

**TNO-rapport****R11841****Toelichting Rekenapplicatie PRELUDE  
versie 1.1****Earth, Environmental and Life  
Sciences**Princetonlaan 6  
3584 CB Utrecht  
Postbus 80015  
3508 TA Utrecht[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 42 56

[infodesk@tno.nl](mailto:infodesk@tno.nl)

Datum	20 november 2013
Auteur(s)	Ir. J.H.J. Hulskotte
Aantal pagina's	12 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	2
Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Milieu
Projectnaam	update PRELUDE
Projectnummer	060.06531

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.

© 2013 TNO

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Invoer .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Uitvoer .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Referenties.....</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Verantwoordingspagina.....</b>	<b>9</b>
<b>A</b>	<b>Versiebeheer.....</b>	<b>10</b>
<b>B</b>	<b>Vergelijking van uitkomsten bij een referentie-vaarweg.....</b>	<b>11</b>

# 1 Inleiding

PRELUDE is een rekenapplicatie in MS-Excel, waarmee op relatief eenvoudige wijze emissiegegevens worden verkregen voor binnenvaartschepen. Deze gegevens kunnen bijvoorbeeld worden gebruikt als invoer voor verspreidingsmodellen die de bijdrage berekenen van binnenvaart aan de concentraties van fijn stof ( $PM_{10}$ ) en stikstofdioxide ( $NO_2$ ) rond vaarwegen of aan de stikstofdepositie op natuurgebieden. PRELUDE 1.0 is ontwikkeld in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu binnen het project Scheepvaartmodellering Fase 2 [1].

Dit rapport geeft een toelichting op de eerste update van PRELUDE (versie 1.1). De vernieuwde emissiekentallen voor binnenvaartschepen zijn bepaald op basis van de actuele rekenregels in het EMS-protocol Emissies door binnenvaart [2] en de verdeling van schepen over vaarwegen volgens het BIVAS-model [3]. De berekening van de sluisemissies is beschreven in TNO-rapport TNO-060-UT-2011-02018 [4]. Voor de details van de verschillen tussen PRELUDE versie 1.0 en 1.1 wordt verwezen naar bijlage A. Voor het verschil in de uitkomsten wordt verwezen naar de berekening aan een referentievaarweg in bijlage B.

## 2 Invoer

De rekenapplicatie PRELUDE 1.1 bevat emissiekentallen in gram/kilometer van alle combinaties van meest voorkomende typen binnenvaartschepen. De rekenapplicatie bestaat uit een aantal tabbladen in een MS-Excel-bestand. De emissiefactoren voor het basisjaar 2010 van binnenschepen varende op alle typen vaarwegen, vaarrichtingen en ladingstoestanden staan in het tabblad "Emissieberekening". Het tabblad "Emissiekenmerken" bevat de benodigde emissie-kenmerken als snelheden en warmteoutput. Het tabblad "Trendfactoren" bevat de trendfactoren die op de emissiefactoren van het basisjaar 2010 moeten worden toegepast om de juiste emissiefactoren te verkrijgen.

Alle gegevens die moeten worden ingevoerd staan uitsluitend op het tabblad "invoerbild (INVOER)" aangegeven met blauw gemarkeerde cellen (zie Figuur 1). Om er van verzekerd te zijn dat men altijd gebruik maakt van een correct bestand wordt aangeraden altijd te starten met een ongewijzigde lege kopie van het oorspronkelijke MS-Excel-bestand.

Men kan overigens alle invoer van aantallen schepen in één keer wissen door op de knop [Reset aantal ] te drukken.

Allereerst worden enkele algemene invoergegevens gevraagd. De naam van de gebruiker en de datum zijn bedoeld voor de eigen administratie. Vervolgens komen aan bod de naam en de afstand van het vaartraject waar men de emissies voor wil berekenen. Tenslotte het jaar waarin de emissie plaatsvindt. Dit jaar moet worden gekozen binnen de periode 2010 tot en met 2030. Er wordt in de emissieberekening rekening gehouden met het jaar doordat wordt vermenigvuldigd met trendfactoren die de technische ontwikkeling van de schepen weerspiegelen. De belangrijkste invoer bestaat uit de aantallen schepen die varen op het traject waarvoor de emissies moeten worden berekend. Ten einde de jaaremmissies op een bepaald traject te verkrijgen moet men het totale aantal schepen invoeren die dit traject in een bepaald jaar passeren. Men begint met het selecteren door middel van het filter op het vaarwegtype. Men dient vooraf vast te stellen tot welke CEMT-klasse het geselecteerde vaartraject behoort (CEMT = Conference Europeene des Ministres de Transport). Men kan de CEMT-klassen vinden in bijvoorbeeld de publicatie Scheepvaartinformatie Hoofdvaarwegen [5] of de publicatie Vaarwegen in Nederland [6]. Vervolgens kan men met het keuzefilter kiezen tussen twee indelingen van schepstypen de indeling van CBS die uitsluitend op laadvermogen berust (zie het tabblad "Laadvermogenklassen") en de indeling van Rijkswaterstaat die ook rekening houdt met de vorm van het schip (bijvoorbeeld duwbakcombinaties). Raadpleeg voor de indeling van schepen de website van het [EICB](#). In principe moet de voorkeur worden gegeven aan de indeling volgens Rijkswaterstaat omdat deze een representatiever rekenresultaat zal opleveren. Men kan nog meer voorkeuzen met de filters in de volgende kolommen aangeven doch deze keuzen zijn alleen bedoeld om het invoeren van de aantallen schepen in de kolom "aantal" te vereenvoudigen. Bij het invoeren moet rekening gehouden worden met de ladingstoestand van de schepen. Indien men niet weet wat de ladingstoestand van de schepen is voert men 65% geladen schepen in en 35% ongeladen schepen. Zodra men gereed is met invoeren van de aantallen schepen is de invoer van de berekening gereed. Men kan alle invoer van aantallen schepen in één keer wissen door op de knop [Reset aantal ] te drukken.

Gebruiker	Calco Rekenaar		Gegevens uitsluitend in te voeren blauwe vakken (zie Toelichting Emissieberekening binnenvaart)		
Datum veranderd	12-nov-13				
Naam van het vaartraject	Kikkerlandse Bocht				
Afstand van het vaartraject	1	km			
Jaar van emissie	2010				
Sluis	nee				Reset aantal
<b>Kies filters om de invoer van aantallen te vereenvoudigen</b>					23000
Vaarwegtype	Indeling schepen	Scheepstype	Ladingstoestand	Richting	Aantal
CEMT II	RWS	M1	geladen	beide	1000
CEMT II	RWS	M1	leeg	beide	1000
CEMT II	RWS	M2	geladen	beide	2000
CEMT II	RWS	M2	leeg	beide	2000
CEMT II	RWS	M3	geladen	beide	3000
CEMT II	RWS	M3	leeg	beide	4000
CEMT II	RWS	M4	geladen	beide	5000
CEMT II	RWS	M4	leeg	beide	5000

Figuur 1 Fragment invoerblad PRELUDE rekenapplicatie

### *Invoer sluisdata*

Indien men een berekening wenst uit te voeren voor emissies in een schutsluis is het uitsluitend noodzakelijk de gemiddelde schutduur van de schepen in te vullen bij het invulvak schutduur. Daarvoor moet men door middel van een selectievakje sluis "ja" kiezen. De lengte van de sluis is in dit geval de lengte van het vaartraject. Aan de berekening ligt de veronderstelling ten grondslag dat schepen in de sluis nog slechts 15% van de emissies per tijdseenheid produceren. Deze veronderstelling is gebaseerd op de waarneming dat de meeste dieselmotoren ongeveer 10% van het brandstofgebruik blijven gebruiken tijdens stationair draaien. Aangezien de motoren juist boven stationair vermogen draaien in de sluis is 15% als afgeronde waarde gekozen. De emissies worden vervolgens nog gecorrigeerd met een factor 1,17 voor NO<sub>x</sub> en 1,32 voor PM<sub>10</sub> vanwege de stijging van emissiefactoren bij lage vermogens.

### 3 Uitvoer

De uitvoer van de emissieberekening staat in het tabblad "UITVOER". De emissieberekening is het resultaat van de som van het product van aantal schepen x emissiefactor x trendfactor (behorend bij het gekozen emissiejaar). Gebleken is dat de warmteoutput door middel van de thermische pluimstijging grote invloed heeft op het resultaat van de verspreidingsberekeningen. Daarom wordt ook de warmteoutput berekend in afhankelijkheid van de gekozen invoer.

De toekenning van het aantal MW is gebaseerd op de CO<sub>2</sub>-emissie waarbij ervan uitgegaan is dat de vorming van 1 kg CO<sub>2</sub> gepaard gaat aan een warmteproductie van 4 MJ, hetgeen ongeveer 30% emissie van de oorspronkelijke warmte-inhoud van de gebruikte brandstof impliceert.

PRELUDE (© TNO)					
Versie	1.1				
Gebruiker	Calco Rekenaar				
Datum veranderd	11 december 2013				
Naam van het vaartraject	Kikkerlandse Bocht				
Afstand van het vaartraject	1,0 km				
Traject intensiteit	25000 schepen/periode 2010				
Invoercontrole	ok				
Intern	ok				
Sluisemissies	nee				
Emissie per kilometer (gram/periode)				<b>Ververs Data</b>	!
Vaarrichting					
<b>Stof</b>	<b>af</b>	<b>beide</b>	<b>op</b>	<b>Totaal</b>	
NOx	0	23560218	0	23560218	
Fijn Stof	0	797482	0	797482	
Warmte-output (MW)					
Vaarrichting					
	<b>af</b>	<b>beide</b>	<b>op</b>	<b>Totaal</b>	
Total	-	0,52	-	0,52	
Snelheid (km/u)					
Vaarrichting					
	<b>af</b>	<b>beide</b>	<b>op</b>	<b>Totaal</b>	
Total	-	16,3	-	16,3	

Figuur 2 Uitvoer PRELUDE rekenapplicatie

De berekening van de uitvoer van de emissies, de harmonisch gewogen gemiddelde warmteoutput en de naar aantallen gewogen gemiddelde snelheid wordt uitgevoerd door enkele draaitabellen in Excel. Hierbij wordt bij de rivieren nog een onderscheid gemaakt tussen stroomopwaarts varen en stroomafwaarts varen. Dit onderscheid wordt gemaakt omdat de vaarrichting ten opzichte van de stroomrichting de vaarsnelheid beïnvloedt en daarmee ook de emissies per gevaren kilometer. Voor kanalen wordt dit onderscheid naar vaarrichting niet gemaakt.

De berekening wordt opgestart door op de knop [Ververs Data] te drukken. Hierdoor worden de draaitabellen in het tabblad "Optellingen" ververs. Indien er iets is gewijzigd in de invoer staat er een groot uitroepteken in rood. In dat geval is het dus noodzakelijk om op de knop [Ververs Data] te drukken.

In de rekentool PRELUDE wordt de warmteoutput berekend als met de emissie gewogen harmonisch gemiddelde. De formule die hierbij wordt gehanteerd is:

$$\text{Warmte output} = 1/\Sigma (\text{fractie CO2-emissie} / \text{Warmteoutput})$$

Dit is gewijzigd ten opzichte van PRELUDE 1.0 waarin het met het aantal schepen gewogen gemiddelde toegepast. Bij een test met willekeurige cijfers (in een realistisch bereik) als invoer (N=25) bleek dat het numerieke verschil in beide benaderingen vrijwel nihil is.

Bij het bepalen van de gemiddelde Snelheid is het aantal gewogen gemiddelde gebruikt:

$$\text{Snelheid} = \Sigma (\text{Aantal schepen} \times \text{Snelheid}) / \Sigma (\text{Aantal Schepen}).$$

Vanwege de lage vermogens in de sluis is de warmteoutput heel laag. Conform de schatting van de emissies wordt 15% van het vermogen aangehouden.

## 4 Referenties

- [1] Scheepvaartmodellering Fase 2: in consensus naar een nationale aanbeveling. KEMA, TNO, Royal Haskoning. 2011.
- [2] EMS protocol Emissies door binnenvaart verbrandingsmotoren, versie 4. Taakgroep Verkeer en Vervoer Emissieregistratie. Hulskotte J., Bolt E., Broekhuizen D. november 2012 zie [Emissieregistratie](#).
- [3] Voor de modeldocumentatie van het BIVAS-model zie: <http://bivas.chartasoftware.com/Article/332>.
- [4] Modules voor sluis en ligemissies voor BIVAS, TNO-060-UT-2011-02018, 24 november 2012.
- [5] Scheepvaartinformatie Hoofdvaarwegen. Rijkswaterstaat – DVS. Editie 2009.
- [6] Rijkswaterstaat – DID. Vaarwegen in Nederland. December 2011.
- [7] Scheepskarakteristieken van nieuwe grote schepen, MARIN Rapport nr. 24032.600/2, 10 februari 2010
- [8] Luchtkwaliteitsonderzoek Amsterdam-Rijnkanaal voor de jaren 2007, 2010, 2015 en 2020, TNO-rapport 2008-U-R0962/B, oktober 2008

## 5 Verantwoordingspagina

Naam en adres van de opdrachtgever:  
Ministerie van Infrastructuur en Milieu  
T.a.v. de heer A. Bezemer  
Postbus 20901  
2500 EX Den Haag

Namen van de projectmedewerkers:  
Ir. J.H.J. Hulskotte

Naam en paraaf tweede lezer:  
Ir. R. Dröge

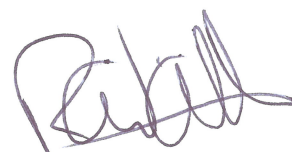


Ondertekening:



Ir. J.H.J. Hulskotte  
Projectleider

Autorisatie vrijgave:



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

## A Versiebeheer

Datum	Versie	Wijziging
Juli 2011	1.0	Geen
November 2013	1.1	Deze versie berekent enkel de emissies door voortstuwing (ipv voortstuwing en hulpvermogen).
		De onderliggende data komen uit het EMS-model gebaseerd op verkeersdata 2008 uit BIVAS: export 2011-10-17 emissies basis (2008).
		Aanvullingen bestaan uit emissies van grote schepen M10, M11 en M12 (MARIN-rapport 24032.600/2).
		Passend bij deze aanvullingen is een opsplitsing in CBS-laadvermogenklasse 8 aangebracht: zie tabblad "Laadvermogenklassen".
		Bij de vaarwegentypen zijn CEMT V en VI conform BIVAS opgesplitst in Va en Vb en VIa, VIb en VIc.
		Warmte-output is conform de aanpak in de GCN-berekeningen gebaseerd op het harmonisch gemiddelde.
		Warmte-output is jaarafhankelijk gemaakt omdat de efficiency van motoren langzaam toeneemt (hierdoor neemt de warmte-output af).
		Basisemissiefactoren zijn voor 2010 berekend waarbij na CCR2 geen verdere emissiereductie is verondersteld.
		Opsplitsing van de uitvoer in groepen warmte-output is weggelaten.
Kleine verbeteringen in de user-interface: niet invoercellen beschermd (password: TNO) en knoppen voor verversen data.		

## B Vergelijking van uitkomsten bij een referentie-vaarweg

Om een indruk te verkrijgen van de verschillen die kunnen ontstaan door het toepassen van PRELUDE 1.0 en PRELUDE 1.1 is voor een grote drukke Nederlandse vaarweg (het Amsterdam-Rijnkanaal: vaarwegtype CEMT VIb), die als referentievaarweg kan dienen, het scheepvaartverkeer ingevoerd in beide modellen. De invoer is overgenomen uit TNO-rapport [2008-U-R0962/B [8] waarbij is uitgegaan van 2/3 geladen schepen en 1/3 lege schepen.

Tabel B1 Scheepvaartintensiteit in 2010 (Beatrixluis+Irenesluis)

Scheepstype	geladen	leeg	totaal
BI	421	210	631
BII-1	951	476	1427
BII-2b	275	137	412
BII-2I	619	309	928
BII-4	177	88	265
BII-6I	1	0	1
BIIL-1 <sup>2</sup>	482	241	723
BO1	11	5	16
BO2	33	17	50
BO3	66	33	99
BO4	159	80	239
C1b	28	14	42
C1I	17	9	26
C2b	49	25	74
C2I	253	127	380
C3b	87	43	130
C3I	717	358	1075
C4	25	12	37
M0 <sup>1</sup>	8468	4234	12702
M1	596	298	894
M2	7085	3543	10628
M3	5493	2746	8239
M4	5701	2850	8551
M5	5377	2688	8065
M6	10085	5043	15128
M7	3332	1666	4998
M8	15683	7841	23524
Totaal	66191	33093	99284

<sup>1</sup> Niet geclassificeerde vaartuigen (12154) zijn meegerekend als M0.

<sup>2</sup> In PRELUDE 1.1. als BII-1 meegerekend.

Tabel B2 Vergelijking uitkomsten van PRELUDE 1.0 en 1.1 voor een referentievaarweg

Versie	Basisjaar	NO <sub>x</sub> (ton/km)	PM <sub>10</sub> (ton/km)	Warmte (MW)	Snelheid (km/uur)
PRELUDE 1.0	2010	32,18	1,06	0,41	15,3
PRELUDE 1.1	2010	32,59	1,10	0,39	14,9
PRELUDE 1.0	2020	25,97	0,72	0,41	15,3
PRELUDE 1.1	2020	26,30	0,75	0,37	14,9

Vergelijking van de uitkomsten van de berekening aan een referentievaarweg met PRELUDE 1.0 en 1.1 leert dat de uitkomsten zeer dicht bij elkaar liggen. PRELUDE 1.1 komt met marginaal hogere waarden voor emissies en een voor de verspreiding iets ongunstiger waarde van de warmteoutput. Zoals te zien is de warmteoutput in PRELUDE 1.1 jaarafhankelijk geworden.