hulskotte
Projectleider

Autorisatie vrijgave:



Ir. R.A.W. Albers MPA
Research Manager