

Notitie

Aan
PO Mosselcultuur

Van
Ir. J.H.J. Hulskotte

Onderwerp
Berekening emissie NOx van mosselschepen

**Circular, Economy &
Environment**

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 5

Datum

18 februari 2021

Onze referentie

100337945

E-mail

jan.hulskotte@tno.nl

Doorkiesnummer

+31(88 662 04 3

INLEIDING

Deze notitie beoogt een beknopt inzicht te geven in de methode waarmee de emissie van NOx door mossel-kotters is berekend. Bij de berekening is gebruik gemaakt van de AIS-gegevens die over 2019 zijn opgeslagen door de Kustwacht. Deze gegevens zijn bewerkt door MARIN en doorgegeven aan TNO met toestemming van de individuele eigenaren van de mosselkotters onder voorbehoud dat deze gegevens uitsluitend ten behoeve van de Natura-2000 vergunningverlening mogen worden aangewend. De belangrijkste resultaten uit de berekening zijn eveneens opgenomen in deze notitie.

METHODIEK EMISSIEBEREKENING

De methode die gebruikt is voor de berekening van de emissies van NOx door mosselkotters is in essentie gelijk aan de emissieberekening van binnenvaartschepen. De motoren die worden toegepast in de visskotters worden eveneens veel toegepast in binnenschepen. Daarom kunnen dezelfde emissiefactoren worden toegepast die voor binnenschepen gebruikelijk zijn. De berekening van het vermogen is afhankelijk van de snelheid van binnenschepen is echter niet van toepassing op mosselkotters. Daarom is er een universele snelheid-vermogen-curve afgeleid (waarover verder meer is te lezen).

De formule voor de emissieberekening is universeel:

Emissie = Vermogen x Emissiefactor x Tijd, (Formule 1)

Waarbij:

Emissie, gram

Vermogen, kW (afhankelijk van snelheid en geïnstalleerd motorvermogen)

Emissiefactor, gram/kWh (zie Tabel 1)

Tijd, uur

De berekening van het diesilverbruik is volledig analoog aan het brandstofgebruik behalve dat in plaats van de emissiefactor het specifiek brandstofgebruik (zie Tabel 2) wordt ingevuld.

EMISSIEFACTOREN

De emissiefactoren van stikstofoxiden die zijn toegepast in de berekeningen staan in onderstaande Tabel 1.

Datum

18 februari 2021

Onze referentie

100337945

Blad

2/12

Tabel 1: Emissiefactoren NO_x in afhankelijkheid van motor-bouwjaar en de momentane motorbelasting, gram/kWh

Motorbelasting % MCR	1980 - 1984	1985 - 1989	1990 - 1994	1995 - 2001	2002 - 2007	2008 - 2019
0	13,9	13,5	13,5	12,6	12,3	9,9
10	13,9	13,5	13,5	12,6	12,3	9,9
15	12,2	11,8	11,8	11	10,8	8,9
20	11,4	11,1	11,1	10,3	10,1	8,4
25	11	10,7	10,7	10	9,8	8,1
30	10,8	10,5	10,5	9,8	9,6	7,9
35	10,7	10,4	10,4	9,7	9,5	7,7
40	10,6	10,3	10,3	9,6	9,4	7,7
45	10,5	10,2	10,2	9,5	9,3	7,6
50	10,4	10,1	10,1	9,4	9,2	7,5
55	10,4	10,1	10,1	9,4	9,2	7,5
60	10,3	10	10	9,3	9,1	7,4
70	10,2	9,9	9,9	9,2	9	7,4
75	10,2	9,9	9,9	9,2	9	7,3
80	10,1	9,8	9,8	9,1	8,9	7,3
90	10,1	9,8	9,8	9,1	8,9	7,3
95	10,1	9,8	9,8	9,1	8,9	7,3
105	10,1	10,1	10,1	9,4	9,2	7,3

Bron; EMS-protocol 2018

In Tabel 1 is te zien dat bij lage motorbelasting de emissiefactor van NO_x stijgt. Bij de moderne motoren is deze stijging relatief gezien groter echter de emissiefactoren van moderne motoren zijn wat lager.

In Tabel 2 is het specifieke brandstofgebruik van de motoren gegeven in afhankelijkheid van motorbelasting en motorbouwjaar.

Tabel 2: Specifiek brandstofgebruik in afhankelijkheid van motor-bouwjaar en de momentane motorbelasting, gram/kWh

Motorbelasting % MCR	1980 - 1984	1985 - 1989	1990 - 1994	1995 - 2001	2002 - 2007	2008 - 2019
0	272	266	266	248	242	242
10	272	266	266	248	242	242
15	266	260	260	242	236	236
20	259	253	253	236	230	230
25	254	249	249	232	226	226
30	250	244	244	228	222	222
35	245	240	240	223	218	218
40	241	235	235	219	214	214
45	236	231	231	215	210	210
50	234	229	229	213	208	208
55	232	227	227	211	206	206
60	230	224	224	209	204	204
70	227	222	222	207	202	202
75	225	220	220	205	200	200
80	225	220	220	205	200	200
90	227	222	222	207	202	202
95	230	224	224	209	204	204
105	220	220	220	205	200	200

Bron; EMS-protocol 2018

Datum
18 februari 2021

Onze referentie
100337945

Blad
3/12

VERMOGEN

De activiteit van de mossel-kotters is globaal te verdelen in stomen en werk op de percelen. Deze verdeling is zichtbaar te maken door de snelheid van de kotters af te zetten tegen de tijd.

Datum

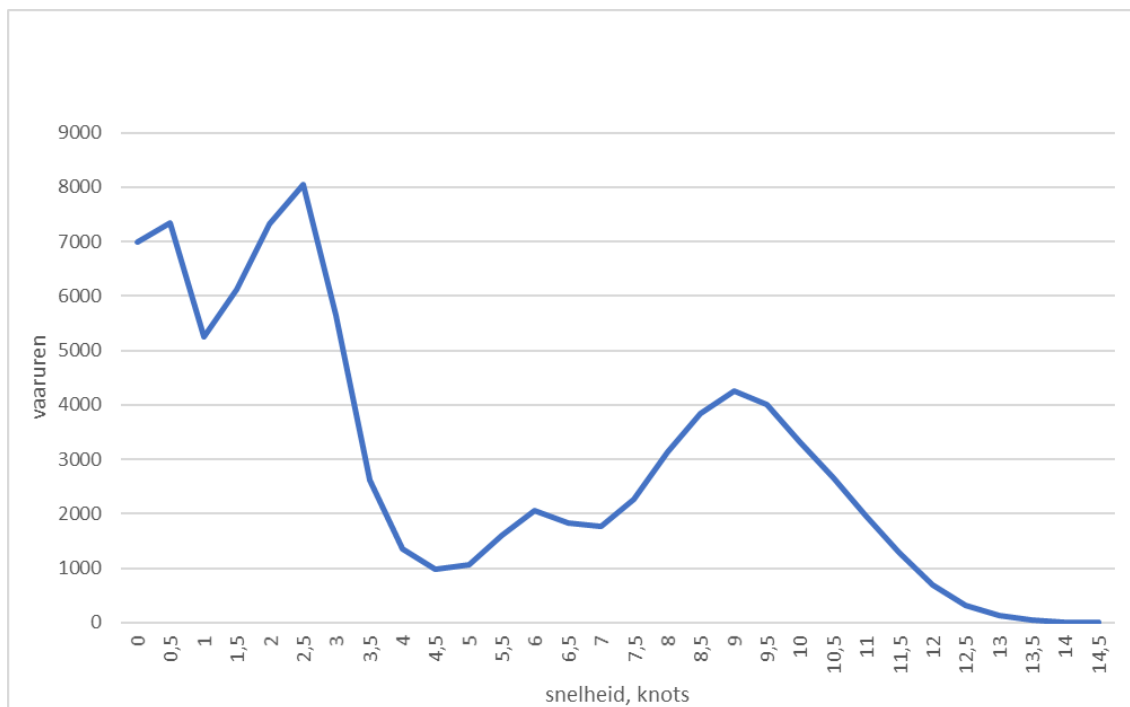
18 februari 2021

Onze referentie

100337945

Blad

4/12



Figuur 1: Het aantal vaaruren als functie van de snelheid in AIS-data, Vaaruren

De motorbelasting tijdens stomen is geschat door te veronderstellen dat de maximum vaarsnelheid ongeveer op 15 knopen ligt en dat de nominale motorbelasting dan op 105% uitkomt. Uit de waarnemingen blijkt dat 15 knopen in de praktijk nagenoeg niet voorkomt. Het relatieve vermogen is geschat door een de gebruikelijke power-law curve toe te passen (Coello et al, 2015), die enigszins is aangepast om het effect van ondiep water en andere bijkomende wrijvingscomponenten te verrekenen:

$$\text{RelVermogen} = (V_a/V_0)^3 + 0,125) / (1+0,125) \times 105\%, \text{ (Formule 2)}$$

Waarbij:

RelVermogen = Relatief vermogen, %MCR

V_a = Snelheid actueel, knots ($V \geq 0,1$)

V_0 = maximum snelheid (15 knots)

Aangenomen is dat er gestoomd wordt als er boven de 5 knopen wordt gevaren.

Datum
18 februari 2021

Onze referentie
100337945

Blad
5/12

Wanneer er werkzaamheden op percelen plaatsvinden dan is er relatief meer vermogen nodig dan tijdens stomen omdat er vaak in bochten wordt gevaren en omdat het schip telkens weer op gang moet worden gebracht na te hebben stilgelegen, hetgeen energie kost. Uiteraard is dan de vermogenscurve minder eenduidig dan tijdens stomen. Niettemin bestaat de relatie tussen snelheid en vermogen dan nog steeds.

In de berekeningen is aangenomen dat bij snelheden van 5 knopen en lager werkzaamheden worden uitgevoerd. Daarbij is de snelheid-vermogen curve gedefinieerd volgens onderstaande formule:

$$\text{RelVermogen} = (V_a/V_0)^3 + 0,2) / (1+0,2) \times 100\%, \text{ (Formule 3)}$$

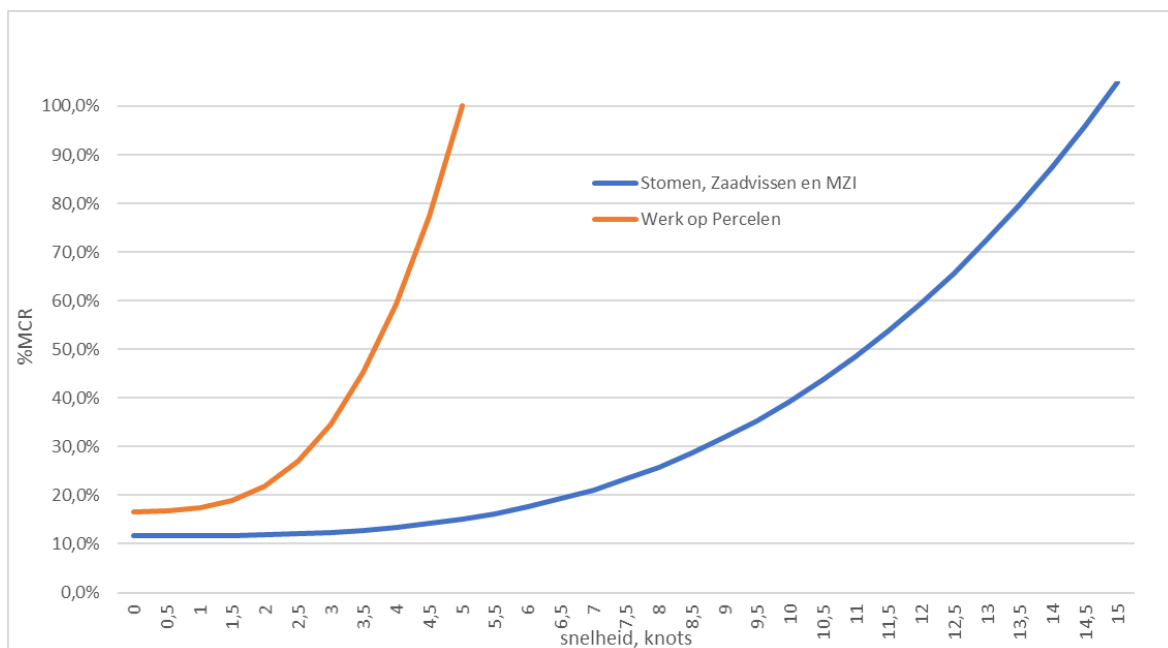
Waarbij:

RelVermogen, %MCR

V_a = Snelheid actueel, knots ($0,1 \leq V \leq 5$)

V_0 = maximum snelheid (5 knots)

De uitkomst van formule 2 en 3 is grafisch weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2: Relatief motorvermogen als functie van de snelheid, %MCR

Het momentane Vermogen uit formule 1 kan worden berekend door het Relatief vermogen te vermenigvuldigen met het vermogen van de voortstuwingsmotor(en) van de individuele kotters.

$$\text{Vermogen} = \text{Relvermogen} \times \text{Vermogenschip (pK)} \times 0,736$$

PRAKTISCHE UITVOERING EMISSIEBEREKENING

Door een combinatie van de verschillende data is de emissieberekening uitgevoerd per afzonderlijk datapunt (2,346,696 stuks). In elk data-punt opgeleverd in de AIS-data is beschikbaar: de scheepsidentificatie, de snelheid, de geografische positie en het aantal seconden dat is verstreken sinds het vorige datapunt.

Via de enquête onder de eigenaren van de mosselschepen zijn het vermogen en de ouderdom van de meeste scheepsmotoren bekend. Indien de motorleeftijd niet bekend was is de leeftijd van het schip gebruikt.

Met de combinatie van motorleeftijd en de vermogen-snelheidscurve kunnen de emissiefactoren (Tabel 1) worden geselecteerd.

De snelheid is berekend door uit te gaan van het verschil in positie (x_center_utm en y_center_utm in meter) tussen twee opeenvolgende waarnemingen en te delen door de verstreken tijd in seconden. De opgegeven snelheid in de AIS-data bleek bij lage snelheden veel minder betrouwbaar te zijn. Bij een berekende snelheid lager dan 0,1 knots is aangenomen dat het schip stilligt.

Het vermogen wordt berekend door het relatieve vermogen te vermenigvuldigen met het vermogen van de individuele mosselschepen zoals opgegeven in de enquête (indien niet opgegeven opgezocht in de EU-vergunningsdata). Bij het vermogen is permanent 10 kW hulpvermogen opgeteld om rekening te houden met het gebruik door hulpmotoren. Ook tijdens het stilliggen is rekening gehouden met 10 kW hulpvermogen. Om een emissiefactor te kunnen bepalen is de deelbelasting van hulpmotoren geschat op 10 procent. In het algemeen is bekend dat hulpmotoren de meeste tijd stationair en nagenoeg onbelast draaien.

Datum

18 februari 2021

Onze referentie

100337945

Blad

6/12

RESULTATEN

Om inzicht te geven in zowel emissies als in brandstofgebruik zijn berekende emissies en brandstofgebruik uitgezet tegen de snelheid (afgerond in 0,5 knots). Tevens is met gebruik van data van de mosselraad een opsplitsing gemaakt in de activiteiten van de mosselschepen en de daarbij optredende emissie. Het onderscheid dat hierbij is gemaakt betreft: werk op mosselpercelen (Percelen), Mosselzaadinvanginstallaties (MZI), mosselzaad vissen (Zaadvissen) en Stomen (Overig). Bij snelheden minder dan 0,1 knoop mag worden verondersteld dat het vaartuig stilligt. Omdat bij de activiteit Percelen, MZI en Zaadvissen het stilliggen onderdeel uit maakt van de activiteit is bij de berekening van de gemiddelde emissie per uur hiermee rekening gehouden.

Datum
18 februari 2021

Onze referentie
100337945

Blad
7/12

Tabel 3: Percelen: Emissie van stikstofoxiden en brandstofgebruik afgezet tegen snelheid

Snelheid (knots)	NOx (ton)	Diesel (ton)	Tijd (uren)	Nox (g/kg diesel)	Nox (g/uur)
<0,1	1,075	22,1	8874	49	121
0,1	1,478	33,8	1033	44	1431
0,5	3,888	88,7	2672	44	1455
1,0	5,102	116,8	3413	44	1495
1,5	7,011	166,1	4601	42	1524
2,0	10,285	243,8	5897	42	1744
2,5	13,732	331,0	6661	41	2062
3,0	11,613	280,1	4580	41	2536
3,5	5,980	143,1	1861	42	3213
4,0	3,263	77,7	794	42	4110
4,5	2,196	51,8	427	42	5149
5,0	1,732	41,7	261	42	6645
>5	5,954	142,6	2681	42	2221
Totaal	73,3	1739,1	43753	42	1675

Tabel 4: MZI: Emissie van stikstofoxiden en brandstofgebruik afgezet tegen snelheid

Snelheid (knots)	NOx (ton)	Diesel (ton)	Tijd (uren)	Nox (g/kg diesel)	Nox (g/uur)
<0,1	0,419	8,563	3473	49	121
0,1	1,270	26,240	1137	48	1117
0,5	0,707	14,817	640	48	1106
1,0	0,184	3,921	168	47	1100
1,5	0,096	2,044	86	47	1118
2,0	0,064	1,361	55	47	1154
>2	0,331	7,834	217	42	1529
Totaal	3,072	64,8	5775	47	532

Datum
18 februari 2021

Tabel 5: Stomen (Overig): Emissie van stikstofoxiden en brandstofgebruik afgezet tegen snelheid

Onze referentie
100337945

Blad
8/12

Snelheid (knots)	NOx (ton)	Diesel (ton)	Tijd (uren)	Nox (g/kg diesel)	Nox (g/uur)
0,1	5,295	108,4	4691	49	1129
0,5	4,375	89,9	3756	49	1165
1,0	1,577	32,4	1414	49	1115
1,5	1,260	25,9	1146	49	1099
2,0	1,069	21,7	1006	49	1062
2,5	1,023	20,9	959	49	1066
3,0	0,894	18,3	783	49	1142
3,5	0,653	14,9	612	44	1066
4,0	0,529	12,1	482	44	1097
4,5	0,576	13,1	496	44	1161
5,0	0,939	21,3	766	44	1227
5,5	1,703	38,7	1361	44	1251
6,0	2,429	57,5	1852	42	1312
6,5	2,390	57,0	1629	42	1468
7,0	2,444	57,5	1554	43	1573
7,5	3,298	79,1	2017	42	1635
8,0	5,087	122,4	2823	42	1802
8,5	6,912	167,2	3491	41	1980
9,0	8,676	210,9	3903	41	2223
9,5	9,231	223,1	3675	41	2512
10,0	8,532	205,2	3032	42	2814
10,5	7,614	181,9	2430	42	3134
11,0	6,355	152,5	1813	42	3505
11,5	4,797	114,5	1206	42	3977
12,0	2,924	69,8	652	42	4481
12,5	1,549	36,7	306	42	5055
13,0	0,662	15,8	120	42	5495
13,5	0,248	5,9	41	42	6034
14,0	0,072	1,8	11	40	6391
14,5	0,029	0,7	4	40	6524
15,0	0,016	0,4	2	41	7357
Totaal	93,2	2177	48037	43	1939

Datum
18 februari 2021

Onze referentie
100337945

Blad
9/12

Tabel 6: Zaadvissen: Emissie van stikstofoxiden en brandstofgebruik afgezet tegen snelheid

Snelheid (knots)	NOx (ton)	Diesel (ton)	Tijd (uren)	Nox (g/kg diesel)	Nox (g/uur)
<0,1	0,085	1,7	684	50	124
0,1	0,100	2,0	93	50	1066
0,5	0,215	4,4	187	49	1148
1,0	0,228	4,7	194	49	1174
1,5	0,272	5,6	227	48	1201
2,0	0,341	7,1	281	48	1212
2,5	0,364	7,5	292	48	1247
3,0	0,252	5,2	200	48	1260
3,5	0,099	2,3	88	44	1124
4,0	0,053	1,2	45	43	1186
4,5	0,028	0,6	22	44	1241
5,0	0,018	0,4	14	44	1297
>5	0,311	7,5	152	42	2038
Totaal	2,4	50,2	2480,3	47	954

Tabel 7: Stilliggen (in havens): Emissie van stikstofoxiden en brandstofgebruik afgezet tegen snelheid

Snelheid (knots)	NOx (ton)	Diesel (ton)	Tijd (uren)	Nox (g/kg diesel)	Nox (g/uur)
<0,1	37,7	769,3	308808	49	122

Tabel 8: Overzicht van emissie van NOx (ton) en dieselgebruik (ton) in 2019 met onderscheid naar activiteit en duur van activiteit in uren

Activiteit	NOx (ton)	Diesel (ton)	Tijd (uren)	Nox (g/kg diesel)	Nox (g/uur)
Percelen*	73,3	1739,1	43753	42	1675
MZI*	3,07	64,8	5775	47	532
Zaadvissen*	2,4	50,2	2480	47	954
Overig&	93,2	2177	48037	43	1939
Overig stilliggen	37,7	769,3	308808	49	122
Totaal	210	4800	408853		

* emissies inclusief bij snelheden onder 0,1 knoop (gedefinieerd als stilliggen); & emissies exclusief bij snelheden onder 0,1 knoop (gedefinieerd als stilliggen)

Tabel 9: Overzicht van emissie van NOx (ton) in 2019 tijdens varen

Activiteit	NOx (ton)	Afstand (kilometer)	Nox (g/kilometer)
Percelen	72,23	165684	436
MZI	2,71	4053	668
Zaadvissen	2,28	8242	277
Overig	93,2	562233	166
Totaal	170,4	740212	230

De emissies en emissiekentallen die in Tabel 9 zijn weergegeven zijn exclusief de afstand die vaartuigen kunnen hebben afgelegd bij snelheden onder 0,1 knoop (gedefinieerd als stilliggen).

Datum

18 februari 2021

Onze referentie

100337945

Blad

10/12

CONCLUSIE

De emissieberekening is uitgevoerd voor 54 mosselkotters. De totale emissie van NO_x komt hiermee uit op 210 ton per jaar en het totale verbruik van diesel bedraagt iets meer dan 4800 ton per jaar (zie Totaal in tabel 8). Het gemiddelde dieselgebruik per mosselkotter komt daarmee neer op 89 ton/jaar waarvan 22 ton/jaar in de hulpmotoren.

Uit een enquête onder de eigenaren van de mosselkotters die voor 38 kotters voldoende compleet was ingevuld resulteerde een totaal gemiddeld dieselgebruik van 107 ton/jaar waarvan 17 ton in de hulpmotoren. Mogelijk is de enquête voor de wat beter bezette mosselkotters meer compleet ingevuld. Hierdoor kan het relatieve gebruik van de hulpmotoren in de enquête ten opzichte van de hier gepresenteerd berekening iets lager zijn uitgevallen en het absolute gebruik van diesel wat hoger.

Rekening houdend met onzekerheden van zowel de hier gepresenteerde berekening als met onzekerheden van de enquête kan de conclusie worden getrokken dat het resultaat van de berekening goed overeenstemt met het resultaat van de enquête.

Datum

18 februari 2021

Onze referentie

100337945

Blad

11/12

REFERENTIES

Hulskotte J., *EMS-protocol Emissies door Binnenvaart: Verbrandingsmotoren*,
Versie 5, 20 november 2018

Coello J., Williams I., Hudson D.A., Kemp S., *An AIS-based approach to calculate
atmospheric emissions from the UK fishing fleet*, Atmospheric Environment 114
(2015), 1-7 <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.05.011>

Datum

18 februari 2021

Onze referentie

100337945

Blad

12/12