



Kennisnotitie

Impact waterstofverbrandingsmotoren op NO_x-uitstoot zwaar wegverkeer

Aanleiding onderzoek

De transitie naar duurzamere mobiliteit vraagt om innovatieve oplossingen die de uitstoot van schadelijke stoffen beperken.

Waterstofverbrandingsmotoren vormen binnen mobiliteit vooral bij zwaar wegverkeer een interessante technologie. Een waterstofverbrandingsmotor heeft nauwelijks uitstoot van koolstofdioxide (CO₂) en een sterk verminderde uitstoot van stikstofoxiden (NO_x). Voor CO₂ voldoet een waterstofverbrandingsmotor aan de Europese zero-emissie voertuigdefinitie van maximaal 3 g/tonkm, bij gebruik van groene waterstof. Voor NO_x zijn hier nog geen Europese afspraken overgemaakt.

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, directie Duurzame Mobiliteit (DuMo) heeft het RIVM gevraagd om te onderzoeken wat de effecten zijn van een beperkte vervanging van het wagenpark, door vrachtwagens met waterstofverbrandingsmotoren, op de concentraties stikstofdioxide (NO₂) in Nederland. Hiervoor heeft het RIVM gebruik gemaakt van emissiefactoren die door TNO zijn berekend voor twee type waterstofverbrandingsmotoren. We brengen de effecten voor 2030 in beeld aan de hand van de Grootschalige Concentratiekaarten Nederland van maart 2025 (Mijnen-Visser et al., 2025). Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van de 2025 opdracht 50.01 Duurzame Mobiliteit en Transport van Programma 50.

Uitgangspunten analyses

In deze kennisnotitie maken we gebruik van de informatie over waterstofverbrandingsmotoren inclusief emissiefactoren van TNO (TNO, 2026). TNO heeft samen met industriepartners prototype waterstofverbrandingsmotoren ontwikkeld. Voor dit onderzoek heeft TNO de emissies gemeten van twee typen waterstofverbrandingsmotoren en deze vergeleken met een EURO VI truck dieselmotor voorzien van uitlaatgasnabehandeling (in Tabel 1 aangeduid als 'diesel'). Het betreft de volgende waterstofmotoren:

- **SI H2-ICE:** 6-cilinder "mono fuel" waterstofverbrandingsmotor met vonkontsteking, uitgerust met een commercieel EURO VI uitlaatgasnabehandelingssysteem
- **HPDI H2-ICE:** 1-cilinder "dual fuel" waterstofverbrandingsmotor met compressie-ontsteking zonder nabehandeling

Voor de HPDI zijn de gemeten motor-uit emissies omgerekend door TNO naar een verwachte uitstoot na toepassing van uitlaatgasnabehandeling, analoog aan de reductie die bij dieselmotoren gebruikelijk is (in Tabel 1 aangeduid als 'tailpipe'). Om een zo realistisch mogelijk beeld te krijgen van emissieprestaties onder verschillende bedrijfsomstandigheden zijn er metingen uitgevoerd tijdens zowel de koude start (cold WHTC) als bij een warme motor (hot WHTC). Tabel 1 toont de NO_x-emissiefactoren (g/kWh) van de verschillende motoren bij koude start en bij een warme motor.

RIVM

A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

T 088 689 89 89

Auteurs:

Suzanne Mijnen-Visser, Lucas Graas

Centrum:

Centrum voor Milieukwaliteit,
afdeling Onderzoek en advies
Lucht en Geluid

Contact:

Suzanne.Visser@rivm.nl

Kenmerk:

KN-2025-0132

DOI:

10.21945/RIVM-KN-2025-0132

Datum:

09-02-2026

Tabel 1 Emissiefactoren NO_x (g/kWh) van verschillende motoren tijdens verschillende fases van gebruik (bron: TNO, 2026)

Type	Cold WHTC (g/kWh)	Hot WHTC (g/kWh)
'Diesel'	1,038	0,164
SI H2-ICE uitlaat-uit met nabehandeling	0,088	0,021
HPDI H2-ICE 'tailpipe'	0,623	0,164

Het RIVM maakt jaarlijks kaarten met grootschalige concentraties luchtverontreinigende stoffen in Nederland op 1x1 km-vlakken (GCN; Mijnen-Visser et al., 2025). In dit proces wordt de emissiebijdrage van bronnen uit vele verschillende sectoren doorgerekend met een verspreidingsmodel om te komen tot concentraties van onder andere NO₂. Voor emissies van zwaar vrachtverkeer wordt in de GCN onderscheid gemaakt tussen de volgende sectoren:

- **3131:** Verkeer, vrachtauto's en speciale voertuigen: snelwegen
- **3132:** Verkeer, vrachtauto's en speciale voertuigen: buiten bebouwde kom
- **3133:** Verkeer, vrachtauto's en speciale voertuigen: binnen bebouwde kom
- **3134:** Verkeer, vrachtauto's en speciale voertuigen: koude start

Volgens cijfers van het CBS bestaat het wagenpark zware vrachtvoertuigen in Nederland begin 2025 uit 151 duizend voertuigen (CBS, 2026). We gaan er hierbij vanuit dat al deze voertuigen in 2030 op diesel rijden en overeenkomen met de NO_x-emissies uit Tabel 1 (dus op basis van EURO VI truck dieselmotor voorzien van uitlaatgasnabehandeling)¹. DuMo schat in dat daarvan circa 1.500-2.000 voertuigen uitgerust worden met een waterstofverbrandingsmotor in 2030. In samenspraak met DuMo gaan we uit van 151.000 zware vrachtvoertuigen in 2030, waarvan 1.750 een waterstofmotor zullen hebben (grofweg 1,6 procent). Op dit moment is het onbekend waar deze voertuigen ingezet gaan worden. Dit kan hoofdzakelijk op de snelwegen zijn tussen distributiecentra, op industrieterreinen, maar ook elders in het land. Daarom is samen met DuMo en TNO besloten dat de vrachtwagens met een nieuwe waterstoftechnologie zich evenredig over de vier GCN-sectoren verdelen. Dus de 1.750 voertuigen zullen op alle wegvakken in Nederland rijden.

Om het effect van de inzet van 1.750 voertuigen met de twee typen waterstofverbrandingsmotoren op de NO₂ concentratie te onderzoeken is de reductie in de emissiefactoren bepaald (zie Tabel 2). Het overige deel van het wagenpark blijft ongewijzigd. De aangepaste emissiefactoren zijn alleen toegepast op de vier GCN-sectoren.

Tabel 2 Relatieve NO_x-factoren ten opzichte van diesel van verschillende motoren tijdens verschillende fases van gebruik op basis van de emissiefactoren in Tabel 1

Type	Factor Cold WHTC t.o.v. diesel	Factor Hot WHTC t.o.v. diesel
'Diesel'	1,00	1,00
SI H2-ICE uitlaat-uit met nabehandeling	0,0848	0,1280
HPDI H2-ICE 'tailpipe'	0,6002	1,00

¹ In werkelijkheid zal het wagenpark in 2030 bestaan uit een combinatie van, in ieder geval, dieseltrucks met verschillende EURO-klassen en elektrische trucks.

Per sector starten we met een concentratiekaart C_{diesel} (alle vrachtwagens diesel) in 2030. Dit is de kaart zoals deze in maart 2025 is gepubliceerd op [Rijksoverheid](#) en op de [GCN-website van het RIVM](#) (Mijnen-Visser et al., 2025). Een fractie f van de vrachtwagens wordt vervangen door vrachtwagens met een waterstofverbrandingsmotor (SI of HPDI) met een relatieve factor (factor Cold WHTC of Hot WHTC, afhankelijk van de GCN-sector en technologie). De nieuwe concentratiekaart voor de vier relevante GCN-sectoren wordt dan:

$$C_{\text{nieuw}} = C_{\text{diesel}} \cdot [(1 - f) + f \cdot \text{factor}]$$

waarbij:

- C_{diesel} = oorspronkelijke sectorbijdrage met volledig dieselwagenpark
- f = fractie van het wagenpark dat wordt vervangen (~1,6%)
- factor = factor uit Tabel 2

De concentratiebijdragen van de vier relevante sectoren worden vervolgens per technologie bij elkaar opgeteld en vergeleken met de concentratiebijdragen van de vier sectoren in de huidige situatie voor 2030. Het verschil in bijdragen tussen de waterstoftechnologie en die van diesel geeft een indicatie van het effect op de NO₂-concentratie.

Bevindingen

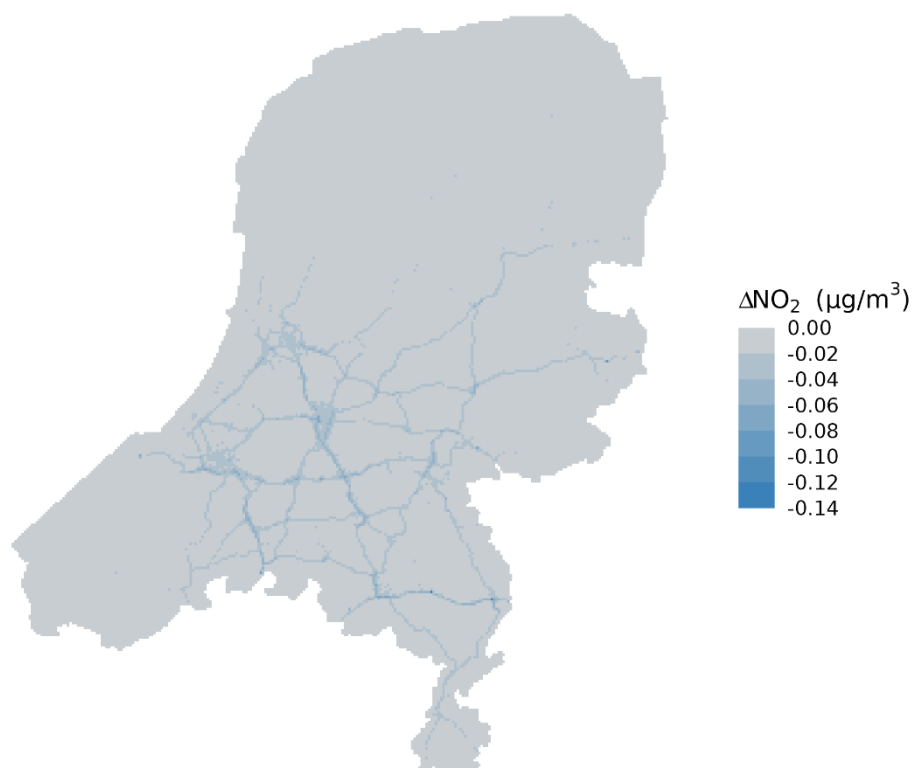
Figuur 1 en Figuur 2 tonen de verschillen in concentratie na de reductie die optreedt door het vervangen van 1.750 dieselvrachtwagens in Nederland door vrachtwagens met respectievelijk een SI- of HPDI-motor.

Met de aannames in voorliggende analyse zijn de verschillen in NO₂-concentraties voor vrachtwagens uitgerust met de SI H2-ICE motor in vergelijking tot dieselvoertuigen groter dan voor de HPDI motoren. Voor de SI H2-ICE motor is het verschil maximaal 0,124 µg/m³. Dit komt doordat de emissiefactor voor NO_x bij deze technologie aanzienlijk lager is dan bij conventionele dieselmotoren (factor 0,0848). De invoering van SI waterstofmotoren zal, met de huidige aannames, in 2030 dan ook tot een (beperkte) reductie leiden van de sectorbijdrage aan de NO₂-concentratie op alle typen wegen (snelwegen, wegen binnen en buiten de bebouwde kom) en op locaties waar sprake is van een koude start van de vrachtvoertuigen.

Voor vrachtwagens uitgerust met een HPDI type motor zijn de reducties aanzienlijk minder. De NO_x-emissiefactoren voor de 'Hot WHTC' zijn voor HPDI en dieselmotoren gelijk, waardoor er geen verschil optreedt op locaties waar vrachtwagens met warme motor rijden. Alleen op locaties waar vrachtwagens een koude start maken, is er een maximale (zeer beperkte) winst te behalen van circa 0,04 µg/m³ NO₂ op enkele locaties onder de huidige aannames.

Figuur 1 Verskil in concentratie stikstofdioxide (NO₂) na het vervangen van 1.750 dieselmotoren voor SI H₂-ICE motoren.

NO₂ verschil (SI H₂-ICE minus diesel)

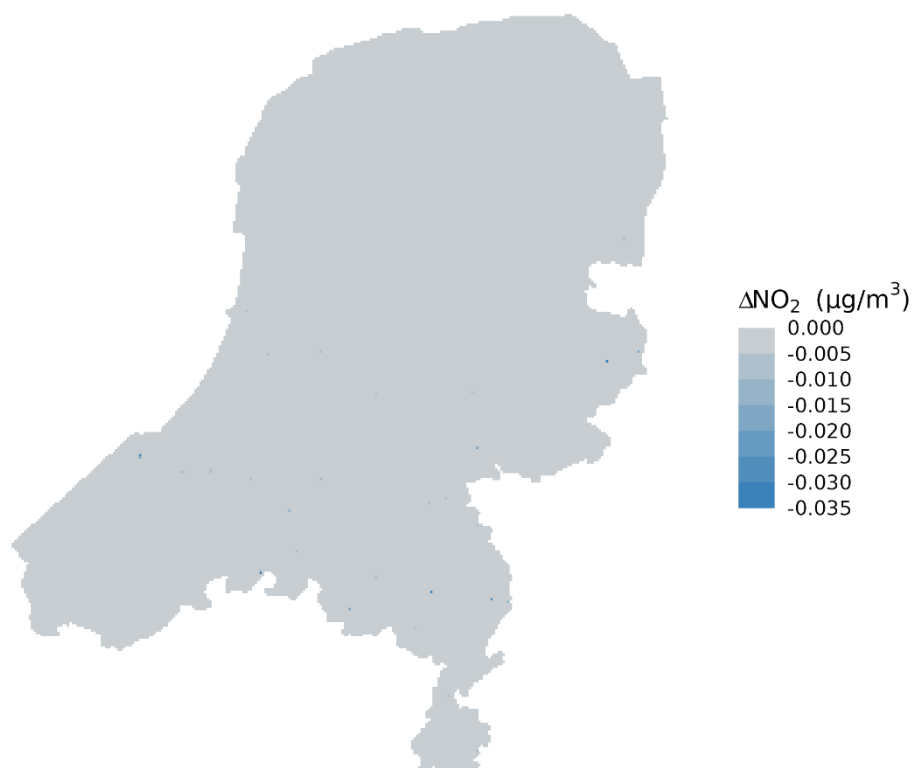


Conclusie

Bij de transitie naar duurzamere mobiliteit zou de waterstofverbrandingsmotor wellicht een rol kunnen spelen. Het type HPDI H₂-ICE laat amper een reductie zien in de uitstoot van stikstofoxiden ten opzichte van dieselmotoren. Het type SI H₂-ICE laat deze reductie wel zien en daarmee zijn ook reducties op de concentraties stikstofdioxide mogelijk. Met de aannames in deze analyse levert dit lokaal reducties op tot 0,1 µg/m³. Op een berekende totale jaargemiddelde NO₂-concentratie van 7,5 µg/m³ in 2030 (Mijnen-Visser et al., 2025) is dit wel een beperkt effect.

Figuur 2 Verschil in concentratie stikstofdioxide (NO₂) na vervangen van 1.750 dieselmotoren voor HPDI H₂-ICE.

NO₂ verschil (HPDI H₂-ICE minus diesel)



Aanbevelingen

De analyse in deze kennisnotitie geeft een grove inschatting van het mogelijke effect van de toepassing van twee typen waterstofverbrandingsmotoren in zwaar verkeer op de concentraties NO₂. Om een betere inschatting te kunnen geven is meer informatie nodig, zoals een nauwkeurigere inschatting van het aantal vrachtvoertuigen dat met welk type waterstofverbrandingsmotor wordt uitgerust in verhouding tot het aandeel diesel vrachtvoertuigen. Daarnaast zullen we inzicht moeten krijgen waar deze voertuigen gaan rijden en hoeveel kilometer ze op die wegen af zullen leggen. Specifieke emissiefactoren voor deze voertuigen in plaats van emissiefactoren relatief ten opzichte van dieselmotoren zullen tevens tot een betere inschatting van de effecten leiden. Anders zou informatie over de wagenparkverdeling van dieselmotoren ook tot een verbetering van de analyse kunnen leiden; immers rijdt niet het hele wagenpark met EURO VI motoren rond in 2030. Sterker nog, een deel van het wagenpark maakt gebruik van elektrische voertuigen zonder NO₂-uitstoot. Dat aandeel hebben we nu helemaal buiten beschouwing gelaten.

DuMo verwacht dat waterstofverbrandingsmotoren niet alleen in zwaar vrachtverkeer ingezet zullen worden, maar ook in mobiele werktuigen en zeescheepvaart, met name het type SI H₂-ICE motor zonder nabehandeling. De emissiereducties van deze bronnen ten opzichte van de huidige inzet van dieselmotoren kunnen op gelijkwaardige wijze aan het zwaar vrachtverkeer doorgerekend worden om de effecten op de concentraties NO₂

te bepalen. Daarnaast zal ook bij deze voertuigen het aandeel elektrische voertuigen meegenomen moeten worden in de analyse.

Voor een integrale analyse is het belangrijk om de verschillende typen voertuigen (diesel, waterstof en elektrisch) met elkaar te vergelijken. Hierbij kunnen naast NO₂ ook andere luchtverontreinigende stoffen meegenomen worden, maar ook andere aspecten zoals geluid en veiligheid. Het zou ook goed zijn om de bron van de waterstof mee te nemen in de analyse; groene waterstof heeft immers een ander effect op de luchtkwaliteit dan waterstof geproduceerd met fossiele brandstoffen.

Referenties

CBS (2026), <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/verkeer-en-vervoer/vervoermiddelen-en-infrastructuur/vrachtvoertuigen>, geraadpleegd 23-01-2026.

Mijnen-Visser et al. (2025), Grootschalige concentratiekaarten Nederland, Rapportage 2025, RIVM-rapport 2025-0034, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

TNO (2026), Emissies waterstofverbrandingsmotor, TNO 2026 M10094.