

Rekenstappen voor emissietool Gemeente Amsterdam

TNO 2024 R11636 – 6 september 2024

Rekenstappen voor emissietool Gemeente Amsterdam

Auteurs	Pim van Mensch, Annette Rondaij, Norbert Ligterink
Exemplaar nummer	2024-STL-RAP-100354594
Aantal pagina's	20 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	1
Sponsor	Gemeente Amsterdam
Projectnumma	Rekenregels Gem. Amsterdam
Projectnummer	060.53201/01.24.01

Alle rechten voorbehouden

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

© 2024 TNO

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de rekenmethodiek en kentallen ter ondersteuning voor de ontwikkeling van een (web-based) emissietool van Gemeente Amsterdam. Deze emissietool rekent aan de emissies van wegtransport en mobiele werktuigen. In het verleden heeft TNO een soortgelijke tool in Excel opgeleverd aan Gemeente Amsterdam. Inmiddels zijn de rekenmethodes en kentallen van deze Exceltool niet meer up-to-date. Gemeente Amsterdam werkt daarom aan een gebruiksvriendelijke (web-based) versie van de tool. TNO ondersteunt daarbij door in deze rapportage de rekenmethodieken te beschrijven en kentallen aan te leveren.

De rekenmethodieken om emissies van CO₂, NO_x, NH₃ en fijnstof te berekenen staan stapsgewijs en beknopt beschreven. Voor de mobiele werktuigen, zijn de stappen van de berekening voor NO_x en NH₃ gebaseerd op de AUB-methode (AdBlue, Uren, Brandstofverbruik) [1] en de U-methode (Uren) [2]. Voor de methodiek van het bepalen van CO₂-emissies van mobiele werktuigen zijn dezelfde uitgangspunten gebruikt als in het rapport over de AUB-methode [1]. Voor de berekening van fijnstof is ten behoeve van deze opdracht een methode ontwikkeld om op basis van minimale gegevens over de type en inzet van een mobiel werktuig, namelijk het brandstofverbruik en de Stageklasse, de fijnstofemissies te schatten. Voor mobiele werktuigen geldt dat alle rekenmethodes alleen geschikt zijn voor het bepalen van de emissies van mobiele werktuigen met een dieselmotor. Om de emissies van wegtransport te berekenen, levert TNO emissiefactoren in gram/kilometer van verschillende type voertuigen. Op basis van kilometers per wegtype (stad, buitenweg, snelweg) en voertuigtype kan met de emissiefactoren een inschatting worden gemaakt van de emissies. Voor de emissies van NO_x, NH₃ en fijnstof speelt ook het aantal koude starts mee.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Inleiding	5
2 Mobiele werktuigen	6
2.1 Rekenstappen NO _x - en NH ₃ -uitstoot	6
2.2 Rekenstappen CO ₂ -uitstoot	10
2.3 Rekenstappen fijnstof uitstoot (PM ₁₀)	11
3 Wegverkeer	14
Referenties	17
Ondertekening.....	18
 Bijlage	
Bijlage A: Koppeltabel voor emissieklasse wegvoertuigen	19

1 Inleiding

In het verleden heeft TNO een Exceltool opgeleverd aan Gemeente Amsterdam die rekent aan de emissies van mobiele werktuigen en wegtransport. In de tussentijd zijn de rekenmethodes en kentallen gewijzigd, waardoor de Exceltool niet meer up-to-date is. De Gemeente Amsterdam werkt momenteel aan een meer gebruiksvriendelijke (web-based tool) met vergelijkbare functionaliteiten als de Exceltool. TNO is gevraagd om de rekenregels en kentallen te beschrijven waarmee de Gemeente Amsterdam de nieuwe rekentool kan opzetten.

In dit rapport staan de stappen uitgewerkt van de rekenmethodes. Voor mobiele werktuigen gaat het om de rekenstappen van de AUB-methode (AdBlue, Uren, Brandstof) [1] en de U-methode (Uren) [2]. Deze methoden berekenen de emissies van NO_x en NH₃ van mobiele werktuigen en van de hulpfuncties van voertuigen (dit gaat om wegvoertuigen die actief zijn op de bouwplaats, zoals kiepwagens, betonmixers en vrachtwagens met een kraan). Ook staan de formules beschreven om de CO₂-uitstoot te berekenen op basis van maximaal motorvermogen, gemiddelde motorbelasting en bouwjaar of op basis van brandstofverbruik. Voor fijnstofemissies is een methode opgezet op basis van brandstofverbruik en de emissieklasse van het mobiele werktuig. Voor het geval dat het brandstofverbruik niet bekend is, wordt een methode beschreven hoe het brandstofverbruik berekend kan worden.

Voor wegverkeer kunnen de emissies worden berekend op basis van 1) de gereden voertuigkilometers op wegtypes *stad*, *buitenweg* en *snelweg*, en 2) emissiefactoren in gram per kilometer en 3) emissiefactoren bij koude start.

2 Mobiele werktuigen

In dit hoofdstuk worden de rekenmethoden voor de emissies van NO_x , NH_3 , CO_2 en PM_{10} van mobiele werktuigen stapsgewijs beschreven. De rekenmethoden zijn alleen bedoeld voor het berekenen van emissies van mobiele werktuigen met een dieselmotor. De focus is op diesel-aangedreven machines, aangezien zij meer dan 95% van de landelijke emissies vormen.

2.1 Rekenstappen NO_x - en NH_3 -uitstoot

Om te beginnen worden twee rekenmethoden beschreven om de emissies van NO_x en NH_3 te bepalen. De meest nauwkeurige rekenmethode om de NO_x - en NH_3 -uitstoot te bepalen voor mobiele werktuigen is door het AdBlue-verbruik, de draaiuren en het brandstofverbruik te gebruiken. Dit wordt ook wel aangeduid als de AUB-methode [1]. Het gebruik van de AUB-methode heeft de voorkeur boven het gebruik van de tweede methode: de U-methode. Als het brandstofverbruik en (indien van toepassing) het AdBlue-verbruik onbekend zijn, kan de U-methode worden gebruikt voor een inschatting van de emissies op basis van alleen het aantal draaiuren.

AUB-methode (AdBlue-verbruik, Uren en Brandstofverbruik)

De rekenstappen van de AUB-methode worden in dit hoofdstuk beknopt beschreven. Een uitgebreide uitleg en onderbouwing van de methode is te vinden in het TNO-rapport met referentie TNO-2021-R12305 [1]. De methodiek is ten opzichte van dat rapport ongewijzigd gebleven en de coëfficiënten zijn niet geüpdatet.

De invoergegevens die in Tabel 2.1 staan zijn benodigd voor de berekening. Indien de Stage-klasse (emissieklasse) niet bekend is, kan middels het bouwjaar in combinatie met het maximaal vermogen de Stage-klasse ingeschat worden. Het AdBlue-verbruik is niet voor alle mobiele werktuigen benodigd, dit is afhankelijk van emissieklasse (Stage-klasse) en het motorvermogen. De classificatie voor mobiele werktuigen is weergegeven in Tabel 2.2, de categorieën met AdBlue-verbruik zijn de categorieën “C” en “D”. In de praktijk komt het voor dat het AdBlue-verbruik niet bekend is bij de gebruiker. Wanneer het AdBlue-verbruik niet bekend is bij de gebruiker, kan voor categorie C een default AdBlue-verbruik van 3% van het brandstofverbruik worden genomen (bijvoorbeeld: 100 liter diesel = 3 liter AdBlue), voor categorie D is dat 6%. Idealiter wordt het AdBlue-verbruik echter door de gebruiker zelf bepaald.

Invoergegevens

Tabel 2.1: Invoergegevens mobiele werktuigen – AUB-methode

Inputvelden
Maximaal vermogen [kW]
Bouwjaar of Stage-klasse
Aantal draaiuren
Brandstofverbruik [L]
AdBlue-verbruik [L]

Rekenstappen

Stap 1) Bepaal op basis van het vermogen [kW] en het bouwjaar de categorie (X, A, B, C of D) van de machine met behulp van Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Tabel voor classificatie van mobiele werktuigen

	[...-2001]	[2002-2005]	[2006-2010]	[2011-2013]	[2014-2018]	[2019-...]
Vermogen [kW]	Stage-I	Stage-II	Stage-IIIA	Stage-IIIB	Stage-IV	Stage-V
(...-56)	X	X	X	A	A	A
[56-75)	X	X	A	A	D	D
[75-130)	X	A	B	B	D	D
[130-560)	X	A	B	C	D	D
[560-...	X	X	X	X	X	B
genset [560-...]	X	X	X	X	X	C ¹

Er zijn daarnaast nog drie andere toepassingen van verbrandingsmotoren in mobiele werktuigen, die worden aangeduid als volgt:

Tabel 2.3: Overige toepassingen van verbrandingsmotoren in mobiele werktuigen

E	machines met benzine- en LPG-motoren.
MUT	alle mobiele werktuigen geschikt voor op de weg, zoals kiepwagens en mobiele kranen, op twee assen, onder de 20 ton maximaal gewicht
ZUT	alle mobiele werktuigen geschikt voor op de weg, zoals kiepwagens en mobiele kranen, op drie of meer assen, vanaf 20 ton maximaal gewicht

Stap 2) Er moeten twee controles op de invoer worden uitgevoerd:

- Voor machinegroep met categorie C mag het AdBlue-verbruik niet hoger zijn dan 4% van het dieselverbruik. Indien het AdBlue-verbruik lager is dan 3%, dan kan voor deze rekentool gerekend worden met 3%. De afkapping op 3% wordt in deze situatie gedaan om gebruikers die hun AdBlue-verbruik zelf bijhouden niet te benadelen ten opzichte van gebruikers die de default-waarde gebruiken.

¹ Volgens de Stage V-standaarden (vanaf 2019) hebben generatorsets / stationaire werktuigen met een motor van >560 kW andere emissielimieten dan andere machines met een motor van >560 kW en zijn zodoende apart opgenomen in **Tabel 2.2** onder de benaming 'genset [560-...]'.

Het wordt aanbevolen om deze berekening op de achtergrond door te voeren zodat het daadwerkelijke AdBlue-verbruik wel wordt ingevoerd en zichtbaar wordt. Het wordt aanbevolen dat de beheerders van de rekentool contact zoeken met de gebruiker wanneer het AdBlue-verbruik onder de default-waarde komt. Dit is nodig om te achterhalen waar het lage AdBlue-verbruik vandaan komt, mogelijk is er een defect aan het nabehandelingssysteem waardoor de NO_x-emissies in de praktijk te hoog zijn.

- Voor machinegroep met categorie D mag het AdBlue-verbruik niet hoger zijn dan 7% van het diesilverbruik. Indien het AdBlue-verbruik lager is dan 6%, dan kan voor deze rekentool gerekend worden met 6%, dit wordt gedaan om dezelfde reden als hierboven beschreven.

Als de waarden te hoog zijn (>4% en >7%), wordt het AdBlue-verbruik afgekapt op de maximale waarden.

Stap 3) Gebruik de gevonden categorie, het aantal liter brandstof en het aantal liter AdBlue (indien van toepassing) om de emissies van NO_x en NH₃ te berekenen met onderstaande formules (zie Tabel 2.4 voor coëfficiënten Q_b, Q_u, Q_a, P_b en P_u) van de AUB-methode [1]

$$\text{NO}_x \text{ [kg]} = Q_b * \text{liter brandstof} + Q_u * \text{draaiuren} + Q_a * \text{liter AdBlue}$$

$$\text{NH}_3 \text{ [g]} = (P_b * \text{liter brandstof} + P_u * \text{draaiuren}) / 1000$$

Voor MUT en ZUT, de wegvoertuigen, gaat het om de werkzaamheden die op de bouwplaats (of op een andere werklocatie) plaatsvinden en dus gaat het om het aantal uren op de bouwplaats met de motor aan. Voor de wegvoertuigen is de emissieberekening niet op basis van brandstofverbruik, omdat het brandstofverbruik op de bouwplaats moeilijk te scheiden is van het brandstofverbruik op de weg [1].

Tabel 2.4: Coëfficiënten voor de berekening van NO_x- en NH₃-emissies van mobiele werktuigen.

Coëfficiënten	X	A	B	C	D	E	MUT	ZUT	
Q _b	0,03	0,02	0,015	0,025	0,033	0,004			Per liter
Q _u	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005		0,12	0,2	Per uur
Q _a				-0,46	-0,46				AdBlue
P _b	0,0000075	0,0000075	0,0000075	0,00024	0,00024	0,0000075			Per liter
P _u							0,00088	0,00147	Per uur

Voorbeeldberekening met de AUB-methode:

Maximaal vermogen [kW]: 100 kW

Bouwjaar of Stage-klasse: 2021 / Stage V

Aantal draaiuren: 100

Brandstofverbruik [L]: 1000

AdBlue-verbruik [L]: 65

Classificatie: D

$$\text{NO}_x \text{ [kg]} = 0,033 * 1000 + 0,005 * 100 + -0,46 * 65 \rightarrow \underline{\underline{3,6 \text{ kg}}}$$

$$\text{NH}_3 \text{ [kg]} = 0,00024 * 1000 \rightarrow \underline{\underline{0,24 \text{ kg}}}$$

U-methode (Uren)

De voorkeursberekening is middels AUB, als echter zowel het brandstof- en AdBlue-verbruik niet bekend is, kan met alleen de draaiuren de U-methode worden gebruikt voor een indicatie van de NO_x- en NH₃-uitstoot.

In voorliggend rapport worden de rekenstappen van de U-methode stapsgewijs, maar beknopt, beschreven. Een uitgebreide beschrijving en onderbouwing van de U-methode is te vinden in het TNO-rapport met referentie TNO 2023 R11233 [2]. De methode en coëfficiënten zijn ongewijzigd gebleven ten opzichte van het genoemde TNO-rapport over de U-methode.

Invoergegevens

Tabel 2.5: Invoergegevens mobiele werktuigen – U-methode

Inputvelden
Vermogen [kW]
Bouwjaar
Aantal draaiuren

Rekenstappen

Stap 1) Bepaal op basis van het vermogen [kW] en het bouwjaar de categorie (X, A, B, C of D) van de machine met behulp van Tabel 2.6 (zelfde als AUB-methode).

Tabel 2.6: Tabel voor het groeperen van categorieën met vergelijkbare emissielimieten en technologie.

	[...-2001]	[2002-2005]	[2006-2010]	[2011-2013]	[2014-2018]	[2019-...]
Vermogen [kW]	Stage-I	Stage-II	Stage-IIIA	Stage-IIIB	Stage-IV	Stage-V
(...-56)	X	X	X	A	A	A
[56 - 75)	X	X	A	A	D	D
[75-130)	X	A	B	B	D	D
[130-560)	X	A	B	C	D	D
[560-...	X	X	X	X	X	B
genset [560-...]	X	X	X	X	X	C ²

Stap 2) Gebruik de gevonden classificatie om de corresponderende factor in g/(uur*kW) te vinden in Tabel 2.7.

² Volgens de Stage V-standaarden (vanaf 2019) hebben generatorsets / stationaire werktuigen met een motor van >560 kW andere emissielimieten dan andere machines met een motor van >560 kW en zijn zodoende apart opgenomen in **Tabel 2.6** onder de benaming 'genset [560-...]'.

Tabel 2.7: De U-methode kenwaarden, voor de verschillende categorieën, om NO_x- en NH₃-emissies te berekenen.

Dieselmotoren			Zonder SCR	Met SCR	SCR
Categorie	X	A	B	C	D
Limiet op de test	>6 g/kWh	4-6 g/kWh	2-4 g/kWh	2-4 g/kWh	<2 g/kWh
NO _x [g/(uur*kW)]	2,7	1,8	1,3	1	0,34
NH ₃ [g/(uur*kW)]	0,0007	0,0007	0,0007	0,021	0,021

Stap 3) Bereken de emissies door de gevonden factor $g/(uur*kW)$ te vermenigvuldigen met het vermogen [kW] en het aantal draaiuren. Dit resulteert in de emissies in grammen.

Voorbeeldberekening met de U-methode

Maximaal vermogen [kW]: **160 kW**

Bouwjaar of Stage-klasse: **2018 / Stage IV**

Aantal draaiuren: **25**

Classificatie: **D**

$$\text{NO}_x [\text{kg}] = (160 [\text{kW}] * 25 [\text{uur}] * 0,34 [\text{g}/(\text{uur}*\text{kW})]) / 1000 \rightarrow \underline{1,36 \text{ kg}}$$

$$\text{NH}_3 [\text{g}] = 160 [\text{kW}] * 25 [\text{uur}] * 0,021 [\text{g}/(\text{uur}*\text{kW})] \rightarrow \underline{84 \text{ g}}$$

2.2 Rekenstappen CO₂-uitstoot

De CO₂-uitstoot kan op twee manieren worden bepaald, waarvan beide opties ook beknopt in het TNO-rapport over de AUB-methode worden genoemd [1]. Optie 1) is op basis van het brandstofverbruik, en optie 2) is op basis van het maximale motorvermogen, de gemiddelde motorbelasting en het bouwjaar. De voorkeursoptie is op basis van het brandstofverbruik doordat de uitstoot nauwkeuriger kan worden bepaald vanwege de één-op-één relatie tussen brandstofverbruik en de uitstoot van CO₂. Indien het brandstofverbruik niet bekend is, kan als alternatief optie 2) worden gebruikt.

Stap 1) Bereken de CO₂-uitstoot in [g/uur]

Optie 1: Formule op basis van brandstofverbruik

$$\text{CO}_2 [\text{g/uur}] = \text{brandstofverbruik} [\text{L/uur}] * 840 * 3,1$$

Hierbij is uitgegaan van dezelfde centrale waarden die ook voor de AUB-methode zijn gebruikt [1]:

- 1 liter diesel weegt ongeveer 840 gram [3]
- 1 kilogram diesel komt overeen met 3,1 kilogram CO₂ [4]

Voorbeeldberekening: Bij een brandstofverbruik van 10 liter per uur wordt dit:

$$\text{CO}_2 [\text{g/uur}] = 10 * 840 * 3,1 \rightarrow \underline{26040 \text{ g/uur}}$$

Optie 2: Formule op basis van maximaal motorvermogen, gemiddelde motorbelasting, bouwjaar

De onderstaande gegevens zijn nodig om de CO₂-uitstoot te berekenen indien het brandstofverbruik niet bekend is.

- Motorefficiëntieverandering vanaf 1996 (<1996 kan 1996 worden aangehouden):
 $F[\text{jaar}] = 1,01^{(2010-\text{jaar})}$
- Maximaal vermogen: P_{max} [kW]
- Motorbelasting: P_{inzet} [kW] = gemiddelde motorbelasting [%]³ * P_{max} [kW]

Door de gegevens in te vullen in de volgende formule kan de CO₂-uitstoot in gram per uur worden berekend ([1]):

$$\text{CO}_2 [\text{g/uur}] = (0,5 * (1 + F[\text{jaar}]) * (0,4 + 0,0025 * P_{\text{max}} [\text{kW}]) + 0,20 * F[\text{jaar}] * (1 + \exp(-P_{\text{max}}[\text{kW}]/5)) * P_{\text{inzet}} [\text{kW}]) * 3600$$

Voorbeeldberekening:

Bouwjaar: **2020**

P_{max} : **100 kW**

P_{inzet} : **35 kW**

$$F[\text{jaar}] = 1,01^{(2010-2020)} = \mathbf{0,9053}$$

$$\text{CO}_2 [\text{g/uur}] = (0,5 * (1 + 0,9053) * (0,4 + 0,0025 * 100) + 0,20 * 0,9053 * (1 + \exp(-100/5)) * 35) * 3600 \rightarrow \mathbf{25043 \text{ g/uur}}$$

Stap 2) Bereken de totale uitstoot met het aantal draaiuren en de CO₂ in [g/uur].

$$\text{CO}_2 [\text{kg}] = \text{CO}_2 [\text{g/uur}] * [\text{uur}] / 1000$$

2.3 Rekenstappen fijnstof uitstoot (PM₁₀)

Om de uitstoot van fijnstof te bepalen is een variant op de AUB-methode opgezet.

Deze rekenmethode voor fijnstof is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- 1) De uitstoot van fijnstof is gekoppeld aan het brandstofverbruik en de emissieklasse van het mobiele werktuig.
- 2) Uit filtermetingen van heavy-duty van TNO volgt dat PM-emissies bij stationaire testen typisch rond of net onder de limietwaarden liggen.

De methode berekent daarom fijnstofemissies op basis van het brandstofverbruik en de emissielimiet van de machine. Allereerst worden categorieën met vergelijkbare emissielimieten en technologieën voor fijnstofreductie gegroepeerd.

De categorieën voor de groepering zijn als volgt:

- Y: > 0,5 g/kWh
- P: 0,1 – 0,5 g/kWh
- Q: < 0,1 g/kWh
- S: roetfilter of PN-eis⁴.

³ Voor de gemiddelde motorbelasting kan 35% worden aangehouden. Dit komt grofweg overeen met de gemiddelde waarden die in de praktijk worden gezien

⁴ Indien er een eis geldt voor deeltjesaantallen, PN, is een roetfilter noodzakelijk.

Dit geeft aan welke emissielimieten en technologieën voor fijnstofreductie bij welke categorie (letter) horen.

Vervolgens kunnen de verschillende groepen van mobiele werktuigen in één van de categorieën worden ingedeeld op basis van de Europese emissiestandaarden voor motoren in mobiele werktuigen⁵. De uitkomst daarvan staat in Tabel 2.8.

Tabel 2.8: Tabel voor het groeperen van categorieën met vergelijkbare emissielimieten en technologie voor fijnstof (Y: > 0,5 g/kWh, P: 0,1-0,5 g/kWh, Q: < 0,1 g/kWh, S: roetfilter/PN-eis).

	[...-2001]	[2002-2005]	[2006-2010]	[2011-2013]	[2014-2018]	[2019-...]
Vermogen [kW]	Stage-I	Stage-II	Stage-IIIA	Stage-IIIB	Stage-IV	Stage-V
(...-19)	Y	Y	Y	Y	Y	P
[19-37)	Y	Y	Y	Y	Y	S
[37-75)	Y	P	P	Q	Q	S
[75-560)	Y	P	P	Q	Q	S
[560-...]	Y	Y	Y	Y	Y	Q

Elk van de categorieën Y, P, Q en S heeft een coëfficiënt die, in combinatie met het brandstofverbruik, de hoogte van de PM-emissies bepaald. Hoe strenger de emissielimiet van de categorie is, hoe lager de coëfficiënt van de betreffende categorie is. Vanwege de relatie tussen fijnstofemissies, het brandstofverbruik en de emissielimieten worden de coëfficiënten uitgedrukt in gram PM/liter diesel. De emissielimieten, gekoppeld aan de categorieën Y, P, Q en S, staan in de wetgeving uitgedrukt in gram PM per kWh. Om dit om te rekenen naar gram PM per liter diesel, is dezelfde centrale waarde gebruikt als voor de AUB-methode, namelijk: 4 kWh per liter diesel [1]. De basis voor de coëfficiënten zijn de emissie-limietwaarden uit de nrmm-wetgeving, aangevuld met data en inzichten vanuit emissiefactoren. De omrekening resulteert in de coëfficiënten in Tabel 2.9.

Tabel 2.9: Coëfficiënten voor de berekening van PM-emissies van mobiele werktuigen.

Coëfficiënten	Y	P	Q	S	
R	2,4	1,8	0,1	0,02	gram per liter diesel

Met de volgende stappen kunnen vervolgens de fijnstofemissies worden bepaald.

Stap 1) Bepaal op basis van het vermogen [kW] en het bouwjaar de categorie (Y, P, Q, of S) van de machine met behulp van Tabel 2.8.

Stap 2) Gebruik de gevonden categorie, het aantal liter brandstof (diesel), met de bijbehorende waarden uit Tabel 2.9 om de fijnstofuitstoot te berekenen met de volgende formule:

$$PM_{10} [g] = R * \text{liter brandstof}$$

⁵ <https://dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php>

Voorbeeldberekening:

Maximaal vermogen [kW]: 100 kW

Bouwjaar of Stage-klasse: 2021 / Stage V

Brandstofverbruik [L]: 9,6

Classificatie: S

$$PM_{10} [g] = 0,02 * 9,6 \rightarrow 0,192 \text{ gram}$$

Indien de liters brandstof niet bekend zijn bij de gebruiker kan dit berekend worden op basis van de bepaalde CO₂-uitstoot in paragraaf 2.2. De onderstaande formule kan hiervoor toegepast worden:

$$\text{Brandstof [L]} = CO_2 [kg] / 0,84 / 3,1$$

De formule gaat uit van de centrale waarden die in paragraaf 2.2 onder de kop *Formule op basis van brandstofverbruik* worden genoemd.

Voorbeeldberekening:

CO₂ [kg]: 25

$$\text{Brandstof [L]} = 25 / 0,84 / 3,1 \rightarrow 9,6 \text{ Liter}$$

3 Wegverkeer

Voor wegverkeer kunnen de emissies worden berekend op basis van 1) de gereden voertuigkilometers op wegtypes *stad*, *buitenweg* en *snelweg*, 2) emissiefactoren in gram per kilometer, en 3) emissiefactoren bij koude start.

Om de berekeningen te doen zijn de volgende invoergegevens nodig.

Tabel 3.1: Invoergegevens wegverkeer

Inputvelden
Voertuigcategorie
Brandstof
Emissieklasse
Gereden kilometers – stad (WT1)
Gereden kilometers – buitenweg (WT2)
Gereden kilometers – snelweg (WT3)
Aantal koude starts (WKS)

Indien de emissieklasse niet bekend is, kan dit bepaald worden aan de hand van het bouwjaar. In Bijlage staat een koppeltabel tussen bouwjaar en emissieklasse, voor elk van de voertuigcategorieën in Tabel 3.2. De koppeltabel volgt dezelfde jaargrenzen voor de ingangsdatum van emissieklassen als door TNO wordt gehanteerd bij de jaarlijkse vaststelling van generieke emissiefactoren voor het wegverkeer in Nederland⁶ [5], [6].

De keuzeopties die mogelijk zijn voor de verschillende invoergegevens staan weergegeven in Tabel 3.2 tot tabel 3.4.

Tabel 3.2: Keuze opties voor voertuigcategorie

Voertuigcategorie
Personenauto (M1 <3500 kg)
Bestelauto (N1 <3500 kg)
Middelzware vrachtwagen (N2 en N3 <19,5 ton)
Zware vrachtwagen (N3 >19,5 ton)

⁶ De gedetailleerde tabel kan via de volgende link worden geraadpleegd:
https://publications.tno.nl/publication/34642280/EQUfVw/TNO-2024-emissiefactoren_wegverkeer.xlsx

Tabel 3.3: Keuze opties voor brandstof

Brandstof
Diesel
Diesel_licht*
Diesel_zwaar*
Benzine
CNG/LNG
LPG
Elektriciteit (incl. waterstof i.c.m. brandstofcel)
PHEV (plug-in hybride)

*Bestelauto (N1) is voor diesel opgesplitst in “Diesel_licht” en “Diesel_zwaar” (ten behoeve van de emissieprestaties). De categorie N1 is (wettelijk) opgesplitst in drie klassen: N1 klasse I, II en III. In deze berekening is “Diesel_licht” klasse I en II samen, en klasse III is “Diesel_zwaar”. Klasse N1 III heeft een gewicht boven de 1760 kg.

Tabel 3.4: Keuze opties voor emissieklasse

Emissieklasse*
Euro 1 / Euro I
Euro 2 / Euro II
Euro 3 / Euro III
Euro 4 / Euro IV
Euro 5 / Euro V
Euro 6 / Euro VI
Euro 6D**

* Dit is inclusief Euro 6D-temp

** De emissieklassen van vrachtwagens worden met Romeinse cijfers genoteerd.

Met behulp van een tabel met emissiefactoren (g/km) voor de diverse stoffen (NO_x, PM₁₀ (dit zijn zowel emissies uit de uitlaat als emissies van slijtage door banden en remmen), CO₂ (aangeduid als RWCO₂ (RW = real-world)) en NH₃) per combinatie van voertuigcategorie, brandstoftype, wegtype en Euroklasse kunnen de gereden kilometers per voertuig vermenigvuldigd worden met de corresponderende emissiefactoren. Hetzelfde geldt voor de koude start-emissies. Een koude start kan gedefinieerd worden als een start van de motor waarbij de motor meer dan twee uur uit heeft gestaan. Indien de gebruiker het aantal koude starts niet weet, kunnen twee koude starts per dag worden aangehouden als standaardwaarde.

De structuur van de data met emissiefactoren ziet er als volgt (Tabel 3.5) uit:

Tabel 3.5: Voorbeeld van de structuur van de emissiefactorentabel wegverkeer (bestelauto).

Bestelauto Emissiefactoren in gram/km								
EURO-klasse	Benzine	CNG/LNG	Diesel_licht (I/II)	Diesel_zwaar (III)	Elektrisch	LPG	PHEV	wegtype_stof
EUR0	3,841571		1,627885	2,029979		2,911337		WT1_NOx
EUR1	0,466129		0,98268	1,204136		1,5062		WT1_NOx
EUR2	0,2812		1,1563	1,4063		0,57741		WT1_NOx
EUR3	0,332758		1,00956	1,21657		0,35959		WT1_NOx
EUR4	0,473951		0,558156	1,42632		0,16868		WT1_NOx
EUR5	0,306526	0,121620549	0,664247	1,58586		0,134944		WT1_NOx
EUR6	0,054729	0,121467682	0,294078	0,350988	0	0,133812	0,024783	WT1_NOx
EUR6D			0,028675	0,028675				WT1_NOx

De berekening gaat als volgt:

$$\text{Emissie [g]} = \text{WT1_stof [g/km]} * \text{afstand stad [km]} + \text{WT2_stof [g/km]} * \text{afstand stad [km]} + \text{WT3_stof [g/km]} * \text{afstand stad [km]} + \text{WKS_stof} * \text{koude starts [\#]}$$

Voor de CO₂-emissies is er geen aparte emissiefactor voor koude start.

Voorbeeld voor berekening NO_x-emissies:

Voertuigcategorie: **Bestelauto**

Brandstof: **Diesel_licht**

Emissieklasse: **Euro 6**

Gereden kilometers WT1 – **100 km**

Gereden kilometers WT2 – **200 km**

Gereden kilometers WT3 – **300 km**

Aantal koude starts (WKS) – **10**

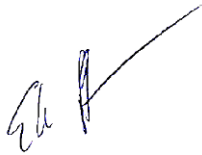
$$\text{NO}_x \text{ [kg]} = (0,29 * 100 + 0,22 * 200 + 0,23 * 300 + 0,51 * 10) / 1000 \rightarrow 0,147 \text{ kg}$$

Referenties

- [1] TNO, „AUB (AdBlue verbruik, Uren en Brandstofverbruik): een robuuste schatting van NO_x en NH₃ uitstoot van mobiele werktuigen,” 2021.
- [2] TNO, „U-methode, NO_x en NH₃ emissies van mobiele werktuigen op basis van draaiuren alleen,” 2023.
- [3] CBS, „Gewichtseenheden energie,” CBS, [Online]. Available: <https://www.cbs.nl/nl-nl/onz-diensten/methoden/begrippen/gewichtseenheden-energie#:~:text=%2D%20Petroleum%3A%201%20liter%20%3D%20,liter%20%3D%200%2C88%20kilogram..> [Geopend 22 7 2024].
- [4] TNO, „Onderbouwing AERIUS emissiefactoren voor wegverkeer, mobiele werktuigen, binnenvaart en zeevaart. TNO 202 R11528,” 2020.
- [5] TNO, „Emissiefactoren wegverkeer 2024. TNO 2024 R11049,” 2024.
- [6] TNO, „TNO 2024 Emissiefactoren wegverkeer,” 2024. [Online]. Available: https://publications.tno.nl/publication/34642280/EOUfVw/TNO-2024-emissiefactoren_wegverkeer.xlsx. [Geopend 29 7 2024].

Ondertekening

TNO › Mobility & Built Environment › Den Haag, 6 september 2024



Ellen Hofbauer
Plv. Research Manager



Pim van Mensch
Auteur

Bijlage A

Koppeltabel voor emissieklasse wegvoertuigen

Tabel 15: Koppeltabel voor het bepalen van de emissieklasse (EURO-klasse) van voertuigen op basis van voertuigtype en bouwjaar, gebaseerd op [5], [6].

Voertuigtype	Datum eerste toelating (jaar/maand)	EURO-klasse
Personenauto	1982	EUR0
Personenauto	1992/07	EUR1
Personenauto	1996/01	EUR2
Personenauto	2000/01	EUR3
Personenauto	2005/01	EUR4
Personenauto	2009/09	EUR5
Personenauto	2014/09	EUR6
Personenauto	2020/01	EUR6D
Bestelauto	1982	EUR0
Bestelauto	1992/07	EUR1
Bestelauto	1996/01	EUR2
Bestelauto	2000/01	EUR3
Bestelauto	2005/01	EUR4
Bestelauto	2009/09	EUR5
Bestelauto	2014/09	EUR6
Bestelauto diesel_licht	1982	EUR0
Bestelauto diesel_licht	1993/10	EUR1
Bestelauto diesel_licht	1997/01	EUR2
Bestelauto diesel_licht	2000/01	EUR3
Bestelauto diesel_licht	2005/01	EUR4
Bestelauto diesel_licht	2009/09	EUR5
Bestelauto diesel_licht	2014/09	EUR6
Bestelauto diesel_licht	2020/01	EUR6D
Bestelauto diesel_zwaar	1982	EUR0
Bestelauto diesel_zwaar	1993/10	EUR1

Bestelauto diesel_zwaar	1998/01	EUR2
Bestelauto diesel_zwaar	2001/01	EUR3
Bestelauto diesel_zwaar	2006/01	EUR4
Bestelauto diesel_zwaar	2010/09	EUR5
Bestelauto diesel_zwaar	2015/09	EUR6
Bestelauto diesel_zwaar	2022/01	EUR6D
Middelzware vrachtauto	1982	EUR0
Middelzware vrachtauto	1992	EUR1
Middelzware vrachtauto	1995/10	EUR2
Middelzware vrachtauto	2000/10	EUR3
Middelzware vrachtauto	2005/10	EUR4
Middelzware vrachtauto	2008/10	EUR5
Middelzware vrachtauto	2013/01	EUR6
Zware vrachtauto	1982	EUR0
Zware vrachtauto	1992	EUR1
Zware vrachtauto	1995/10	EUR2
Zware vrachtauto	2000/10	EUR3
Zware vrachtauto	2005/10	EUR4
Zware vrachtauto	2008/10	EUR5
Zware vrachtauto	2013/01	EUR6

Mobility & Built Environment

Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
www.tno.nl