

Mobility & Built Environment

Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
Postbus 96800
2509 JE Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 00 00

TNO-rapport**TNO 2023 R10541****Een vergelijking tussen de uitstoot bij de bouw
van nieuwe woningen en die van mobiele
bronnen buiten de bouw**

Datum	17 maart 2023
Auteur(s)	Norbert E. Ligterink, Pim van Mensch
Exemplaarnummer	2023-STL-RAP-100348807
Aantal pagina's	18 (incl. bijlagen)
Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat Postbus 20901 2500 EX DEN HAAG
Projectnaam	IenW Taakfinanciering 2023 MaVe
Projectnummer	060.53666

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, 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 belanghebbenden is toegestaan.

© 2023 TNO

Samenvatting

Vanwege de huidige stikstofproblematiek, klimaatdoelstellingen en gezondheidsdoelstellingen is er in de bouwsector een snelle reductie van emissies gewenst. Dit rapport zoomt in op de uitstoot van (reactieve) stikstof in de woningbouw, waarbij een vergelijking wordt gemaakt met de uitstoot van alle mobiele werktuigen en de uitstoot van het wegverkeer. De impact op fijnstof (gezondheid) en CO₂ (klimaat) valt buiten de scope van deze studie. Deze studie heeft een focus op de (tijdelijke) bouwfase. Uitstoot na oplevering van het bouwproject (bijvoorbeeld door verkeer van de woningeigenaren) is geen onderdeel van deze studie.

De uitstoot van stikstofoxiden (NO_x) in Nederland komt grotendeels van dieselmotoren in allerlei sectoren. Dit hangt samen met een lange traditie van toenemende activiteit en economische groei. Dit rapport geeft indicatief aan welke hoeveelheid stikstofoxiden bij de bouw van nieuwe woningen optreedt en hoe dit zich verhoudt tot de emissies van stikstofoxiden door andere bronnen. Door gebruik te maken van de meest schone en emissieloze voertuigen en werktuigen kan de uitstoot ten gevolge van bouwactiviteiten sterk worden teruggebracht.

Woningbouw kent verschillende activiteiten, waarbij de ingezette voertuigen en bouwmachines uit het huidige machinepark, schoner en minder schoon kunnen zijn. De schoonste bouwmachines qua NO_x-uitstoot (Stage IV en Stage V) en vrachtwagens (Euro VI) zijn geïntroduceerd vanaf bouwjaar 2014 en dus breed toegepast in het park (al is er ook nog steeds relatief veel oud bouwmaterieel). De schoonste bestelauto's (Euro-6d) worden vanaf 2020 verkocht en zijn nu dus nog in kleinere omvang beschikbaar.

In dit onderzoek is ingeschat dat de NO_x-uitstoot per woning kan variëren tussen 5 en 76 kilogram. In sommige gevallen zijn de bouwactiviteiten beperkt, omdat bijvoorbeeld de locatie reeds bouwrijp is. Naast de benodigde bouwactiviteiten zijn de ingezette machines en voertuigen sterk bepalend voor de hoogte van de NO_x-uitstoot. Tussen de meest schone en meest vuile bouwmachines zit typisch een factor vijf in NO_x-uitstoot. Voor bestelauto's kan het verschil nog groter zijn. Goed onderhoud, efficiënte inzet met beperkt stationair draaien, zijn verder factoren die bepalend zijn voor de hoogte van de NO_x uitstoot bij de bouw van een nieuwe woning. Voor betere inzichten hierin helpt monitoring van de werking van de SCR-katalysator van de ingezette machines.

De in deze rapportage gebruikte getallen en bijbehorende berekeningen zijn gebaseerd op de wettelijk vastgestelde cijfers door de Rijksoverheid voor luchtkwaliteit en stikstofdepositie (zie link: [Hoe kan ik als onderzoeker luchtvervuiling berekenen? | Rijksoverheid.nl](#)).

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
	Inhoudsopgave.....	3
1	Inleiding	4
2	Stikstofuitstoot woningbouw	7
2.1	Vergelijking van uitstoot.....	7
2.2	Verschillende fases in de woningbouw	8
2.3	Inzet van bouwmachines	9
2.4	Voertuigen op de bouwplaats	10
2.5	Overzicht bouwactiviteiten en NO _x uitstoot	10
3	Vergelijking met de uitstoot van verkeer en vervoer	13
3.1	Milieuzone lichte dieselauto's Euro 6d	13
3.2	Milieuzone bestelwagens Euro 6.....	14
3.3	Milieuzone zwaar wegverkeer Euro-VI	14
3.4	Lokale verkeersmaatregelen	14
3.5	Daling emissiefactoren	15
4	Conclusies.....	17
5	Ondertekening	18

1 Inleiding

Er zijn momenteel grote uitdagingen in de bouwsector. Er is o.a. een toenemende druk op de woningmarkt maar tegelijkertijd is vanwege de huidige stikstofproblematiek, de klimaat- en gezondheidsdoelstellingen een snelle reductie van emissies gewenst. Dit rapport zoomt in op de uitstoot van (reactieve) stikstof in de woningbouw, waarbij een vergelijking wordt gemaakt met de uitstoot van de mobiele werktuigen en het wegverkeer. De impact van emissies van mobiele bronnen op fijnstof (gezondheid) en CO₂ (klimaat) vallen buiten de scope van deze studie.

Deze studie heeft een focus op emissies tijdens de bouwfase van woningen. Uitstoot na oplevering van het bouwproject, bijvoorbeeld door verkeer van de woningeigenaren, is geen onderdeel van deze studie.

Daar waar met name veeteelt een belangrijke rol speelt in de uitstoot van ammoniak (NH₃), is voor menselijke activiteit, en in het bijzonder het gebruik van dieselmotoren, de relevante stikstof gerelateerde uitstoot hoofdzakelijk in de vorm van stikstofoxiden (NO_x). De stikstofuitstoot door de bouw, het wegverkeer, de binnenvaart, en scheepvaart is vergelijkbaar voor wat betreft het type uitstoot aan de bron. De stikstofverbindingen afkomstig van de bouw en het wegverkeer zijn vergelijkbaar (locatie verschilt wel), en worden in dit rapport daarmee buiten beschouwing gelaten worden. Daarmee wordt er geen link gelegd met stikstofdepositie.

Voor 2021 heeft Nederland 9,5 kton NO_x emissies van mobiele werktuigen in de bouwsector gerapporteerd, en 53,6 kton NO_x emissies van wegverkeer.¹ Er is mogelijk een onderschatting van de emissies van bouwmachines.² De verwachte NO_x emissie van mobiele machines in de bouw ligt waarschijnlijk in de grootteorde van 12 kton. Desondanks zijn, en blijven in de komende jaren, de NO_x emissies van het totale wegverkeer substantieel hoger dan die van mobiele werktuigen in de bouw. De ammoniak (NH₃) emissies van wegverkeer zijn met 3,6 kton factoren hoger dan van die van mobiele machines in de bouw. Dit staat in geen verhouding tot de 105 kton NH₃ uitstoot van de landbouw¹.

De NO_x emissies zijn relevant voor de stikstofdeposities, waarbij wegverkeer 18% van de totale Nederlandse NO_x emissies veroorzaakt in 2020, en bouwmachines 3%.

Dit rapport zet de NO_x emissies van wegverkeer en woningbouw naast elkaar. Naast het wegverkeer zijn er ook andere grote uitstootbronnen van NO_x, zoals de binnenvaart met 23,0 kton NO_x uitstoot en de zeevaart met 81,8 kton NO_x (in 2020). Deze zijn belangrijk voor de nationale totalen. Met uitstoot op zee en op vaarwegen, leiden deze uitstootbronnen in veel gevallen in mindere mate tot specifieke lokale bijdrages aan natuurgebieden in de buurt van woningbouw dan wegverkeer dat doet.

¹ www.emissieregistratie.nl

² Eindrapport data onderzoek mobiele machines in Nederland, TNO rapport 2021 R11086.

Ondanks de toename van het aantal voertuigen, hun leeftijd en het gereden aantal kilometers is het wegverkeer de laatste jaren veel schoner geworden. De huidige NO_x emissies van wegverkeer bedragen 23% van de emissies in 1990.³ Dat is een daling van bijna driekwart. De instroom van schonere nieuwe (benzine)voertuigen en het verdwijnen van oudere, viezere voertuigen, mede onder invloed van strengere milieueisen, leveren substantiële reducties in de uitstoot. Sommige groepen voertuigen laten van 1990 tot 2020 daarentegen een beperkte uitstootreductie zien. Bijvoorbeeld, bestelauto's hadden in 1990 een totale NO_x emissie van 20,7 kton en in 2020 13,5 kton. De bijdrage van bestelauto's aan de totale NO_x emissie van wegverkeer is daarmee bijna een kwart, terwijl bestelauto's ongeveer 10% van alle wegvoertuigen vormen. Hierbij spelen oudere bestelauto's een grote rol, omdat sinds 2017 nieuwe bestelauto's substantieel schoner zijn⁴ en bestelauto's met bouwjaar vanaf 2020 nauwelijks nog een rol spelen in de totale NO_x uitstoot van wegverkeer. Richting 2030 zal dat in de vloot merkbaar zijn⁵.

Woningbouw is een relatief kleine bron van stikstofuitstoot ten opzichte van andere bestaande bronnen, zoals verkeer en vervoer en landbouw. De woningbouw betreft - volgens een ruwe inschatting - grofweg een derde van alle bouwactiviteiten, qua uitstoot.⁶ De toename van de stikstofdepositie ten gevolge van nieuwe lokale projecten in de natuur vormt een beperkt aandeel ten opzichte van de hoge achtergrondconcentraties van NO₂ en NH₃ door andere activiteiten. Dus voor de bouw van 69.000 woningen in 2020, en een grove inschatting van 4 kton aan geassocieerde NO_x emissies, is de uitstoot per gebouwde woning ongeveer 60 kg NO_x. Mobiele machines in de bouwsector stoten in 2021 10,7 kton NO_x uit.⁶ De inschatting is dat woningbouw daarvan ongeveer 30% is.⁶ Hiermee is in 2020 de bouw van één woning vergelijkbaar met de jaarlijkse uitstoot van twee Euro-5 (grote) bestelauto's met een bouwjaar van voor 2017⁷ en een gemiddelde jaarkilometrage van 18.000 kilometers. Het totale bestelverkeer levert ruim drie keer de NO_x-emissies van de totale woningbouw.

Dat twee oudere bestelauto's samen per jaar vergelijkbare NO_x emissies hebben als de bouw van één woning is een generieke vergelijking. Door de inzet van de meest schone (Stage IV en V) machines met dieselmotor met effectieve SCR-katalysator, en van uitstootvrije mobiele machines, kan de stikstofuitstoot van de bouw van één woning worden verlaagd. De voor dit onderzoek gebruikte kennis is afkomstig van de jarenlange aandacht voor luchtkwaliteit in relatie tot de NO₂ knelpunten, van 2009 tot 2018, waarin verkeer ook een belangrijke rol speelde.⁸ De NO₂ concentraties in de lucht zijn het gevolg van dezelfde uitstoot van NO_x, vooral door dieselmotoren. In dit rapport wordt ammoniak uitstoot, en daarmee tevens landbouw, buiten beschouwing gelaten.

³ Effects of European emission reductions on air quality in the Netherlands and the associated health effects, Velders, G.J.M., et al., *Atm. Env.* 221 (2020) 117109.

⁴ NO_x emissions of eighteen diesel Light Commercial Vehicles, TNO rapport 2017 R11473

⁵ Dutch In-service Emissions Measurement Programme for Light-Duty Vehicles 2021 and status of in-vehicle NO_x monitoring, TNO rapport 2022 R10365.

⁶ Ruimtelijke verdeling bouwmaschinen, TNO rapport 2021 R12319

⁷ On-road NO_x and CO₂ investigations of Euro 5 Light commercial vehicles, TNO rapport 2015 R10192.

⁸ Inschatting van effecten van gemeentelijke maatregelen voor reductie NO₂-concentratie op knelpunten, TNO rapport 2018 R10613.

De verschillende bronnen van NO_x uitstoot zijn gedeeld verantwoordelijk voor de NO_x bijdrage aan stikstofdepositie. Naast verkeer en vervoer zijn er andere bronnen van NO_x emissies, van de totale 314 kton NO_x emissie in 2021 komt 70% van verkeer en vervoer, inclusief de 79 kton afkomstig van zeescheepvaart.

2 Stikstofuitstoot woningbouw

Voor zware wegvoertuigen voor de bouw is er nog beperkte ruimte om de uitstoot van NO_x te verminderen op korte termijn met een gegeven transportvraag. Dit komt doordat de Euro-VI wetgeving (vanaf 2014) voor vrachtwagens reeds gangbaar is en de meeste vrachtwagens al tot deze schoonste beschikbare Euronorm behoren. Voor bestelauto's is er vanaf 2017 een sterke verschoning met de overgang van Euro-5 naar Euro-6 (van ongeveer 1,4 g/km naar 0,4 g/km), en zeker sinds 2020 met Euro-6d (laatste generatie Euro 6), waarbij emissies nog in de orde van 0,03 g/km zijn. Met Euro-6d is de NO_x-uitstoot van bestelauto's dus ongeveer een factor 50 afgenomen. Afhankelijk van de inzet van verschillende bestelauto's zijn er daarmee verschillen in de uitstoot.^{9,10}

Voor mobiele werktuigen in de bouw is de situatie heel anders. Het machinepark kent grote variatie in NO_x emissies afhankelijk van de leeftijd en vermogenscategorie van een machine.^{11,12} Een oude mobiele machine, tot 2013 stoot per liter dieselbrandstof grofweg 30 gram NO_x uit, terwijl dat voor een nieuwere machine de helft is. Het brandstofverbruik in een uur ligt – gemiddeld genomen - rond de 10 liter. Een oude mobiele machine stoot dus per uur ca. 300 gram NO_x uit. Bij een moderne machine, Stage IV (vanaf 2014) of Stage V, zijn de emissies nagenoeg constant per uur, onafhankelijk van de motorbelasting. Voor een typische mobiele kraan, verreiker, of wiellader, met 120 kW motorvermogen, is dat grofweg 40 gram NO_x per uur. Dat is dus 13% (4 gram NO_x per liter diesel) van de NO_x uitstoot van oude machines (van bijvoorbeeld Stage II) en 25% van de uitstoot van momenteel veel gebruikte machines (Stage IIIA, vanaf 2006). Dat zijn substantiële verschillen in uitstoot bij dezelfde bouwactiviteiten, waarmee rekening gehouden zal worden in de vergelijkingen.

Voor machines met een motorvermogen onder de 56 kW en boven de 560 kW zijn er geen dieselmotoren beschikbaar met een lage NO_x-uitstoot (omdat de emissielimiet niet streng is en er daardoor geen SCR-katalysator wordt toegepast), tenzij er een retrofit-SCR-katalysator wordt gemonteerd. Bij moderne motoren met een SCR-katalysator is er een risico op verhoogde NO_x-emissies bij een lage motorbelasting.

2.1 Vergelijking van uitstoot

Om mobiele machines te vergelijken worden de volgende aannames gedaan:

- Een liter diesel staat gelijk aan 4 kWh geleverde arbeid, bij hoge motorlast, zoals in de officiële test.
- Gemiddelde motorbelasting is 30% van het maximaal vermogen.
- De NO_x uitstoot per uur van een Stage IV/V machine is gelijk aan 0,35 gram * P[kW], waarbij P[kW] het maximaal vermogen is.

⁹ NO_x emissions of eighteen diesel Light Commercial Vehicles, TNO rapport 2017 R11473.

¹⁰ Dutch In-service Emissions Measurement Programme for Light-Duty Vehicles 2021 and status of in-vehicle NO_x monitoring, TNO rapport 2022 R10365

¹¹ AUB (AdBlue verbruik, Uren, en Brandstofverbruik): een robuuste schatting van NO_x en NH₃ uitstoot van mobiele werktuigen, TNO rapport 2021 R12305.

¹² Eindrapport data onderzoek mobiele machines in Nederland, TNO rapport 2021 R11086.

- De NO_x uitstoot van een Stage I/II machine is 30 gram per liter diesel.
- De NO_x uitstoot van een Stage IIIA/B machine is 15 gram per liter diesel.

Verder is het typische vermogen van een verreiker, wiellader, shovel, of mobiele gesteld op 130 kW. Bijzonder materieel zoals heimachines, grote kranen, etc. kunnen een vermogen hebben tot 600 kW.

Voor de toepassing in stikstofdepositieberekeningen met AERIUS is in 2021 een aanpak ontwikkeld om de uitstoot van mobiele machines te bepalen.¹³ Daarin wordt onderscheid gemaakt tussen vijf emissieklassen van mobiele werktuigen (X, A, B, C, D) voor de uitstoot van NO_x en NH₃.

Tabel 1: Het onderscheid in verschillende uitstootniveaus van mobiele werktuigen

Classificatie	[...-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
[75-560)	X	A	B	B/C	D	D
[560-...)	X	X	X	X	X	B/C

De schoonste categorie D komt overeen met machines die 0,4 gram/kWh NO_x als emissienorm hebben, en typisch in normaal gebruik ongeveer 30-40 gram NO_x per uur uitstoten, voor een 120 kW motor, kenmerkend voor een mobiele kraan, verreiker en wiellader. Deze uitstoot is ongeacht de specifieke motorbelasting. Voor de kleinere vermogens (<56 kW) zijn er geen schone machines beschikbaar. Kleinere motoren zouden vervangen kunnen en moeten worden door beschikbare uitstootvrije varianten, maar de vermogens tussen 56 en 560 kW, vragen op korte termijn de inzet van schone Stage IV en Stage V motoren.

2.2 Verschillende fases in de woningbouw

2.2.1 Bouwrijp maken

Het ophogen of afgraven van grond vraagt veel arbeid en inzet van zware machines. In dat geval is het bouwrijp maken, en de aanleg van wegen, riolering, etc. een arbeidsintensieve aangelegenheid, zeker als daarin de aanvoer of afvoer van grond meegenomen moet worden. Een perceel van 150 m² voor een woning een meter ophogen vraagt de aanvoer van 300 ton grond. Dat zijn 10 kiepwagens vol. Daarnaast worden voor de verdeling van grond graafmachines en wielladers gebruikt. Eén machine, twee dagen werk per woning, 8 uur per dag met 30% motorlast levert 5 kg NO_x voor een oude machine, 2,5 kg NO_x voor een nieuwere, en 0,8 kg NO_x voor de nieuwste machines.

2.2.2 Aanleg wegen en voorzieningen

Voor de aanleg van wegen en voorzieningen is de verwachting dat emissies van dezelfde orde zijn als het bouwrijp maken van het perceel van de woning. De oppervlakte per woning is minder maar aanleg van riolering en bestrating vraagt meer.

¹³ AUB (AdBlue verbruik, Uren, en Brandstofverbruik): een robuuste schatting van NO_x en NH₃ uitstoot van mobiele werktuigen, TNO rapport en rekensheet 2021 R12305

2.2.3 *Fundering*

In het westen van Nederland, op zachte bodem, moet er veelal geheid worden. Per woning worden ongeveer 10 heipalen gebruikt, en daarmee is, afhankelijk van de bodemgesteldheid een heimachine van 300-600 kW ongeveer vier dagen bezig. De motorbelasting is niet continu, en lager dan van andere machines. Naast het heien zelf, vraagt de aanvoer van heipalen ook de inzet van mobiele machines en vrachtwagens.

2.2.4 *Ruwbouw*

Het leggen van vloerplaten, het storten van beton, het metselen van muren, het storten van gietvloeren en het aanbrengen van het dak levert de grootste en zwaarste aanvoer van bouwmaterialen tijdens de bouw.

2.2.5 *Afbouw, vloeren, kozijnen*

Tijdens de afbouw worden verreikers, mobiele kranen, vorkheftrucks, bouwliften, etc. ingezet om de materialen, zoals ramen, kozijnen, trappen, etc. te vervoeren op locatie en te plaatsen.

2.3 Inzet van bouwmachines

Standaard materieel zoals wielladers, graafmachines, wielladers, mobiele kranen, verreikers en bouwliften is over het algemeen beschikbaar in schonere Stage IV en Stage V varianten, met bouwjaar vanaf 2014, en vermogens tussen 56 kW en 560 kW. Meer specialistisch materieel, zoals heimachines, grote bouwkransen, zijn vaak minder schoon, deels vanwege de vermogensklassen waarvoor er geen strenge eisen zijn, en deels omdat deze bouwmachines langer gebruikt worden, en ouder zijn.

Er zijn voor de aanbestedingseisen verschillende klassen gemaakt om vies, van gematigd, van schoon, en van uitstootvrij te onderscheiden. Daarin wordt naast de NO_x uitstoot ook rekening gehouden met de fijnstofuitstoot.

Tabel 2: Verschillende emissieniveaus, op basis emissieklassen en vermogen.

Elektrisch	uitstootvrij				
Stage V	gematigd			schoon	gematigd
Stage IV	gematigd				
Stage IIIB	gematigd				
Stage IIIA	gematigd				
Stage II	vies				
Stage I	vies				
Vermogen	<19 kW	19-37 kW	37-56 kW	56-560 kW	>560 kW

Bij moderne Stage IV en V machines met een SCR installatie treden in veel gevallen ongeveer de helft van de emissies op tijdens stationair draaien en bij lage motorlast draaien.¹⁴ Hiermee wordt rekening gehouden in de berekeningen. Schone machines Stage IV en Stage V hebben daarom nog een behoorlijk reductiepotentieel door controle op de inzet.¹⁵

¹⁴ De inzet van bouwmachines en de bijbehorende NO_x- en CO₂-emissies, TNO rapport 2018 R10465.

¹⁵ Real-world emissions of non-road mobile machinery, TNO rapport 2021 R10221.

2.4 Voertuigen op de bouwplaats

Een woning weegt ongeveer 200 ton. De aanvoer van materiaal vraagt daarmee ongeveer 10 zware vrachtwagens en, bijvoorbeeld, betonmixers. Als dat vervoer over een gemiddelde afstand is van 50 kilometer, in één richting, dan is de daarmee geassocieerde NO_x emissie 3 kg. Als elke vrachtwagen een half uur op de bouwplaats stationair staat te draaien, langzaam rijdt, of lost, komt daar nog eens 1 kg NO_x bij, omdat zware voertuigen bij lage motorbelasting slechter presteren.

Een andere bron van voertuigemissies zijn bestelbussen van bouwvakkers en installateurs. Als deze ook van een afstand van 50 km komen zijn de geassocieerde NO_x emissies, in het geval van een oude bestelbus (Euro 5) en 30 werkdagen per woning 4,5 kg. Als daarentegen een nieuwe bestelbus wordt gebruikt, Euro-6d, dan is de uitstoot per woning slechts 60 gram, een factor 75 lager.

2.5 Overzicht bouwactiviteiten en NO_x uitstoot

Tabel 3 geeft een inschatting van het benodigde materieel en bijbehorende inzet (draaiuren) per fase van een woningbouwproject van ca. 100 huizen. De verschillende typen machines zijn weergegeven, inclusief bijbehorende motorvermogens en draaiuren. Daarnaast is er nog de aanvoer van de materialen, de grond, en het personeel, ofwel de voertuigkilometers met bestelwagens en vrachtwagens.

Tabel 3: Benodigd materieel en inzet voor een woonwijk met ca. 100 huizen.

Fasering	Type	Motor vermogen [kW]	Totaal draaiuren in project per werktuig
Grondwerk ontgraven	Hydraulische kraan	178	800
	Shovel	136	400
	Shovel	121	500
Aanleg riool	Hydraulische kraan	178	600
	Shovel	136	600
	Aggregaat	55	600
	Bronnering	15	600
Fundering (heien)	Shovel	121	200
	Minigraver	37	200
	Funderings-machine	441	200
	Aggregaat	55	200
	Bronnering	15	200
Ruwbouw	Tbd	160	tbd
Afbouw	Tbd	130	tbd
Aanbrengen waterberging	Hydraulische kraan	178	500
	Shovel	121	500
	Mobiele kraan	95	200
	Aggregaat	55	500
	Bronnering	15	500
	Hydraulische kraan	178	80

Aanleggen wegen, paden en constructies	Shovel	121	400
	Minigraver	37	400
	Mobiele kraan	95	400
	Asfaltspreidmachine	145	200
	Wals	55	200
	Knijperaauto	220	200

Op basis van het materieel zoals weergegeven in Tabel 3 is een inschatting gemaakt van het brandstofverbruik en de NO_x-emissies per fase van een woningbouwproject van ca. 100 huizen. In Tabel 3 zijn hiervan de resultaten weergegeven. De berekening van de NO_x-emissies is gedaan voor de situatie met 'vies' oud materieel (Stage II of ouder), 'gematigd' medium materieel (Stage IIIA/B) en 'schoon' nieuw materieel (Stage IV/V). Voor de bouw van 100 huizen komt de inschatting van de NO_x-uitstoot daarmee op resp. 7600, 4100 en 2100 kg. Per woning komt de NO_x-uitstoot daarmee tussen de 21 en 76 kg, afhankelijk van het toegepaste materieel. De inschatting zit daarmee in dezelfde range als de in de inleiding becijferde 60 kg NO_x per woning.

In deze getallen is nog niet het effect van betere controle op onnodig stationair draaien en monitoring van de werking van de SCR katalysator in verband met mogelijke defecten meegenomen. Bij de inzet van nieuw materieel (Stage IV/V) kunnen in dat geval de emissies mogelijk ongeveer gehalveerd worden. Bij de nieuwbouw van 100 woningen gaat het dan om een NO_x uitstoot van ca. 1000 kg, oftewel 10 kg per huis. Daarnaast zijn er verschillende typen woningbouwprojecten. In sommige gevallen hoeft de locatie niet bouwrijp gemaakt te worden, en kan worden aangesloten op bestaande wegen en voorzieningen zoals riolering. Dat scheelt ruim de helft van de totale NO_x-uitstoot. Zonder deze activiteiten kan de bouw van een nieuw huis dus op een uitstoot van 5 kg NO_x uitkomen, bij toepassing van de meest schone machines mits er controle is op de inzet en werking van de SCR.

In het geval van sloop en nieuwbouw op dezelfde locatie zijn de veroorzaakte emissies lager. De inschatting is dat de bouw van een woning met schoon materieel leidt tot de uitstoot van 5 tot 20 kg NO_x. Met inzet van oud materieel kan dit oplopen tot een factor 4 meer.

Twee voorbeelden:

1. Een woonwijk met 1000 woningen vanaf het begin bouwen: 75 ton NO_x met oud materieel, en 20 ton met nieuw materieel.
2. Vijf nieuwe woningen plaatsen in een bestaande straat: 200 kg NO_x met oud materieel, en 50 kg NO_x met schoon, nieuw materieel.

Tabel 4: Brandstofverbruik en NOx-uitstoot voor een woonwijk met ca. 100 huizen.

Fase	Diesel [liter]	NOx [kg]		
		'Vies' oud materieel	'Gematigd' medium materieel	'Schoon' nieuw materieel
Grondwerk ontgraven	25.722	780	394	147
Aanleg riool	23.660	722	390	208
Fundering (heien)	13.280	403	216	111
Aanbrengen waterberging	21.637	660	355	185
Aanleggen wegen, paden en constructies	20.782	633	335	162
Aanvoer grond	30.103	300	300	300
Aanvoer materiaal	35.120	350	350	350
Vervoer personeel	17.535	450	120	6
Ruwbouw	76.800	2.329	1.177	440
Afbouw	31.200	946	478	179
Totaal	295.839	7.573	4.115	2.088

3 Vergelijking met de uitstoot van verkeer en vervoer

Met de afname van 10 kg NO_x-uitstoot per woning als een richtgetal bij de inzet van schoon materieel in de bouw kan een vergelijking worden gemaakt met andere bronnen van NO_x emissies zodat meer gevoel ontstaat over de orde van grootte hiervan.

Dezelfde NO_x-uitstoot treedt op bij de volgende activiteiten:

- Een oud binnenvaartschip (CCR0) dat 5 uur vaart.
- Een stroomaggregaat van 770 kW dat 2,5 uur aanstaat.¹⁶
- Een Euro-5 bestelauto die 7000 kilometer rijdt.¹⁷
- Een trekker-oplegger Euro-VI die 9000 kilometer rijdt.¹⁸
- De uitstoot van 300 meter lengte gemiddelde snelweg in een enkele dag.
- De uitstoot van een gemiddeld zeeschip op de Noordzee in 20 minuten.¹⁹
- Een diesellocomotief per dag.²⁰
- Een koelunit op een vrachtwagen of oplegger in twee weken.²¹

De NO_x uitstoot van deze bronnen is op alle manieren vergelijkbaar met de uitstoot van de bouw: het betreft allemaal dieselmotoren die op lage hoogte emissies uitstoten die in de directe omgeving tot verhoogde concentraties van NO_x leiden.

In de onderstaande paragrafen wordt verschillende bekende problemen met NO_x emissies van wegverkeer en maatregelen voor het reduceren van deze emissies besproken. De grote bronnen van NO_x emissies worden daarin behandeld.

3.1 Milieuzone lichte dieselauto's Euro 6d

Indien alleen de schoonste (Euro-6d) bestelauto's (vanaf 2020) en diesel personenauto's (vanaf 2019) worden toegelaten, hebben alle lichte voertuigen, ook de benzineauto's, vergelijkbare NO_x-emissies in de orde van 20-30 mg/km met een warme motor, en ongeveer 700 mg NO_x per koude start. Met 17.000 voertuigen per dag op een doorgaande stedelijke weg, zijn de reducties van een Euro-6d milieuzone per kilometer weg 2 kilogram. Verder hebben oudere benzinevoertuigen, ouder dan 10-15 jaar, een verhoogd risico op defecte katalysatoren. Indien ook deze oudere benzinevoertuigen worden geweerd, bedraagt de NO_x-reductie per km weg 3 kilogram. Dat houdt in dat voor een bouwduur van één jaar per km wegvak waarvoor de milieuzone geldt, er 730 resp. 1095 kg NO_x wordt gereduceerd. Uitgaande van 10 kg NO_x-uitstoot per woning als een richtgetal bij de inzet van schoon materieel komt de NO_x-reductie van één kilometer doorgaande milieuzone-weg overeen met de bouw van 72 resp. 108 nieuw woningen.

¹⁶ Real-world emissions of non-road mobile machinery, TNO rapport 2021 R10221.

¹⁷ On-road NO_x and CO₂ investigations of Euro 5 Light commercial vehicles, TNO Rapport 2015 R10192

¹⁸ Dutch In-service Emissions Measurement and Monitoring programme for Heavy-Duty vehicles 2021, TNO rapport 2022 R10375.

¹⁹ Onderbouwing AERIUS emissiefactoren voor wegverkeer, mobiele werktuigen, binnenvaart en zeevaart, TNO rapport 2020 R11528.

²⁰ Inzicht in het energieverbruik, de CO₂ uitstoot en de NO_x-uitstoot van het spoorgoederenvervoer, TNO rapport 2017 R11414

²¹ Real-world emissions of non-road mobile machinery, TNO rapport 2021 R10221.

3.2 Milieuzone bestelwagens Euro 6

Bij het weren van dieselbestelauto's tot en met Euro 5 (geen onderdeel van de huidige regelgeving rondom milieuzonering) is het effect ca. 1 kg per dag over een wegvak van 1 kilometer (met dezelfde uitgangspunten als hiervoor). Bij een nog strengere variant, waarbij alleen dieselbestelauto's vanaf Euro 6d (vanaf 2020) worden toegelaten zal het effect toenemen. Bij volledig uitstootvrij (zoals bij het ZES convenant) gaat dit naar ca. 1,8 kg per dag over een wegvak van 1 kilometer (zelfde uitgangspunten als hiervoor). Voor een jaar is dit vergelijkbaar met bijvoorbeeld de bouw van resp. 36 en 65 nieuwe woningen voor de milieuzone en ZES zone resp.. Dit is gebaseerd op een typische drukke binnenstedelijke weg.²²

3.3 Milieuzone zwaar wegverkeer Euro-VI

Met 500 vrachtwagens op een drukke stadsweg per dag is, bij invoering van een milieuzone zwaar verkeer, de reductie, per km wegvak, in emissies ca. 1 kg NO_x per dag. Dit is op basis van de verschuiving van Euro-V en ouder naar Euro-VI, uitgaande van een gemiddelde vlootsamenstelling zoals bekend vanuit zichtjaar 2021. De reductie is afhankelijk van de hoeveelheid congestie en het aandeel middelzwaar versus zwaar wegverkeer. Voor latere zichtjaren – waar het aandeel Euro VI groter is – zal het effect dalen, alhoewel deze vrachtwagens in de stad vaak hogere emissies hebben per kilometer, en het effect beperkter dan op de snelweg waar Euro-VI substantieel hoger. De NO_x reductie door deze milieuzone, in een jaar, voor één kilometer stadsweg met 500 vrachtauto's bedraagt ca. 300 kg NO_x. Dit staat bijvoorbeeld gelijk aan het complete bouwproces van ca. 30 woningen.

3.4 Lokale verkeersmaatregelen

3.4.1 *De snelheidslimiet op een snelweg direct nabij een bouwlocatie 's nachts van 120/130 km/h verlagen naar 100 km/h*

De inschatting is dat buiten de venstertijden van 06:00-19:00 ongeveer 15% van de totale kilometers op de snelweg worden gereden. Daarmee komt bij deze maatregel de reductie per voertuig uit op 3% tot 4% per dag. Met een gemiddelde van 5 ton NO_x-emissies per jaar per snelwegkilometer, levert deze maatregel voor één kilometer snelweg ca. 0,15 ton (3% * 5 ton). Dit is vergelijkbaar met bijvoorbeeld de bouw van 15 nieuw woningen.

3.4.2 *De snelheidslimiet op een snelweg direct nabij een bouwlocatie van 100 km/h verlagen naar 80 km/h*

Afhankelijk van het niveau van handhaving, die nu op snelwegen met 80 km/h wordt toegepast, levert de snelheidsreductie van 100 km/h naar 80 km/h voor licht wegverkeer een NO_x-reductie op van 18% tot 24%. Met 5 ton NO_x-uitstoot van licht wegverkeer, per kilometer per jaar, geeft dat een NO_x-reductie van 0,9 tot 1,2 ton per km. Dit is vergelijkbaar met bijvoorbeeld de bouw van 90 tot 120 nieuw woningen.

²² Emissiefactoren wegverkeer: wijzigingen en uitbreidingen 2021, TNO report R11981 (2021).

3.4.3 Verminderen van stedelijk verkeer nabij een bouwlocatie

De NO_x-emissies van personenauto's en vrachtverkeer zijn binnen de bebouwde kom resp. 0,3 en 5 g/km.²³ Op drukke binnenstedelijke wegen zoals ontsluitingswegen rijden per dag ongeveer 15.000 voertuigen (per jaar ongeveer 4 miljoen voertuigen). Met 3% vrachtverkeer, levert dat per kilometer weg per jaar 1750 kg NO_x. Dit is vergelijkbaar met bijvoorbeeld de bouw van 175 nieuw woningen.

3.5 Daling emissiefactoren

Jaarlijks worden de emissiefactoren voor wegverkeer bijgesteld op basis van nieuwe metingen en inzichten in de vlootontwikkelingen. De emissiefactoren voor 2022 staan in Tabel 5. Daarin is te zien dat er van 2019 tot 2030 een substantiële daling wordt verwacht in de emissiefactoren van het wegverkeer. Dit wordt veroorzaakt door het verdwijnen van oudere, viezere voertuigen en de instroom van nieuwe schonere voertuigen.

Tabel 5: De NO_x emissiefactoren van 2022 voor de verschillende jaren

	Zichtjaar	2019	2025	2030
Wegtype	Voertuigklasse	NO _x [g/km]		
Stad stagnerend	Licht wegverkeer [<3.5 ton]	0.419	0.293	0.179
	Bussen	4.648	2.710	2.066
	Middelzwaar wegverkeer [3.5-20 ton]	8.095	4.667	4.614
	Zwaar wegverkeer [> 20 ton]	9.262	5.249	5.249
Stad normaal	Licht wegverkeer [<3.5 ton]	0.291	0.235	0.147
	Bussen	2.840	1.634	1.233
	Middelzwaar wegverkeer [3.5-20 ton]	4.822	2.418	2.386
	Zwaar wegverkeer [> 20 ton]	6.174	4.322	4.322
Stad doorstromend	Licht wegverkeer [<3.5 ton]	0.270	0.223	0.143
	Bussen	2.115	1.243	0.954
	Middelzwaar wegverkeer [3.5-20 ton]	3.118	1.595	1.575
	Zwaar wegverkeer [> 20 ton]	4.361	3.418	3.418
Buitenweg	Licht wegverkeer [<3.5 ton]	0.213	0.189	0.116
	Bussen	1.640	0.978	0.752
	Middelzwaar wegverkeer [3.5-20 ton]	2.823	1.191	1.144
	Zwaar wegverkeer [> 20 ton]	4.005	2.906	2.906
Snelweg file	Licht wegverkeer [<3.5 ton]	0.387	0.264	0.151
	Middelzwaar wegverkeer [3.5-20 ton]	6.109	4.685	4.645
	Zwaar wegverkeer [> 20 ton]	7.592	5.760	5.760
Snelweg 80 km/h met trajectcontrole	Licht wegverkeer [<3.5 ton]	0.192	0.171	0.106
	Middelzwaar wegverkeer [3.5-20 ton]	2.299	0.960	0.944
	Zwaar wegverkeer [> 20 ton]	2.335	1.390	1.390

²³

<https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/luchtkwaliteit/documenten/publicaties/2022/03/15/emissiefactoren-voor-snelwegen-en-niet-snelwegen-2022>

Snelweg 100 km/h met trajectcontrole	Licht wegverkeer [<3.5 ton]	0.232	0.189	0.111
	Middelzwaar wegverkeer [3.5-20 ton]	2.299	0.960	0.944
	Zwaar wegverkeer [> 20 ton]	2.335	1.390	1.390
Snelweg 100 km/h	Licht wegverkeer [<3.5 ton]	0.252	0.198	0.116
	Middelzwaar wegverkeer [3.5-20 ton]	2.299	0.960	0.944
	Zwaar wegverkeer [> 20 ton]	2.335	1.390	1.390
Snelweg 120 km/h	Licht wegverkeer [<3.5 ton]	0.315	0.227	0.130
	Middelzwaar wegverkeer [3.5-20 ton]	2.299	0.960	0.944
	Zwaar wegverkeer [> 20 ton]	2.335	1.390	1.390
Snelweg 130 km/h	Licht wegverkeer [<3.5 ton]	0.350	0.242	0.137
	Middelzwaar wegverkeer [3.5-20 ton]	2.299	0.960	0.944
	Zwaar wegverkeer [> 20 ton]	2.335	1.390	1.390

Bij emissies in de ordegrootte van 1 g/km moet een enkel voertuig 10.000 kilometer rijden om vergelijkbare emissies te hebben als de bouw van één woning.

4 Conclusies

Dit rapport geeft indicatief aan hoe hoog de uitstoot is van stikstofoxiden (NO_x) bij de bouw van nieuwe woningen. Door het inzetten van de meest schone (Stage IV en V) machines met dieselmotor met effectieve SCR-katalysator (een goede monitoring van de werking van de SCR-katalysator is daarbij gewenst) en van uitstootvrije mobiele machines kan de stikstofuitstoot van de bouw worden verlaagd. Daarbij is het wel belangrijk dat de machines goed worden ingezet, bijvoorbeeld door het reduceren van onnodig stationair draaien voor machines met SCR.

Bij dit onderzoek is de berekening van de NO_x-emissies gedaan voor de situatie met 'vies' oud materieel (Stage II of ouder), 'gematigd' medium materieel (Stage IIIA/B) en 'schoon' nieuw materieel (Stage IV/V). Voor de bouw van 100 huizen komt de inschatting van de NO_x-uitstoot, afgerond, op resp. 7600, 4100 en 2100 kg. Per woning bedraagt de NO_x-uitstoot daarmee tussen de 21 en 76 kg NO_x, afhankelijk van het toegepaste materieel.

In deze getallen is nog niet het effect van betere controle op stationair draaien en monitoring van de werking van de SCR katalysator meegenomen. Bij de inzet van nieuw materieel (Stage IV/V) kunnen in dat geval de emissies mogelijk ongeveer worden gehalveerd. De bouw van 100 woningen komt dan uit op ca. 1.000 kg NO_x uitstoot, oftewel 10 kg per huis. Wel zijn er verschillende typen woningbouwprojecten. In sommige gevallen hoeft de locatie niet bouwrijp te worden gemaakt en kan worden aangesloten op bestaande wegen en voorzieningen zoals riolering. Dat scheelt ruim de helft van de totale NO_x-uitstoot. De uitstoot per woning, zeker met de goede inzet van schoon materieel, is in dat geval beperkt in verhouding tot de uitstoot van andere emissiebronnen, zoals die van verkeer, welke in heel Nederland voorkomen.


5 Ondertekening

Den Haag, 17 maart 2023

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Sylvie Poels'.

Sylvie Poels
Projectleider

TNO

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Norbert E. Ligterink'.

Norbert E. Ligterink
Auteur