



Academische Werkplaats
Gezonde Leefomgeving



Uitstootvrije mobiliteit

Resterende milieubelasting
luchtkwaliteit & geluid

Uitstootvrije mobiliteit. Resterende milieubelasting luchtkwaliteit&geluid

Maart 2022

Auteurs:

Imke van Moorselaar (GGD Amsterdam)

Saskia van der Zee (GGD Amsterdam)

Sabine Denissen (GGD'en Brabant)

Dit project is financieel mogelijk gemaakt door de Academische Werkplaats Gezonde Leefomgeving met cofinanciering van de gemeente Amsterdam. Het project is uitgevoerd in overleg met de begeleidingscommissie, bestaande uit Harry van Bergen, Paul Coops, Carlo Schoonebeek (allen gemeente Amsterdam), Oscar Breugelmans (GGD Amsterdam), Norbert Ligterink, Pim van Mensch, Hugo Denier van der Gon (allen TNO), Jeroen de Hartog (GGD regio Utrecht), Flemming Cassee (RIVM) en Ulrike Gehring (Universiteit Utrecht IRAS), waarvoor hartelijk dank.

Speciaal woord van dank aan Wilco de Vries van het RIVM, die de bijdrage van de diverse bronnen (GCN sectoren) voor het kalenderjaar 2019 per gemeente beschikbaar heeft gemaakt. En aan Pim van Mensch en Henk Verhagen (TNO) die de berekeningen op straatniveau in Amsterdam en voor de bouwplaats hebben uitgevoerd. Zonder hun medewerking hadden we het project niet op deze manier kunnen uitvoeren.

Foto voorpagina: Foto: Paul Brennan (Pixabay, <https://pixabay.com/nl/photos/elektrische-lading-verkeersbord-2301604/>)



SAMENVATTING

In Nederland gaan we steeds meer richting uitstootvrij (elektrisch) verkeer. In 2019 werd ongeveer 1% van het totale aantal door personenauto's gereden kilometers afgelegd door volledig elektrische voertuigen. De verwachting is dat in 2030 is opgelopen tot ruim 10% van het aantal gereden kilometers.

Dit roept de vraag op wat de transitie naar volledig uitstootvrij wegverkeer betekent voor de luchtkwaliteit en ook voor de geluidbelasting in steden. In dit Academische Werkplaatsproject geven we hier antwoord op. We geven inzicht in welke verbetering in luchtkwaliteit en geluidbelasting er te verwachten is als al het verkeer in Nederland uitstootvrij zou zijn. En hoe deze uitkomsten zich verhouden tot de gezondheidkundige advieswaarden van de Wereldgezondheidsorganisatie. Met de resultaten laten we zien welke impact de verbeterde luchtkwaliteit heeft op de gezondheid. Het onderzoek richt zich grotendeels op uitstootvrij wegverkeer. In het laatste hoofdstuk kijken we ook naar mobiele werktuigen en welke impact op de luchtkwaliteit het uitstootvrij maken van deze categorie kan hebben.

Uitstootvrij verkeer is 'schoon' aan de uitlaat, maar er resteert nog uitstoot van fijn stof door slijtage van banden, remmen en het wegdek. Bij dit soort niet-uitlaatemissies gaat het alleen nog om (primair) fijn stof. Ook leidt uitstootvrij verkeer nog steeds tot resuspensie (opwerveling) van bodemstof. Volledig uitstootvrij verkeer draagt niet langer bij aan de vorming van secundair fijn stof. Secundair fijn stof wordt in de lucht gevormd door reacties van gassen. Secundair fijn stof maakt meer dan de helft uit van de totale fijn stof concentratie afkomstig van Nederlandse bronnen.

De resterende belasting voor luchtkwaliteit bij uitstootvrij wegverkeer hebben we op twee schaalniveaus berekend. Gemeentebreed (het gemiddelde in drie gemeenten: Amsterdam, Eindhoven en Kampen) en lokaal in drukke straten (in Amsterdam). De methodiek en onderliggende data verschillen per schaalniveau. In beide gevallen is de luchtkwaliteit bij volledig uitstootvrij verkeer vergeleken ten opzichte van de luchtkwaliteit bij de 'autonome' situatie in datzelfde jaar. De resultaten gemeentebreed zijn gebaseerd op Grootschalige Concentraties Nederland (GCN) gegevens over 2019. *GCN-prognoses voor 2030 waren voor dit project niet beschikbaar*. De resultaten in drukke straten zijn gebaseerd op prognoses voor het jaar 2030, in Amsterdam, op basis van data van de Monitoring van het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL).

In 2030 is de luchtkwaliteit een stuk beter dan in 2019, zijn de verkeersemissies verder afgenomen en is een groter deel van het wagenpark elektrisch. Daarom is de winst die in 2030 nog te behalen is met volledig uitstootvrij verkeer kleiner dan in 2019. Hierdoor is de in dit project berekende verbetering in drukke straten (prognose 2030) kleiner dan gemiddeld in de gemeenten (GCN-data 2019). De aanname bij de resultaten gemeentebreed is dat *al het verkeer in Nederland* uitstootvrij is. De aanname bij de resultaten in drukke straten is dat alleen het verkeer op gemeentelijke wegen uitstootvrij is.

De prognoses voor 2030 zijn uiteraard met onzekerheid omgeven. Dat geldt ook voor de schatting van de gezondheidswinst waartoe uitstootvrij verkeer zou kunnen leiden. De hieronder vermelde berekeningen moeten daarom niet als 'feiten' worden geïnterpreteerd maar als een zo goed mogelijke indicatie van de winst die potentieel mogelijk is.

Luchtkwaliteit Gemeentebreed (GCN-2019)

Volledig uitstootvrij verkeer in Nederland leidt in Amsterdam en Eindhoven gemiddeld tot 40% lagere NO₂ concentraties en in een kleinere gemeente als Kampen tot 30% lagere NO₂ concentraties. Uitstootvrij verkeer leidt ook tot lagere roetconcentraties in de drie gemeenten (14-24% lager). Voor fijn stof is de afname kleiner: voor PM_{2.5} is de afname gemiddeld 7-8% en voor PM₁₀ is de afname 4-6%.

Luchtkwaliteit Straatniveau (prognoses 2030)

Ook op straatniveau heeft uitstootvrij verkeer de grootste impact op de NO₂ (-20%) en roetconcentraties (-9%). De concentraties voor PM10 en PM2.5 zijn, respectievelijk 0.7% en 1.4% lager. Bij volledig uitstootvrij verkeer op gemeentelijke wegen in Amsterdam worden de gezondheidkundige advieswaarden van de WHO [uit 2021] voor NO₂ en fijn stof nog niet gehaald op de drukste straten.

Geluid

Uitstootvrij verkeer is niet volledig stil. Dit komt doordat verkeersgeluid voor een belangrijk deel afkomstig is van bandengeluid. Voor een gemengde verkeersstroom leidt uitstootvrij verkeer tot een gemiddelde geluidreductie van 2.5 dB. Ook zijn er minder pieken van geluiden. Gemiddeld is op straatniveau (*berekening voor Amsterdamse straten*) de geluidbelasting 2.3 dB lager bij uitstootvrij verkeer. In Amsterdam liggen de rekenpunten veelal op de gevel op dicht tegen de gevel van woningen aan. De geluidniveaus op de rekenpunten blijven nog ver boven de advieswaarde die de WHO hanteert.

De luchtkwaliteit- en geluidresultaten op gemeente- en straatniveau zijn doorgerekend naar winst voor de gezondheid. Daarvoor is gebruik gemaakt van bestaande kennis over de relatie tussen blootstelling en gezondheidseffecten (bij luchtkwaliteit) en hinder (bij geluid). Ter illustratie, ongeveer 22% van de jaarlijkse astmadiagnoses bij kinderen is toe te schrijven aan luchtverontreiniging. Bij uitstootvrij verkeer zou dit percentage afnemen naar ongeveer 14%. Dat betekent dat per jaar in Amsterdam en Eindhoven respectievelijk 122 en 35 minder kinderen astma zouden ontwikkelen. Ook voor andere aandoeningen ontstaat door uitstootvrij verkeer winst, al is die kleiner dan voor astma bij kinderen. Het aantal ernstig geluidgehinderden neemt met enkele procenten af bij uitstootvrij verkeer. Uiteraard zijn bovengenoemde schattingen met onzekerheid omgeven. In algemene zin geldt dat elke verbetering van de luchtkwaliteit en minder geluid leidt tot gezondheidswinst.

Mobiele werktuigen dragen in belangrijke mate bij aan de NO₂ en roetconcentraties in de stedelijke omgeving. Volledig uitstootvrije mobiele werktuigen in Nederland leiden tot circa 8-12% lagere NO₂ concentratie in Amsterdam, Eindhoven en Kampen. Bij volledige uitstootvrije mobiele werktuigen kan de roetconcentraties in de die gemeenten dalen met 8-13%. De fijn stof (PM10 en PM2.5) concentraties kunnen dalen met 2-3%.

Aanbevelingen

Aanbevelingen voor gemeenten en provincies

- Zet naast het uitstootvrij maken van het wegverkeer vooral in op minder wegverkeer. Ook bij uitstootvrij verkeer resteert er een bijdrage aan luchtvervuiling en geluidbelasting. Inzetten op minder wegverkeer heeft ook allerlei andere voordelen. Mensen gaan meer bewegen en er ontstaat meer ruimte voor andere functies zoals aanleg van groen en sport en spel, waardoor de omgeving aantrekkelijker en gezonder wordt.
- Sluit als gemeente aan bij het Schone Lucht Akkoord en stel beleid op voor uitstootvrij wegverkeer in 2030. Dit komt de gezondheid van de bewoners ten goede. De resultaten uit dit project laten zien dat uitstootvrij verkeer een belangrijke bijdrage levert aan schonere lucht in Nederlandse steden. Voor de grootste impact is het nodig dat alle gemeenten in Nederland uitstootvrij beleid invoeren en niet alleen de grotere steden. Denk daarbij vooral ook aan bussen en vrachtwagens; de elektrificatie van het zware wegverkeer loopt ver achter bij het lichte wegverkeer.
- Zet ook in op het verminderen van de uitstoot van andere bronnen, zoals mobiele werktuigen, houtstook, scheepvaart en de industrie. Ook als heel Nederland uitstootvrij verkeer heeft blijft er een resterende

opgave voor luchtkwaliteit. In 2030 worden bij uitstootvrij verkeer, naar verwachting, de gezondheidkundige advieswaarden voor luchtkwaliteit van de WHO [uit 2021] nog niet overal gehaald. Daarom is het van belang om ook beleid te maken voor andere bronnen. Luchtverontreiniging houdt zich niet aan grenzen. Voor het verbeteren van de luchtkwaliteit zijn zowel lokale, regionale, nationale als internationale maatregelen nodig.

- Verminder de geluidbelasting in de stedelijke omgeving, bijvoorbeeld door in te zetten op autoluwe steden met minder verkeer, lagere snelheden (30 km/u de standaard), geen klinkers op drukke straten, meer geluid reducerend asfalt, meer stille banden, en zorg dat woningen op geluidbelaste plekken minstens één stille aangename zijde hebben. Een hoge geluidbelasting door verkeer is een belangrijk probleem in de stedelijke omgeving. Ook bij volledig uitstootvrij verkeer. Om dichterbij de buurt te komen van de gezondheidkundige advieswaarde van de WHO is het nodig om beleid te maken dat de geluidssituatie in de stedelijke omgeving sterk verbetert.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

- Een deel van het onderzoek is gedaan met data uit de GCN-ronde 2020 waarbij de achtergrondconcentraties in Nederland zijn gemodelleerd voor 2019. Voor een beter inzicht in de situatie in 2030 is het nodig om het onderzoek te herhalen met de GCN-prognoses voor 2030. Deze data worden op gemeenteniveau in de loop van 2022 door het RIVM beschikbaar gesteld.
- De ontwikkelingen van elektrificatie van licht en zwaar verkeer lopen niet gelijk. Het aandeel elektrisch bij vrachtverkeer is nog beperkt. Het is daarom nuttig om in een vervolg onderscheid tussen de bijdrage van het licht en zwaar verkeer te maken.
- Herhaal het onderzoeksgedeelte over mobiele werktuigen op het moment dat er een (meer) realistische lokalisering van de mobiele werktuigen is, en als inzichten rondom mobiele werktuigen in de emissieregistratie zijn verbeterd.

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting	3
Aanbevelingen	4
Aanbevelingen voor gemeenten en provincies	4
Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	5
Hoofdstuk 1 Inleiding	8
Hoofdstuk 2 Invloed uitstootvrij verkeer op luchtkwaliteit	10
2.1 Wat zijn niet-uitlaatemissies?	10
2.2 Wat is de samenstelling van niet-uitlaatemissies?	10
2.3 Onderscheid primair en secundair fijn stof	10
2.4 Niet-uitlaatemissies van elektrische voertuigen	12
2.5 Wat is er bekend over de gezondheidseffecten van niet-uitlaatemissies?	12
2.6 Literatuur	13
Hoofdstuk 3 Verbeteringen door uitstootvrij wegverkeer	15
3.1 Inleiding	15
3.2 Gemiddeld in een gemeente	16
3.2.1 Luchtkwaliteit – Concentratiebijdrage per gemeente	16
3.2.2 Luchtkwaliteit – Emissies per gemeente	18
3.3 Straatniveau	19
3.3.1 Luchtkwaliteit in Amsterdamse straten	20
3.4 Geluid	21
3.4.1 Geluid in Amsterdamse straten	23
Hoofdstuk 4 Gezondheidswinst bij uitstootvrij verkeer	24
4.1 Inleiding	24
4.2 Gemiddelde in een gemeente	25
4.2.1 Luchtkwaliteit en gezondheid	25
4.3 Straatniveau	27
4.3.1 Luchtkwaliteit en gezondheid	27
4.4 Geluid en gezondheid	28
4.4.1 Geluid en gezondheid op straatniveau	30
4.5 Literatuur	31

Hoofdstuk 5 Uitstootvrije mobiele werktuigen	32
5.1 Inleiding	32
5.2 Gemiddeld in een gemeente	32
5.2.1 Luchtkwaliteit – Concentratiebijdrage per gemeente	33
5.2.2 Luchtkwaliteit – Emissies per gemeente	34
5.3 Lokaal: Fictieve bouwplaats	35
5.3.1 Indicatieve berekening bijdrage NO ₂ concentratie	38
Definities	39
Bijlage 1	40

HOOFDSTUK 1 INLEIDING

Steeds meer steden in Nederland richten zogenaamde zero-emissie zones in. In het Klimaatakkoord is afgesproken dat vanaf 2025 minimaal dertig steden in Nederland zo'n zone moeten hebben ingesteld. Amsterdam wil dat het gebied binnen de ring A10 per 1 januari 2025 uitstootvrij is. Per 2030 wordt de hele gemeente uitstootvrij. Ook Eindhoven wil dat vanaf 2030 al het vervoer binnen de gemeentegrenzen uitstootvrij is.

Er wordt steeds meer uitstootvrij gereden in Nederland. In het Klimaatakkoord zijn afspraken gemaakt die de elektrificatie verder moeten aanjagen¹. In 2019 werd 1,2% van het totale aantal door personenauto's gereden kilometers afgelegd door volledig elektrische voertuigen². Dit aandeel groeit snel en is in 2030 geraamd op ruim 10% van het totale aantal kilometers. Hybride auto's zijn in deze cijfers (en in dit project) overigens buiten beschouwing gelaten; het aandeel daarvan daalt en zal tot 2030 nog verder dalen. De stijgende populariteit van elektrische auto's gaat naar verwachting voor een belangrijk deel ten koste van dieselauto's. De verwachting is dat circa 65% van het lichte wegverkeer in 2030 uit benzineauto's bestaat. Overigens is de elektrificatie van het vrachtautopark momenteel nog minimaal.

Bij volledig uitstootvrij (elektrisch) verkeer vindt geen uitstoot meer plaats van gasvormige verbindingen, fijn stof en roet als gevolg van verbrandingsprocessen (uit de uitlaat). Wel komt er nog fijn stof vrij als gevolg van slijtage van banden, wegdek, remmen en opwervend stof.

In dit project gaan we na wat de invloed is van volledig uitstootvrij (elektrisch) wegverkeer op luchtkwaliteit, geluid en gezondheid. Deze vraag beantwoorden we op twee schaalniveaus:

1. *Gemeentebreed*: de gemiddelde verbetering in een hele gemeente. Ter illustratie is gekozen voor twee grote steden (Amsterdam en Eindhoven) en een kleinere stad (Kampen).
2. *Op straatniveau*: het effect van zero-emissie wegverkeer op de luchtkwaliteit is het grootst daar waar de uitstoot plaatsvindt, in de buurt van drukke wegen. Ter illustratie zijn berekeningen gedaan voor drukke straten in Amsterdam.

Voor beide schaalniveaus is de verbetering in luchtkwaliteit ingeschat op basis van de gemodelleerde bijdrage van het wegverkeer aan de concentraties. Die bijdrage wordt apart berekend voor uitlaatemissies en niet-uitlaatemissies (slijtage van banden, remmen en wegdek). Bij volledig uitstootvrij verkeer blijven alleen de niet-uitlaatemissies over. De (maximale) winst in concentratie is daardoor eenvoudig te berekenen. Deze is vervolgens doorgerekend op de verwachte winst in gezondheid.

Omdat de luchtkwaliteit elk jaar verbetert (zie Definities: 'autonome ontwikkeling') moet, om het effect van zero-emissie verkeer 'sec' te beoordelen, een vergelijking worden gemaakt tussen de situatie met en zonder (volledig) uitstootvrij verkeer in hetzelfde kalenderjaar. Bij voorkeur in 2030, omdat dit het streefjaar is voor volledig uitstootvrij vervoer in veel steden, zoals Amsterdam en Eindhoven. Door verdere verjonging van het wagenpark, aangescherpte emissiewetgeving en verdere groei van het aantal elektrische voertuigen zal de uitstoot van het wegverkeer tot 2030 verder afnemen. De data waarmee de verwachte verbetering in 2030 op gemeenteniveau in beeld gebracht kunnen worden waren tijdens het uitvoeren van dit project echter nog niet beschikbaar. Daarom is

¹ Ligterink, TNO rapport, 2021 R11981

² <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/40/opnieuw-record-personenautokilometers-in-2019>

het effect van uitstootvrij verkeer op gemeentelijkniveau (in de gemeentes Amsterdam, Eindhoven en Kampen) beoordeeld voor 2019.

Gekozen is voor 2019, omdat 2020 (en ook 2021) vanwege de Corona-pandemie geen representatieve jaren zijn. De 'winst' die in 2030 is te bereiken met volledig uitstootvrij verkeer (ten opzichte van de autonome ontwikkeling) is echter kleiner dan in 2019. Daarom kunnen de schattingen voor 2019 (gemeentebreed) en 2030 (in drukke straten) niet met elkaar worden vergeleken.

Dit project laat zien wat de maximale winst is als gevolg van uitstootvrij wegverkeer. De onderliggende aanname voor de berekeningen 'gemeentebreed' is dat alle wegverkeer (licht en zwaar) *in heel Nederland* uitstootvrij is. Dit is vrijwel zeker een te optimistische aanname. Het is hoogst onwaarschijnlijk dat in 2030 al het lichte wegverkeer uitstootvrij is. Voor het zware wegverkeer ligt deze doelstelling mogelijk nog verder buiten bereik. Desalniettemin geeft dit project inzicht in welke potentiële winst er in luchtkwaliteit, geluid en gezondheid te bereiken is bij een scenario van uitstootvrij wegverkeer in Nederland.

HOOFDSTUK 2

INVLOED UITSTOOTVRIJ VERKEER OP LUCHTKWALITEIT

Wat is de invloed van uitstootvrij verkeer op de luchtkwaliteit?

Bij uitstootvrij verkeer zijn er geen uitlaatemissies meer. Dat betekent dat er geen gasvormige verbindingen en roet vrijkomen en ook geen fijn stof emissies als gevolg van verbrandingsprocessen. Wel komen er nog fijn stof emissies vrij afkomstig van bandenslijtage, wegdekslijtage en opwervend stof. Ook zijn er nog emissies als gevolg van remmen. Maar door de manier van remmen van elektrische voertuigen ('regeneratief remmen') zijn deze emissies beduidend lager dan bij gemotoriseerde voertuigen. Het netto-effect is dat elektrische voertuigen ook met betrekking tot fijn stof gunstiger zijn voor de luchtkwaliteit.

2.1 Wat zijn niet-uitlaatemissies?

Niet-uitlaatemissies van fijn stof zijn een gevolg van de slijtage van remmen, banden en wegdek. Daarnaast zorgt het wegverkeer voor re-suspensie (opdwarrelen) van bodemstof. In de emissiefactoren voor wegverkeer die ieder jaar door TNO worden vastgesteld, zijn de emissies ten gevolge van slijtage van banden, remmen en wegen opgenomen (Ligterink, 2021). Dat geldt niet voor geresuspendeerd fijn stof; dat feitelijk ook geen emissie is maar een re-emissie. Wel draagt re-suspensie bij aan de blootstelling aan fijn stof in de nabijheid van wegen.

2.2 Wat is de samenstelling van niet-uitlaatemissies?

Niet-uitlaat emissies bevatten deeltjes die in grootte variëren van ultrafijn stof (< 0,1 micrometer) tot grof stof (>2,5 micrometer). In vergelijking met fijn stof (PM) emissies uit de uitlaat bevat 'slijtage PM' minder koolstof en meer zware metalen, waaronder koper (Cu), ijzer (Fe), zink (Zn), barium (Ba) en antimoon (Sb) (Liat, 2019; Lyu 2020, Nosko 2017). Silicium (Si) is een marker van (geresuspendeerd) bodemstof. Deze metalen zijn echter ook afkomstig van andere bronnen; geen van de metalen is een 'unieke' marker voor niet-uitlaatemissies, al lijkt koper de beste indicator te zijn voor remslijtage (Denier van de Gon, 2013). Dit bemoeilijkt het vaststellen van de bijdrage aan de totale uitstoot. Wat betreft remslijtage emissies is circa 70% afkomstig van de remschijven, die vrijwel geheel uit ijzer bestaan, en circa 30% van de remblokken, die naast ijzer ook koper, zink en Sn bevatten (Hulskotte et al., 2014).

Deeltjes afkomstig van slijtage van banden en wegdek zijn groter dan deeltjes die bij het remmen worden gegenereerd. Deze deeltjes bevinden zich voor het grootste deel in de 'coarse' fractie van het fijn stof, tussen 2,5 en 10 micrometer of zijn zelfs groter dan 10 micrometer, waarmee ze buiten de definitie van fijn stof vallen (AQEG 2019; Ntziachristos). Ook zijn ze wereldwijd een belangrijke bron van microplastics (Beddows, 2021). Deeltjes die bij het remmen ontstaan worden in Europese rapporten ongeveer gelijk toegeschreven aan de fijne (<2,5 micrometer) en coarse (tussen 2,5 en 10 micrometer) fractie (Beddows, 2021; Harrison 2012). In Nederland wordt aangenomen dat circa 85% zich in de coarse fractie bevindt. Daarnaast komt er ultrafijn stof vrij als gevolg van thermische en/of chemische reacties (oxidatie) van remmateriaal bij (zeer) hoge temperatuur (Wahlström et al. 2010a).

2.3 Onderscheid primair en secundair fijn stof

Het gemotoriseerde wegverkeer draagt op twee manieren bij aan de fijn stof concentratie; het leidt tot zowel meer primair als secundair fijn stof. Primair fijn stof is stof dat rechtstreeks wordt uitgestoten door bronnen. Secundair fijn stof is fijn stof dat, op (grote) afstand van de bron wordt gevormd door reacties van gasvormige verbindingen.

Zo reageren stikstofoxiden, die door het (gemotoriseerde) wegverkeer worden uitgestoten met door de landbouw uitgestoten ammoniak in de lucht tot ammoniumnitraat, dat een belangrijk onderdeel vormt van fijn stof. De emissiecijfers van fijn stof hebben per definitie alleen betrekking op primair fijn stof: fijn stof dat rechtstreeks door de bron wordt uitgestoten.

Emissie (uitstoot) en concentratie zijn twee verschillende dingen. Voor de gezondheid gaat het uiteindelijk om de concentratie, het aantal microgram per kubieke meter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in de lucht die je inademt. Door gegevens over de uitstoot te combineren met een model waarin kenmerken zijn opgenomen die de verspreiding beïnvloeden (zoals ligging van de weg, meteorologie) kan de concentratie worden berekend. Om de grootschalige achtergrondconcentraties (GCN) te berekenen worden ook de reacties die bijdragen aan de vorming van secundair fijn stof gemodelleerd. De bijdrage van lokale bronnen aan de secundair fijn stof concentratie is de op dit moment beste inschatting. Deze is met onzekerheid omgeven. In dit project doen wij de aanname dat er door wegverkeer geen NOx meer wordt uitgestoten en dat daardoor geen secundair fijn stof meer wordt gevormd door wegverkeer. We laten hierbij de rol van ammoniak en de vraag welke component limiterend is voor de vorming van ammoniumnitraat (secundair fijn stof) buiten beschouwing.

Om het bovenstaande, en het belang van secundair fijn stof aan de totale bijdrage van wegverkeer te illustreren, is in tabel 1 de emissie en de bijdrage aan de primaire, secundaire en totale PM2.5 concentratie van wegverkeer weergegeven voor de gemeenten Amsterdam, Eindhoven en Kampen. Het betreft gegevens uit de GCN-ronde 2020.

Tabel 1 Totale emissie* wegverkeer PM2.5 en gemiddelde bijdrage aan PM2.5 concentratie in de gemeenten Amsterdam, Eindhoven en Kampen in 2019. (* Emissies hebben altijd uitsluitend betrekking op de primaire uitstoot, rechtstreeks vanuit de bron)

		Emissie wegverkeer (in kg/jaar)		Concentratiebijdrage wegverkeer (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
		Primair PM2.5	Secundair PM2.5	Primair PM2.5	Secundair PM2.5	Totaal PM2.5
Amsterdam	Snelwegen	12.314	*	0,14	0,29	0,43
	Provinciale wegen	4389	*	0,05	0,13	0,18
	Gemeentelijke wegen	16.478	*	0,10	0,11	0,21
	Slijtage	11.732	*	0,09	0	0,09
	Totaal wegverkeer	44.913	*	0,38	0,53	0,91
Eindhoven	Snelwegen	4402	*	0,10	0,27	0,37
	Provinciale wegen	4161	*	0,06	0,15	0,21
	Gemeentelijke wegen	6209	*	0,08	0,10	0,19
	Slijtage	5500	*	0,08	0	0,08
	Totaal wegverkeer	20.272	*	0,32	0,52	0,84
Kampen	Snelwegen	1102	*	0,05	0,26	0,30
	Provinciale wegen	1106	*	0,03	0,15	0,18
	Gemeentelijke wegen	939	*	0,02	0,08	0,11
	Slijtage	1180	*	0,03	0	0,03
	Totaal wegverkeer	4327	*	0,13	0,49	0,62

Uit Tabel 1 is af te leiden dat meer dan de helft (Amsterdam: 58%, Eindhoven: 62%, Kampen: 79%) van de bijdrage die het huidige, grotendeels gemotoriseerde, wegverkeer levert aan de PM2.5 concentratie het gevolg is van

secundair gevormd PM_{2.5}. Stikstofoxiden leveren hieraan de grootste bijdrage. Slijtage emissies (op zowel rijks-, provinciale- als gemeentelijk wegen) dragen 10% bij aan de PM_{2.5} concentratiebijdrage van wegverkeer. Bij volledig uitstootvrij vervoer (in heel Nederland) wordt er ook geen secundair fijn stof meer gevormd door wegverkeer – er komen dan immers geen stikstofoxiden en andere gasvormige verbindingen meer uit de uitlaat (uitgaande van volledig ‘schoon’ opgewekte elektriciteit). Dus ook al nemen de slijtage emissies als gevolg van zwaardere elektrische auto’s toe, dan wordt dit meer dan gecompenseerd door de afname in secundair fijn stof. Waarbij wel moet worden opgemerkt dat het secundair fijn stof vooral op (grote) afstand van de bron wordt gevormd en dit alleen opgaat wanneer in het hele land wordt overgeschakeld naar uitstootvrij.

2.4 Niet-uitlaatemissies van elektrische voertuigen

Elektrische auto’s remmen af wanneer het gaspedaal wordt losgelaten. Bij dit zogenaamde ‘regeneratief remmen’ wordt de bewegingsenergie niet omgezet in warmte, maar in elektriciteit en weer opgeslagen in de accu. Elektrische auto’s beschikken uiteraard ook over een rempedaal, maar die hoeft, afhankelijk van de rijstijl en omstandigheden, nog maar weinig gebruikt te worden. Daardoor nemen de fijn stof emissies ten gevolge van remslijtage af bij volledig elektrische voertuigen. De mate waarin de fijn stof emissies afnemen hangt af van de mate van regeneratief remmen. Schattingen lopen uiteen van ca 50% tot bijna 100% (Ligterink et al, 2014; Barlow et al., 2014, van Zeebroek en de Ceuster, 2013, Hooftman et al., 2016).

Tegelijkertijd zijn elektrische auto’s gemiddeld zwaarder, wat leidt tot een toename in de niet-uitlaatemissies. De fijn stof emissies van elektrische auto’s hangen samen met het gewicht van de accu en daarmee van de afstand die kan worden afgelegd met een volle accu. Lichte elektrische auto’s (accu met een range tot 160 km) emitteren gemiddeld 11-13% minder niet-uitlaat-PM_{2.5} en 18-19% minder niet-uitlaat-PM₁₀ dan auto’s met een verbrandingsmotor. Zwaardere elektrische voertuigen (EV’s) met een range van 480 km of meer emitteren gemiddeld 3-8% minder niet-uitlaat-PM_{2.5} en 4-7% PM₁₀ dan auto’s met een verbrandingsmotor (OECD, 2021). Toch is volgens deze cijfers de niet-uitlaat uitstoot van EV’s dus nog steeds lager. In combinatie met de afwezigheid van de vorming van secundair fijn stof bij EV’s, is de conclusie dat EV’s een gunstige invloed hebben op de fijn stof concentraties (mits de elektriciteit schoon wordt opgewekt).

2.5 Wat is er bekend over de gezondheidseffecten van niet-uitlaatemissies?

Ten opzichte van uitlaatemissies, die vrijwel geheel in de <2,5 µm fractie en voor een groot deel in de ultrafijne fractie zitten, zijn fijn stofdeeltjes die vrijkomen tijdens remmen, slijtageprocessen en re-suspensie beduidend groter. Een groter deel zit in de coarse fractie (de fractie tussen 2,5 en 10 µm, zie paragraaf 2.2). De bewijskracht voor de schadelijke effecten van PM_{2.5}, PM coarse en ultrafijn stof is samengevat in tabel 2. Deze tabel laat zien dat de bewijskracht voor de schadelijkheid van PM_{2.5} beduidend groter is dan van PM coarse. Dit kan deels worden verklaard doordat deeltjes <2,5 micrometer dieper in de luchtwegen doordringen. Onderzoek naar de schadelijkheid van de coarse-fractie is echter ook veel schaarser dan onderzoek naar PM_{2.5} en PM₁₀. Dat geldt overigens ook voor UFP. Ook dat draagt bij aan de beperkte bewijskracht.

In september 2020 heeft het Committee on the Medical Effects of Air Pollution (COMEAP) de beschikbare epidemiologische en toxicologische studies naar gezondheidseffecten van niet-uitlaatemissies van wegverkeer samengevat en de evidentie beoordeeld (COMEAP, 2020).

Toxicologische studies laten zien dat blootstelling aan hoge concentraties fijn stof afkomstig van banden en remslijtage diverse negatieve effecten op de gezondheid kunnen optreden. Dit kan echter niet worden vertaald naar effecten bij mensen ‘in real life’ aan in de buitenlucht heersende concentraties, die veel lager zijn dan in

toxicologisch onderzoek. De resultaten van epidemiologische studies zijn inconsistent; in sommige studies wordt wel een effect gevonden, in andere studies niet. Het aantal uitgevoerde studies is relatief beperkt. De sterke correlatie tussen fijn stof afkomstig uit de uitlaat en niet-uitlaat bemoeilijkt het trekken van conclusies uit epidemiologisch onderzoek. De conclusie van COMEAP is dat de wetenschappelijke bewijskracht nog te gering is om te kunnen concluderen dat niet-uitlaatemissies schadelijk zijn voor de gezondheid. Tegelijkertijd is het, aangezien onomstotelijk vaststaat dat fijn stof schadelijk is voor de gezondheid, aannemelijk dat dit ook in enige mate geldt voor blootstelling aan fijn stof afkomstig van niet-uitlaatemissies.

Tabel 2 Bewijskracht voor gezondheidseffecten van PM2.5, PM-coarse (de fractie tussen 2,5 en 10 µm) en ultrafijn stof bij lange en korte termijn blootstelling (US-EPA, 2019 en GR 2021).

Gezondheidseffect	PM	Lange termijn blootstelling	Korte termijn blootstelling
Respiratoire effecten	PM2,5	Waarschijnlijk causaal	Waarschijnlijk causaal
	PM coarse	Onvoldoende	Indicatief
	UFP	Indicatief	Indicatief
Cardiovasculaire effecten	PM2,5	Causaal	Causaal
	PM coarse	Indicatief	Indicatief
	UFP	Indicatief	Indicatief
Metabole effecten	PM2,5	Indicatief	Indicatief
	PM coarse	Indicatief	Onvoldoende
	UFP	Onvoldoende	Onvoldoende
Zenuwstelsel effecten	PM2,5	Waarschijnlijk causaal	Indicatief
	PM coarse	Indicatief	Onvoldoende
	UFP	Indicatief	Indicatief
Reproductie en fertiliteit	PM2,5	Indicatief	n.v.t.
	PM coarse	Onvoldoende	n.v.t.
	UFP	Indicatief	n.v.t.
Zwangerschap- en geboorte uitkomsten	PM2,5	Indicatief	n.v.t.
	PM coarse	Onvoldoende	n.v.t.
	UFP	Onvoldoende	n.v.t.

2.6 Literatuur

- Air Quality Expert Group. Report: Non-exhaust emissions from road traffic. 2019, <https://uk-air.defra.gov.uk>
- Barlow, T., 2014. Briefing Paper on Non-Exhaust Particulate Emissions From Road Transport. Transport Research Laboratory, Wokingham, UK. Beddows, D.C.S., Harrison, R.M., 2020. PM10 and PM2.5 emission factors for non-exhaust particles from road vehicles: Dependence upon vehicle mass and implications for battery electric vehicles. Atmos. Environ. 244.
- Beddows DCS, Harrison RM. PM10 and PM2.5 emission factors for non-exhaust particles from road vehicles: Dependence upon vehicle mass and implications for battery electric vehicles. Atmospheric Environment 2021; 244; 117886. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117886>
- Committee on the Medical Effects of Air Pollutants (COMEAP). 2020. Statement on the evidence for health effects associated with exposure to non-exhaust particulate matter from road transport.
- Denier van der Gon HAC, Gerlofs-Nijland ME, Gehrig R, Gustafsson M, Janssen N, Harrison RM, et al. 2013. The policy relevance of wear emissions from road transport, now and in the future—an international

workshop report and consensus statement. J Air & Waste Manag Assoc; 10.1080/10962247.2012.741055.

- Harrison, R.M., Jones, A.M., Gietl, J., Yin, J., Green, D.C. Estimation of the contributions of brake dust, tire wear, and resuspension to nonexhaust traffic particles derived from atmospheric measurements (2012) Environmental Science and Technology, 46 (12), pp. 6523-6529.
- Hooftman, N., Oliveira, L., Messagie, M., Coosemans, T., Van Mierlo, J., 2016. Environmental analysis of petrol, diesel and electric passenger cars in a Belgian urban setting. Energies 9, 84.
- Ntziachristos, L.; Boulter, P. EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019; EMEP/EEA: Copenhagen, Denmark, 2019
- Liati A, Schreiber D, Lugovyy D, Gramstat S, Dimopoulos Eggenschwiler P. 2019. Airborne particulate matter emissions from vehicle brakes in micro- and nano-scales: Morphology and chemistry by electron microscopy. Atmos Environ; 10.1016/j.atmosenv.2019.05.037.
- Ligterink N., Stelwagen U., Kuenen J. , 2014. Emission factors for alternative drivelines and alternative fuels. TNO Report for the Dutch Pollutant Release and Transfer Register.
- Lyu Y, Leonardi M, Wahlström J, Gialanella S, Olofsson U. 2020. Friction, wear and airborne particle emission from Cu-free brake materials. Tribol Int; 10.1016/j.triboint.2019.105959.
- OECD. Non-exhaust Particulate Emissions from Road Transport; An Ignored Environmental Policy Challenge. 7 december 2020 <https://doi.org/10.1787/4a4dc6ca-en>
- TNO 2021 R11981 Emissiefactoren wegverkeer: wijzigingen en uitbreidingen 2021. Norbert E. Ligterink, Gerben Geilenkirchen (PBL), Emiel van Eijk en Jessica M. de Ruiter
- Van Zeebroek, B., De Ceuster, G., 2013. Elektrische wagens verminderen fijnstof nauwelijks. Transp. Mobil. Leuven.
- Wahlström J, Olander L, Olofsson U (2010a) Size, shape, and elemental composition of airborne wear particles from disc brake materials. Tribol Lett 38:15–2

HOOFDSTUK 3

VERBETERINGEN DOOR UITSTOOTVRIJ WEGVERKEER

Tot welke verbetering in concentraties van fijn stof en NO₂ leidt uitstootvrij wegverkeer? En tot welke verbetering van de geluidbelasting?

Uitstootvrij verkeer in Nederland leidt in de grotere gemeentes Amsterdam en Eindhoven gemiddeld tot circa 40% lagere NO₂ concentraties en in een kleinere gemeente als Kampen tot circa 30% lagere NO₂ concentraties. Uitstootvrij verkeer leidt ook tot lagere roetconcentraties (Amsterdam: -24%, Eindhoven: -18%, Kampen: -14%). Voor PM_{2.5} is de afname gemiddeld 7-8% en voor PM₁₀ is de afname 4-6%.* Uitstootvrij verkeer is niet volledig stil en de gemiddelde geluidreductie is beperkt (2.5 dB). Wel draagt uitstootvrij verkeer bij aan minder pieken van geluiden.

In drukke straten is de verbetering van luchtkwaliteit en geluid groter dan gemiddeld in de stad.* Toch worden, bij volledig uitstootvrij verkeer in 2030, de gezondheidskundige advieswaardes van de WHO [uit 2021] nog niet gehaald in Amsterdamse drukke straten. Voor fijn stof en NO₂ wordt de WHO-advieswaarde nog met enkele microgrammen per m³ overschreden. In drukke straten in Amsterdam is de gemiddelde geluidbelasting met uitstootvrij verkeer ongeveer 72 dB. Daarmee blijven de geluidniveaus ver boven de advieswaarde van 53 dB die de WHO hanteert.

** Deze vraag is doorgerekend voor drukke straten in Amsterdam en als gemiddelde blootstelling in de gemeente Amsterdam, Eindhoven en Kampen. De resultaten gemiddeld in een gemeente zijn gebaseerd op GCN-luchtkwaliteit gegevens voor het jaar 2019. De resultaten op straatniveau zijn gebaseerd op prognoses voor het jaar 2030. In 2030 is de luchtkwaliteit een stuk beter dan in 2019 en is een groter deel van het wagenpark elektrisch. Daarom is de winst die in 2030 nog te behalen is met volledig uitstootvrij kleiner dan in 2019. Hierdoor zijn de percentages op straatniveau lager dan de resultaten gemeentebreed.*

3.1 Inleiding

De vraag over de resterende milieubelasting voor luchtkwaliteit bij uitstootvrij wegverkeer beantwoorden we op twee schaalniveaus: 1) gemeentebreed en 2) op straatniveau (*lokale schaal*). Voor geluid zijn ook berekeningen op straatniveau uitgevoerd (voor Amsterdamse straten). En daarnaast worden drie voorbeeldscenario's doorgerekend: een weg met geluidbelasting van 70 dB, 60 dB en 50 dB.

Voor de luchtkwaliteit, *gemiddeld in een gemeente*, gebruiken we GCN-gegevens voor emissies en concentratiebijdrage uit de GCN-ronde 2020. Deze rond bevat concentraties over het jaar 2019 en emissies uit 2018. We tonen resultaten voor de in het project deelnemende steden Amsterdam en Eindhoven. Om ook de impact van uitstootvrij verkeer voor een kleinere gemeente in beeld te brengen nemen we de gemeente Kampen mee. Dit doen we voor de luchtverontreinigende componenten: stikstofdioxide (NO₂) en fijn stof als PM₁₀, PM_{2.5} en roet (EC).

Effecten van uitstootvrij verkeer op geluidniveaus in een stad worden in algemene zin beschreven in te verwachten geluidreductie in dB's per voertuigtype, gebaseerd op berekeningen van M+P-ingenieurs en rapportage van geluidsbureau dBVision.

Voor de resultaten *op straatniveau* zijn verkeersbelaste straten in heel Amsterdam doorgerekend door TNO met de Urban Strategy Tool. Dit is gedaan op de NSL-rekenpunten³. In Amsterdam liggen deze rekenpunten veelal op of dichtbij de gevel van de woning. De rekenpunten zijn te bekijken op: <https://www.nsl-monitoring.nl/viewer/>. De aanname bij deze berekeningen is volledig uitstootvrij verkeer op de binnenstedelijke gemeentelijke wegen (SRM1) in 2030. Op straatniveau wordt de impact van volledig uitstootvrij verkeer voor NO₂, PM10, PM2.5 en roet getoond voor een selectie van drukke straten. Tevens wordt de geluidsreductie (in dB) getoond.

De prognoses voor 2030 zijn uiteraard met onzekerheid omgeven. De hieronder vermelde berekeningen moeten daarom niet als 'feiten' worden geïnterpreteerd maar als een zo goed mogelijke indicatie van de winst die potentieel mogelijk is.

3.2 Gemiddeld in een gemeente

Voor het beantwoorden van de vraag wat in steden met uitstootvrij wegverkeer de resterende belasting voor luchtkwaliteit is maken we gebruik van gegevens uit de GCN-ronde 2020. GCN staat voor Grootschalige Concentratiekaarten Nederland. GCN worden jaarlijks door het RIVM opgesteld en geven een beeld van de gemiddelde achtergrondconcentraties van de belangrijkste componenten van luchtverontreiniging in Nederland op een schaal van 1x1 km. De kaarten zijn gebaseerd op gedetailleerde gegevens over de uitstoot en verspreiding van deze componenten en hun precursors in binnen- en buitenland.

De GCN-ronde 2020 bevat gegevens, uitgesplitst naar sector, over emissies per gemeente voor het jaar 2018 en concentraties per gemeente voor 2019 (pre-corona). Voor deze ronde is gerekend met meteorologische omstandigheden over het jaar 2019.

Om in steden met uitstootvrij wegverkeer de resterende belasting voor luchtkwaliteit in beeld te brengen doen we de hypothetische veronderstelling dat al het wegverkeer in Nederland uitstootvrij is. Daartoe trekken we de bijdrage van het wegverkeer aan de concentratie af van de totale concentratie. Dit geeft inzicht in welke lagere concentraties en emissies theoretisch mogelijk zijn bij uitstootvrij wegverkeer.

3.2.1 Luchtkwaliteit – Concentratiebijdrage per gemeente

Tabel 3 toont de GCN-concentraties voor NO₂, Roet, PM10 en PM2.5 in Amsterdam, Eindhoven en Kampen voor het jaar 2019. In de tabel is per gemeente af te lezen: de gemiddelde concentratie, de bijdrage van Nederlandse bronnen aan de totale concentratie, de bijdrage van het wegverkeer, de bijdrage door banden-, rem- en wegdek-slijtage. De gemiddelde concentratie in een gemeente bij uitstootvrij wegverkeer is berekend door de bijdrage van het wegverkeer van de gemiddelde concentratie af te trekken. Tevens staat in de tabel met hoeveel procent de concentratie zal dalen bij volledig uitstootvrij wegverkeer in Nederland.

NO₂ – De bijdrage van het wegverkeer aan de NO₂ concentratie is in Amsterdam en Eindhoven, respectievelijk 8,1 en 8,5 µg/m³. In de kleinere gemeente Kampen is dit 3,5 µg/m³. In een hypothetisch scenario van volledig uitstootvrij verkeer in Nederland kunnen deze concentraties worden afgetrokken van de totale concentratie in de gemeente. In Amsterdam en Eindhoven resulteert dit in ongeveer 40% lagere NO₂ concentraties en in Kampen in een 30% lagere concentratie. Gemeentebreed kom je in Amsterdam en Eindhoven dan uit op concentraties van respectievelijk 12,7 en 12,3 µg/m³. En in Kampen op 8,4 µg/m³. Voor Amsterdam en Eindhoven komt dit in de buurt van de gezondheidkundige advieswaarde die de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO 2021) voorschrijft voor NO₂

³ <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/luchtkwaliteit/slag/nsl-rekentool/handleiding/algemeen/bestanden/rekenpunten/>

(i.e. 10 µg/m³) en in Kampen wordt deze advieswaarde gehaald. Hierbij moet worden opgemerkt dat het gaat om een gemiddelde concentratie voor de hele gemeente en dat lokaal concentraties hoger of lager kunnen zijn.

Tabel 3 Jaargemiddelde GCN-concentraties voor NO₂, Roet, PM10 en PM2.5 in Amsterdam, Eindhoven en Kampen en de bijdrage van het wegverkeer (in 2019).

	NO ₂ concentratie (µg/m³)			Roet concentratie (µg/m³)		
	Amsterdam	Eindhoven	Kampen	Amsterdam	Eindhoven	Kampen
Gemiddelde concentratie	20,8	20,8	11,9	0,64	0,71	0,38
Bijdrage Nederlandse bronnen	17,7	14,2	8,2	0,43	0,32	0,17
Bijdrage wegverkeer (excl. slijtage)	8,1	8,5	3,5	0,15	0,13	0,05
Bijdrage wegverkeer slijtage	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gemiddelde concentratie bij uitstootvrij wegverkeer	12,7	12,3	8,4	0,5	0,6	0,3
Lagere concentratie door uitstootvrij wegverkeer (%)	38,8%	41,0%	29,2%	23,9%	17,7%	13,7%
	PM10 concentratie (µg/m³)			PM2.5 concentratie (µg/m³)		
	Amsterdam	Eindhoven	Kampen	Amsterdam	Eindhoven	Kampen
Gemiddelde concentratie	18,3	18,8	15,3	9,8	11,1	8,3
Bijdrage Nederlandse bronnen	6,7	5,7	4,0	4,8	4,3	3,1
Bijdrage wegverkeer (excl. slijtage)	1,02	0,94	0,73	0,82	0,77	0,59
Bijdrage wegverkeer slijtage	0,35	0,33	0,10	0,09	0,08	0,03
Gemiddelde concentratie bij uitstootvrij wegverkeer	17,3	17,9	14,6	8,9	10,3	7,7
Lagere concentratie door uitstootvrij wegverkeer (%)	5,6%	5,0%	4,7%	8,4%	6,9%	7,1%

Roet – Ook voor roet dalen de concentraties flink bij een scenario van volledig uitstootvrij verkeer in Nederland. In Amsterdam daalt de gemiddelde roetconcentratie met bijna 24% en in Eindhoven met bijna 18%. In Kampen, een gemeente met minder wegverkeer, is de daling bijna 14%.

PM10 & PM2.5 – De impact van volledig uitstootvrij verkeer op de PM10 en PM2.5 concentraties is kleiner dan bij NO₂ en roet. Bij volledig uitstootvrij wegverkeer dalen de totale PM10 concentraties in Amsterdam, Eindhoven en Kampen met maximaal 1 µg/m³. Uitstootvrij wegverkeer zou tot een 5,6% lagere PM10 concentratie in Amsterdam leiden en tot ongeveer 5% lagere PM10 concentraties in Eindhoven en Kampen. Voor PM2.5 is de daling iets groter. Bij uitstootvrij wegverkeer daalt in Amsterdam de PM2.5 concentratie met 8,4%, en in Eindhoven en Kampen met ongeveer 7% (Amsterdam: -0,82 µg/m³, Eindhoven: -0,77 µg/m³, Kampen: -0,59 µg/m³).

Deze afname komt vooral voor rekening van het secundaire PM10 en PM2.5 (zie tabel 1). Dat deze percentages beduidend lager zijn dan voor NO₂ en roet komt mede doordat de bijdrage van buitenlandse bronnen aan de PM10 en PM2.5 concentraties veel groter is. Voor PM10 is de bijdrage van Nederlandse bronnen aan PM10 concentratie bijvoorbeeld maar 6,7 µg/m³ oftewel 37% van de totale concentratie (in Amsterdam). Afgezet tegen de bijdrage van alleen Nederlandse bronnen zou volledig uitstootvrij verkeer tot 15-18% lagere PM10 concentraties leiden in

bovengenoemde steden. Voor PM2.5 is de concentratie 17-19% lager als je alleen naar de bijdrage van Nederlandse bronnen kijkt.

In tegenstelling tot NO₂ en roet resteert er voor de PM10 en PM2.5 concentratie een bijdrage van het uitstootvrije wegverkeer aan de primaire fijn stof concentratie door slijtage van banden, remmen en het wegdek. Voor PM10 is dit in Kampen 0.1 µg/m³ oplopend tot 0.35 µg/m³ in Amsterdam. Voor PM2.5 is de bijdrage door slijtage 0.09 µg/m³ in Amsterdam, 0.08 µg/m³ in Eindhoven en 0.03 µg/m³ in Kampen.

In Kampen wordt, bij volledig uitstootvrij wegverkeer, de gezondheidkundige advieswaarde van de WHO [2021] voor PM10 gehaald (i.e. 15 µg/m³). Amsterdam en Eindhoven blijven hier nog 2-3 µg/m³ boven. In geen van de drie gemeentes wordt, bij volledig uitstootvrij wegverkeer, de gezondheidkundige advieswaarde van de WHO voor PM2.5 gehaald (i.e. 5 µg/m³). Hierbij moet worden opgemerkt dat het gaat om een gemiddelde concentratie voor de hele gemeente en dat lokaal concentraties hoger of lager kunnen zijn.

3.2.2 Luchtkwaliteit – Emissies per gemeente

Tabel 4 toont de GCN-emissies voor NO_x, Roet, PM10 en PM2.5 in Amsterdam, Eindhoven en Kampen (GCN-ronde 2020). In de tabel is per gemeente af te lezen wat de totale emissie is binnen de gemeentegrens, hoeveel het wegverkeer uitstoot (exclusief slijtage), en hoeveel uitstoot er afkomstig is van slijtage door banden, remmen en wegdek. Per component staat de procentuele afname van de totale uitstoot binnen de gemeente als het wegverkeer uitstootvrij zou zijn.

Tabel 4 Emissies voor NO_x, Roet, PM10 en PM2.5 in Amsterdam, Eindhoven en Kampen en wegverkeer (GCN-ronde 2020).

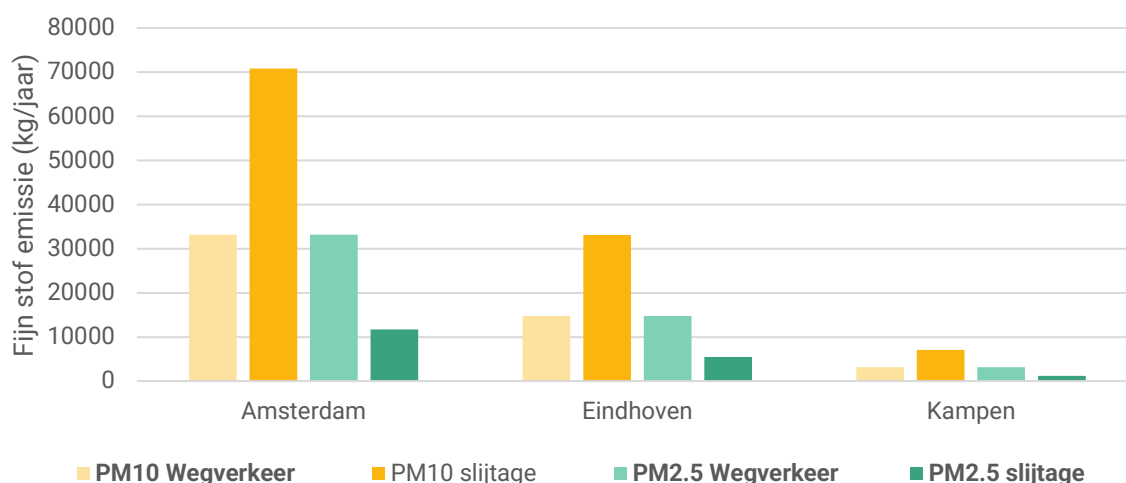
	NO _x emissies (kg/jaar)			Roet emissies (kg/jaar)		
	Amsterdam	Eindhoven	Kampen	Amsterdam	Eindhoven	Kampen
Totale emissie in gemeente	6.325.966	1.426.004	509.603	53.288	14.061	5363
Wegverkeer (excl. slijtage)	1.661.956	846.308	190.204	11.440	4854	1051
Wegverkeer slijtage	0	0	0	0	0	0
Lagere emissie bij uitstootvrij wegverkeer (%)	26,3%	59,3%	37,3%	21,5%	34,5%	19,6%
	PM10 emissies (kg/jaar)			PM2.5 emissies (kg/jaar)		
	Amsterdam	Eindhoven	Kampen	Amsterdam	Eindhoven	Kampen
Totale emissie in gemeente	804.142	188.389	67.891	399.026	112.748	37.194
Wegverkeer (excl. slijtage)	33.182	14.771	3147	33.182	14.771	3147
Wegverkeer slijtage	70.808	33.122	7085	11.732	5500	1180
Lagere emissie bij uitstootvrij wegverkeer (%)	4,1%	7,8%	4,6%	8,3%	13,1%	8,5%

NO_x – De totale uitstoot van NO_x zou in Eindhoven met bijna 60% dalen bij uitstootvrij wegverkeer binnen de gemeentegrenzen. Voor Kampen daalt de NO_x uitstoot met ongeveer 40%. In Amsterdam leidt uitstootvrij verkeer tot een lagere procentuele daling van de totale NO_x uitstoot (-26%). Dit komt doordat er in Amsterdam ook andere belangrijke NO_x bronnen aanwezig zijn, zoals de haven en bijbehorende scheepvaart.

Roet – De uitstoot van roet daalt in Kampen, bij uitstootvrij verkeer, met ongeveer 20%. In Amsterdam en Eindhoven is de daling, respectievelijk 21.5% en 34.5%.

PM10 en PM2.5- Het wegverkeer draagt in mindere mate bij aan de totale PM10 en PM2.5 emissies, dan bij NOx en roet. Dat komt omdat PM10 en PM2.5 wordt uitgedrukt als massaconcentratie en de (primaire) uitstoot van wegverkeer van PM10 en PM2.5 vooral in de ultrafijne fractie zit. Deze deeltjes dragen door hun geringe grootte maar weinig bij aan de massaconcentratie fijn stof. Voor PM10 daalt, bij uitstootvrij wegverkeer, de totale emissie met 4-4.5% in Amsterdam en Kampen en met bijna 8% in Eindhoven. Voor PM2.5 daalt de totale emissie met ongeveer 8-8.5% in Amsterdam en Kampen en met 13% in Eindhoven.

Een van de redenen dat de daling bij PM10 en PM2.5 lager is dan NOx en roet komt doordat er bij uitstootvrij wegverkeer emissies resteren door slijtage van banden, remmen en het wegdek. Maar ook doordat verkeer een dominante bron is van NOx en roet en minder voor PM. Voor PM zijn veel andere bronnen. Bij PM10 zijn de emissies die ontstaan door slijtage meer dan twee keer zo groot als de emissies afkomstig uit de uitlaat (Figuur 1). Voor PM2.5 zijn de emissies die ontstaan door slijtage kleiner dan de emissies afkomstig uit de uitlaat.



Figuur 1 PM10 en PM2.5 emissies afkomstig uit de uitlaat van wegverkeer en door slijtage van banden, remmen en wegdek, in Amsterdam, Eindhoven en Kampen (GCN-ronde 2020).

3.3 Straatniveau

TNO heeft op straatniveau berekend wat de impact is van volledig uitstootvrij verkeer op binnenstedelijke wegen op de luchtkwaliteit en geluidniveaus in 2030 ten opzichte van de autonome situatie in 2030. Hiervoor zijn de emissiefactoren en achtergrondconcentraties gebruikt, zoals in mei 2021 door het RIVM gepubliceerd, geprojecteerd naar 2030. Ook de aantallen voertuigen zijn geprojecteerd voor 2030. Deze zijn gebaseerd op de data in het NSL (download november 2021). De berekeningen zijn gedaan op de NSL-rekenpunten in Amsterdam met de [Urban Strategy Tool](#). In Amsterdam liggen deze rekenpunten veelal op of dichtbij de gevel.

Ter illustratie van de impact op de luchtkwaliteit en geluidniveaus tonen we een aantal van de meest verkeersbelaste straten in Amsterdam. Dit zijn de Amsteldijk, Haarlemmerweg, Nassaukade, Prins Hendrikkade, Stadhouderskade, Valkenburgerstraat, Weesperstraat en Wibautstraat. Van deze straten is de Nassaukade het rustigst (max. 5477 voertuigen per etmaal). De andere straten zijn drukker, variërend van maximaal 19.702 tot 39.222 voertuigen per etmaal (Tabel 5).

Tabel 5. Amsterdamse straten met prognose (2030) van aantal voertuigen per etmaal op drukste wegvak van elke straat

Prognose Verkeersintensiteit 2030 (aantal voertuigen per etmaal op drukste wegvak van elke straat)	
Straat	
Amsteldijk	25.172
Haarlemmerweg	24.647
Nassaukade	5477
Prins Hendrikkade	19.702
Stadhouderskade	25.809
Valkenburgerstraat	30.917
Weesperstraat	33.464
Wibautstraat	39.222

Bron: <https://maps.amsterdam.nl/verkeersprognoses/?LANG=nl>

Voor de analyse zijn twee scenario's met elkaar vergeleken:

- Scenario 1: Nederlands wagenpark in 2030 op binnenstedelijke wegen bij autonome ontwikkeling.
- Scenario 2: Nederlands wagenpark in 2030 met volledig uitstootvrij verkeer op binnenstedelijke wegen.

3.3.1 Luchtkwaliteit in Amsterdamse straten

Uitstootvrij verkeer heeft de grootste impact op de NO₂ en roetconcentraties en in mindere mate op de PM10 en PM2.5 concentraties (Tabel 6). Voor NO₂ en roet is er bij uitstootvrij verkeer geen emissie meer door het wegverkeer. Voor PM10 en PM2.5 resteren emissies door banden-, rem- en wegdekslijtage.

NO₂ - Gemiddeld in Amsterdam neemt de NO₂concentratie op straten met 19,5% af bij uitstootvrij verkeer. In een scenario met volledig uitstootvrij verkeer op alle binnenstedelijke wegen in 2030 is de NO₂ concentratie gemiddeld 3,6 µg/m³ lager, vergeleken met het Nederlands wagenpark bij autonome ontwikkeling waarin een gedeelte uitstootvrij zal zijn. Van de geselecteerde straten is de afname het kleinst op de Prins Hendrikkade (-2,1 µg/m³, - 11.6%) en het hoogst op de Stadhouderskade (-5,1 µg/m³, -25.4%). Volledig uitstootvrij verkeer zal niet voldoende zijn om de gezondheidkundige advieswaarde van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) voor NO₂ te halen op straatniveau. Gemiddeld moet in 2030 de concentratie op Amsterdamse straten nog 4,8 µg/m³ extra omlaag om de NO₂ advieswaarde van 10 µg/m³ te bereiken.

Roet - Gemiddeld in Amsterdam neemt de roetconcentratie op straten met 8,8% af bij volledig uitstootvrij verkeer. Volledig uitstootvrij verkeer zorgt voor een gemiddelde afname van 0.05 µg/m³ in roetconcentraties op straatniveau. De afname in roet, op de geselecteerde straten, varieert tussen de 0.03 en 0.07 µg/m³ (-5.9% tot - 11.7% lagere roetconcentraties).

PM10 & PM2.5 – De impact van volledig uitstootvrij verkeer op de PM10 en PM2.5 concentraties op straatniveau is klein. Gemiddeld dalen concentraties voor PM10 met 0.7% (-0.13 µg/m³) en voor PM2.5 met 1.4% (-0.13 µg/m³) op de Amsterdamse straten. Volledig uitstootvrij verkeer zal niet voldoende zijn om de gezondheidkundige advieswaardes van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO, 2021) voor PM10 en PM2.5 te halen. De WHO-advieswaarde voor PM10 is 15 µg/m³ en die voor PM2.5 is 5 µg/m³. Voor PM10 ligt in 2030 de gemiddelde concentratie op straatniveau 2.6 µg/m³ boven de advieswaarde, en voor PM2.5 is deze nog 3.9 µg/m³ te hoog.

Tabel 6 Luchtverontreiniging op Amsterdamse straten in 2030 voor twee scenario's: 1) autonome ontwikkeling van het Nederlandse wagenpark, 2) volledig uitstootvrij verkeer op de binnenstedelijke wegen. De kolom met 'afname'

toont het verschil tussen deze twee scenario's, oftewel de 'winst' in luchtkwaliteit die er is te behalen bij volledig uitstootvrij verkeer. Resultaten voor NO₂, roet, PM10 en PM2.5

Straat	Scenario 1	Scenario 2 Uitstoot- vrij	Afname (µg/m ³)	Verschil (%)	Scenario 1	Scenario 2 Uitstoot- vrij	Afname (µg/m ³)	Verschil (%)
	NO ₂ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)			Roet (µg/m ³)	Roet (µg/m ³)		
Amsteldijk	18,6	15,1	3,5	-18,7%	0,53	0,49	0,05	-8,8%
Haarlemmerweg	17,4	13,3	4,1	-23,7%	0,50	0,45	0,05	-10,3%
Nassaukade	17,3	14,4	2,9	-16,8%	0,54	0,50	0,04	-6,9%
Prins Hendrikkade	18,3	16,2	2,1	-11,6%	0,51	0,48	0,03	-5,9%
Stadhouderskade	20,2	15,1	5,1	-25,4%	0,56	0,50	0,07	-11,7%
Valkenburgerstraat	19,8	15,7	4,1	-20,8%	0,54	0,48	0,06	-10,5%
Weesperstraat	18,9	15,1	3,8	-20,1%	0,54	0,48	0,05	-9,8%
Wibautstraat	18,5	14,9	3,6	-19,6%	0,53	0,48	0,05	-8,6%
Amsterdam	18,4	14,8	3,6	-19,5%	0,53	0,49	0,05	-8,8%
Straat	PM10 (µg/m ³)	PM10 (µg/m ³)	Afname (µg/m ³)	Verschil (%)	PM2.5 (µg/m ³)	PM2.5 (µg/m ³)	Afname (µg/m ³)	Verschil (%)
	PM10 (µg/m ³)	PM10 (µg/m ³)			PM2.5 (µg/m ³)	PM2.5 (µg/m ³)		
Amsteldijk	17,7	17,6	0,13	-0,8%	9,0	8,9	0,13	-1,5%
Haarlemmerweg	17,7	17,6	0,15	-0,8%	8,9	8,7	0,15	-1,6%
Nassaukade	17,9	17,8	0,10	-0,6%	9,3	9,2	0,10	-1,1%
Prins Hendrikkade	16,7	16,6	0,07	-0,4%	8,5	8,4	0,08	-0,9%
Stadhouderskade	18,5	18,3	0,18	-1,0%	9,5	9,4	0,19	-1,9%
Valkenburgerstraat	17,5	17,4	0,16	-0,9%	8,8	8,6	0,16	-1,8%
Weesperstraat	17,6	17,5	0,15	-0,8%	8,9	8,7	0,15	-1,7%
Wibautstraat	17,5	17,4	0,13	-0,7%	9,0	8,8	0,13	-1,5%
Amsterdam	17,7	17,6	0,13	-0,7%	9,1	8,9	0,13	-1,4%

3.4 Geluid

Bij voertuigen met een uitstootvrije (elektrische) aandrijving valt het motorgeluid weg. Dit betekent echter niet dat er geen geluid meer van het verkeer afkomt, want het geluid van banden door contact met het wegdek blijft over. Bij een snelheid van 50 kilometer per uur (km/u) ontstaat een groot deel van het verkeersgeluid door de banden en in mindere mate door de motor⁴. Bij personenauto's gaat het bandengeluid overheersen bij een snelheid van 30-40 km/uur, bij zwaardere vrachtwagens ligt dit omslagpunt rond de 70-75 km/u.

Geluidreductie bij uitstootvrij verkeer

Tabel 5 geeft een indicatie van de reductie van de geluidemissie van verschillende voertuigen op het stedelijke wegennet. De afname in geluid is bepaald bij een snelheid van 50 km/u. De afname voor personenauto's en zware vrachtwagens zijn berekend door M+P-ingenieurs en gepubliceerd in het tijdschrift Geluid⁴. Voor de andere

⁴ Eindelijk stiller verkeer, dankzij elektrische voertuigen. Of hebben we dan te vroeg gejuicht? Blad Geluid, juni 2019.

voertuigen in de tabel heeft geluidadviesbureau dBVision een inschatting gemaakt, als onderdeel van de opdracht om geluidreductie door maatregelen in het Amsterdamse Actieplan Schone Lucht in beeld te brengen⁵.

Tabel 7 Geluidreductie per voertuigtype bij uitstootvrije (elektrische) aandrijving (bij 50 km/uur).

Type voertuig	Geluidreductie (bij 50 km/u)
Personenauto's	-1 dB
Bestelwagens	-2 dB
OV-bussen en touringcars	-3 dB
Lichte vrachtwagens	-3 dB
Zware vrachtwagens	-5 dB

Voor uitstootvrij stedelijk wegverkeer is er, bij een snelheid van 50 km/u, een reductie van de geluidemissie van 1 dB te verwachten voor personenauto's, oplopend tot 5 dB voor zware vrachtwagens. Voor een gemengde verkeersstroom wordt de gemiddelde geluidreductie op ruim 2,5 dB geschat.

Geluidwinst door vermindering van piekgeluiden

De reductie van geluidemissie door uitstootvrij verkeer in de stedelijke omgeving varieert tussen de 1 en 5 dB afhankelijk van het type voertuig (Tabel 7). Lokaal kan de geluidreductie (tijdelijk) echter groter zijn, doordat elektrisch aangedreven voertuigen voor minder piekgeluiden zorgen.

Bij optrekkend verkeer, bijvoorbeeld bij kruisingen, is het motorgeluid sterk aanwezig. M+P-ingenieurs heeft berekend dat, in de buurt van kruisingen met verkeerlichten, een geluidreductie is te verwachten van 5 dB voor personenauto's oplopend tot 9 dB voor vrachtwagens⁴. Op dit soort plekken zal het naar verwachting aanzienlijk stiller worden bij volledig uitstootvrij verkeer.

Ook op het gebied van geluidhinderbeleving zijn positieve effecten van uitstootvrij verkeer te verwachten. Het passeren van een dieselvrachtwagen komt bijvoorbeeld boven het geruis van het overige verkeer uit en valt daardoor extra op. Bij een elektrische vrachtwagen is dat niet het geval, waardoor de akoestische omgeving minder wordt verstoord⁵.

Een andere bron die veel geluidhinder veroorzaakt zijn brommers en scooters. In de geluidmodellen worden tweewielers niet standaard meegenomen. Bij brommers en scooters zorgen met name piekgeluiden voor overlast. Bij volledige elektrificatie valt deze bijdrage weg. Hetzelfde geldt voor piekgeluiden van elektrische motoren.

Andere geluidfactoren

Elektrische voertuigen worden uitgerust met AVAS-systemen (Acoustic Vehicle Alerting System). Een AVAS maakt waarschuwingsgeluiden, zodat voetgangers en fietsers worden geattendeerd op de aanwezigheid van elektrisch aangedreven voertuigen. Hierdoor kan de geluidreductie in de praktijk wat minder zijn dan in bovengenoemde

⁵ <http://www.dbvision.nl/rapporten/Geluidreductie%20door%20luchtmaatregelen%20Adam.pdf>

getallen. Ook het type wegdek is van groot belang. Mochten er bijvoorbeeld meer wegen met klinkers worden toegepast, dan kan de geluidwinst door elektrificatie weer teniet worden gedaan.

3.4.1 Geluid in Amsterdamse straten

Tabel 8 toont de geluidniveaus (Lden) in 2030 voor een aantal verkeersbelaste straten in Amsterdam voor een scenario met autonome ontwikkeling van het wagenpark en een scenario waarbij het wegverkeer op binnenstedelijke wegen uitstootvrij is ([zie paragraaf 3.2](#)).

Tabel 8 Geluidniveaus (Lden) op Amsterdamse straten in 2030 voor twee scenario's: 1) autonome ontwikkeling van het Nederlandse wagenpark, 2) volledig uitstootvrij verkeer op de binnenstedelijke wegen. De kolom met 'afname' toont het verschil tussen deze twee scenario's, oftewel de geluidwinst bij volledig uitstootvrij verkeer. Minimaal en maximaal staat voor de laagste en hoogste geluidreductie per straat

	Scenario 1	Scenario 2 (uitstootvrij)			
Straat	Lden (dB)	Lden (dB)	Gemiddelde Afname (dB)	Minimaal (dB)	Maximaal (dB)
Amsteldijk	76,5	74,6	1,9	1,6	3,8
Haarlemmerweg	74,2	71,3	2,9	1,9	4,9
Nassaukade	73,3	70,7	2,6	1,9	4,8
Prins Hendrikkade	73,2	71,0	2,2	1,9	3,9
Stadhouderskade	74,3	71,3	3,0	2,2	4,8
Valkenburgerstraat	76,0	74,0	1,9	1,9	2,2
Weesperstraat	76,3	74,5	1,8	1,8	1,9
Wibautstraat	75,7	73,4	2,3	1,9	4,0
Amsterdam	74,8	72,5	2,3	0	6,2

Gemiddeld is op de Amsterdamse straten de geluidbelasting 2.3 decibel (dB) lager in het scenario met uitstootvrij verkeer, vergeleken met het scenario met autonome ontwikkeling van het Nederlandse wagenpark. Op het rekenpunt met de hoogste geluidreductie is de afname 6.2 dB. De minimale afname is 0 dB. Dit komt doordat er in het model een aantal wegdelen staan, die als buitenweg staan gecategoriseerd. De aanname in het model is dat alleen op de binnenstedelijke wegen uitstootvrij verkeer rijdt.

Van de geselecteerde straten heeft de Stadhouderskade de hoogste gemiddelde geluidreductie (-3 dB). Bij een van de rekenpunten op de Stadhouderskade loopt de geluidreductie op tot 4.8 dB. Op de Weesperstraat en Valkenburgerstraat is de gemiddelde geluidreductie het laagst, respectievelijk 1.8 en 1.9 dB. Op de Amsteldijk is de gemiddelde geluidreductie eveneens 1.9 dB, maar in deze straat zijn er ook delen waar de geluidreductie oploopt tot 3.8 dB.

In het uitstootvrije scenario blijven de geluidniveaus ver boven de advieswaarde die de WHO hanteert voor geluid door wegverkeer. De WHO adviseert om de geluidniveaus door wegverkeer te reduceren tot onder 53 dB (Lden), omdat geluid boven dit niveau is geassocieerd met negatieve gezondheidseffecten. De straat met de laagste geluidbelasting (Nassaukade) zit nog meer dan 17 dB boven de advieswaarde van de WHO.

HOOFDSTUK 4

GEZONDHEIDSWINST BIJ UITSTOOTVRIJ VERKEER

Welke gezondheidswinst is er te verwachten op het gebied van luchtkwaliteit en geluid bij uitstootvrij verkeer?

In algemene zin geldt dat elke verbetering van de luchtkwaliteit leidt tot gezondheidswinst. En uitstootvrij verkeer kan hier een bijdrage aan leveren. Ongeveer 22% van de jaarlijkse astmadiagnoses bij kinderen is toe te schrijven aan stikstofdioxide. Bij volledig uitstootvrij verkeer in heel Nederland zou dit percentage in Amsterdam en Eindhoven afnemen naar ongeveer 14%. Dat betekent dat per jaar in Amsterdam en Eindhoven respectievelijk 122 en 35 minder kinderen astma zouden ontwikkelen. Ook voor andere aandoeningen ontstaat door uitstootvrij verkeer winst, al is die kleiner dan bij astma bij kinderen. De gezondheidswinst is het grootst voor gezondheidsuitkomsten die met stikstofdioxide geassocieerd zijn en minder voor de eindpunten die met fijn stof geassocieerd zijn. Dat komt doordat vooral de stikstofdioxide concentraties afnemen bij uitstootvrij wegverkeer. Het aantal ernstig geluidgehinderden neemt met enkele procenten af bij uitstootvrij verkeer.

4.1 Inleiding

Luchtverontreiniging veroorzaakt nog steeds veel gezondheidsschade en vroegtijdige sterfte. Luchtverontreiniging kan aandoeningen aan luchtwegen en longen (inclusief longkanker) en aandoeningen aan hart en bloedvaten veroorzaken en verergeren. Iedereen kan ziek worden maar kinderen, ouderen en mensen met luchtweg- of hart- en vaatziekten zijn extra gevoelig en lopen een hoger risico op gezondheidseffecten. In de nabijheid van een drukke weg nemen de gezondheidsrisico's toe, ook op plekken waar aan de wettelijke grenswaarden wordt voldaan (RIVM, 2018).

Geluid in de leefomgeving heeft ook invloed op de gezondheid. Blootstelling aan geluid kan leiden tot hinder, slaapverstoring, verstoring van de dagelijkse activiteiten, stressreacties en kan negatieve invloed hebben op de leerprestaties van kinderen. Langdurige blootstelling aan te veel geluid kan aanleiding geven tot chronische effecten zoals verhoogde bloeddruk en verhoogde niveaus van het stresshormoon cortisol, waardoor het risico op hart- en vaatziekten en psychische aandoeningen wordt verhoogd (RIVM, 2019 & 2020). Verbetering van de luchtkwaliteit en geluidsniveaus door het invoeren van uitstootvrij verkeer levert gezondheidswinst op. De vraag die in dit hoofdstuk beantwoord wordt, is hoeveel gezondheidswinst het invoeren van uitstootvrij verkeer kan opleveren.

De vraag in dit hoofdstuk wordt op twee schaalniveaus beantwoord: gemiddeld in een gemeente en op lokale schaal (straatniveau).

De GCN-gegevens voor het jaar 2019 over de concentratiebijdrage van verschillende bronnen aan luchtverontreiniging worden gebruikt om een schatting te maken van de gezondheidswinst door verbetering van de gemeentebrede luchtkwaliteit. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de deelnemende steden Amsterdam en Eindhoven, en Kampen als kleinere stad. De GCN-gegevens voor NO₂, PM₁₀ en PM_{2.5} zijn met behulp van de GGD Rekentool Luchtkwaliteit en Gezondheid (L&G) omgerekend naar gezondheidswinst (of -verlies) binnen een populatie (van de Weerd et al., 2021). Voor gezondheidswinst door geluidsreductie door uitstootvrij verkeer maken we gebruik van blootstelling-respons-relaties voor ernstige hinder door wegverkeer. Hierbij kijken we naar drie voorbeeldscenario's: een weg met geluidbelasting van 70 dB, 60 dB en 50 dB. Voor verschillende voertuigtipes kijken we naar de afname in dB's door uitstootvrij en dat rekenen we door naar afname in ernstige hinder.

Voor de lokale schaal heeft TNO een aantal verkeersbelaste straten in Amsterdam doorgerekend wat betreft luchtkwaliteit en geluid met de Urban Strategy Tool. Op straatniveau is de impact van volledig uitstootvrij verkeer in 2030 op de winst in levensverwachting in dagen en de afname in het aantal meegerookte sigaretten gekwantificeerd met de GGD Rekentool L&G, gebaseerd op NO₂, PM10 en PM2.5 reducties ten opzichte van de concentratie in 2030 bij autonome ontwikkeling. De gezondheidswinst, uitgedrukt als afname in ernstige hinder, door geluidsreductie op straatniveau wordt berekend met behulp van blootstelling-respons-relaties voor ernstige hinder door wegverkeer.

4.2 Gemiddelde in een gemeente

4.2.1 Luchtkwaliteit en gezondheid

De GGD Rekentool L&G is een rekenmodel waarmee concentraties PM10, PM2.5 en NO₂ omgerekend kunnen worden naar gezondheidseffecten. Deze gezondheidseffecten hebben een causale of waarschijnlijk causale relatie met de blootstellingsindicatoren. De effectschattingen, waarmee de sterkte van de relatie tussen de blootstellingsindicator en gezondheidseffect wordt weergegeven, zijn gecombineerd met de incidentie van het gezondheidseffect in de Nederlandse populatie. Dit maakt het mogelijk om de bijdrage van luchtverontreiniging (PM10, PM2.5 en NO₂) aan het gezondheidseffect te kwantificeren (van de Weerdt et al., 2021).

De gezondheidseffecten die in dit project berekend zijn, zijn voornamelijk gebaseerd op hun (waarschijnlijk) causale relatie met NO₂, of een combinatie van NO₂ en fijn stof (US-EPA, 2016, US-EPA, 2019). Zie tabel 2 voor een overzicht van de (waarschijnlijk) causale relaties tussen de luchtverontreinigende componenten en de berekende gezondheidseffecten. De in [paragraaf 3.1.1](#) weergegeven gemiddelde concentraties luchtverontreiniging en de concentratie bij uitstootvrij verkeer in 2019 zijn gebruikt als input voor het rekenmodel. De berekeningen geven vervolgens een indicatie van de maximale gezondheidswinst die te behalen is bij volledig uitstootvrij wegverkeer. In de berekening speelt de omvang van de zero-emissie zone in een stad geen rol. De berekening geeft inzicht in welke gezondheidswinst er theoretisch te behalen is als heel Nederland uitstootvrij verkeer heeft en is gebaseerd op veranderingen in achtergrondconcentraties.

Tabel 9 Gezondheidseffecten door luchtkwaliteit in Amsterdam, Eindhoven en Kampen in: 1) de werkelijke situatie met de heersende concentraties luchtverontreiniging in 2019, 2) een hypothetische situatie met volledig uitstootvrij wegverkeer (berekend door de bijdrage van het wegverkeer van de gemiddelde totale concentratie af te trekken), gebaseerd op data uit 2019. (* Procentueel verschil ten opzichte van de absolute aantallen (attributieve cases). Daarbij gaat het om de afname in het percentage dat aan luchtverontreiniging is toe te schrijven.)

Amsterdam Inwonersaantal op 1-1-2020: 872.757	1) Werkelijke situatie zonder uitstootvrij verkeer in 2019	2) Hypothetische situatie met uitstootvrij verkeer in 2019	Afname = gezondheids- winst	Procentueel verschil*
Verloren levensdagen	370	308	62	-16,8%
Aantal ziekenhuisopnames door astma bij alle leeftijden (cases per jaar (aandeel ziekte last))	11 (2,9%)	6 (1,8%)	5	-45,5%
Afname in incidentie astma bij kinderen van 0-18jaar (cases per jaar (aandeel ziekte last))	338 (22,3%)	216 (14,3%)	122	-36,1%
Aantal ziekenhuisopnames door ischemische hartziekten bij 40+ers (cases per jaar (aandeel ziekte last))	80 (2,5%)	49 (1,5%)	31	-38,8%
Aantal laag geboortegewicht gevallen (cases per jaar (aandeel ziekte last))	36 (7,3%)	33 (6,7%)	3	-8,3%
Aantal meegerookte sigaretten per dag	4,8	3,7	1,1	-22,9%

Eindhoven Inwonersaantal op 1-1-2020: 234.394	1) Werkelijke situatie zonder uitstootvrij verkeer in 2019	2) Hypothetische situatie met uitstootvrij verkeer in 2019	Afname = gezondheids- winst	Procentueel verschil*
Verloren levensdagen	377	314	63	-16,7%
Aantal ziekenhuisopnames door astma bij alle leeftijden (cases per jaar (aandeel ziektelast))	3 (2,9%)	2 (1,7%)	1	-33,3%
Afname in incidentie astma bij kinderen van 0-18jaar (cases per jaar (aandeel ziektelast))	91 (22,3%)	56 (13,9%)	35	-38,5%
Aantal ziekenhuisopnames door ischemische hartziekten bij 40+ers (cases per jaar (aandeel ziektelast))	21 (2,5%)	13 (1,5%)	8	-38,1%
Aantal laag geboortegewicht gevallen (cases per jaar (aandeel ziektelast))	11 (8,3%)	10 (7,7%)	1	-9,1%
Aantal meegerookte sigaretten per dag	5,1	4	1,1	-21,6%
Kampen Inwonersaantal op 1-1-2020: 54.319	1) Werkelijke situatie zonder uitstootvrij verkeer in 2019	2) Hypothetische situatie met uitstootvrij verkeer in 2019	Afname = gezondheids- winst	Procentueel verschil*
Verloren levensdagen	276	246	30	-10,9%
Aantal ziekenhuisopnames door astma bij alle leeftijden (cases per jaar (aandeel ziektelast))	0 (1,6%)	0 (1,2%)	0	x
Afname in incidentie astma bij kinderen van 0-18jaar (cases per jaar (aandeel ziektelast))	13 (13,4%)	9 (9,7%)	4	-30,8%
Aantal ziekenhuisopnames door ischemische hartziekten bij 40+ers (cases per jaar (aandeel ziektelast))	3 (1,4%)	2 (1,0%)	1	-33,3%
Aantal laag geboortegewicht gevallen (cases per jaar (aandeel ziektelast))	2 (6,3%)	2 (5,8%)	0	0,0%
Aantal meegerookte sigaretten per dag	3,4	2,9	0,5	-14,7%

Tabel 9 toont de te verwachten gezondheidswinst door verbetering van luchtkwaliteit door volledig uitstootvrij verkeer in Nederlandse steden in 2019. De uitkomsten zijn beschreven als het aantal cases dat toegeschreven kan worden aan de blootstelling aan luchtverontreiniging (attributieve cases) op basis van inwonersaantallen en als percentage van de blootstelling aan de totale ziektelast. Uitstootvrij verkeer levert de grootste potentiële gezondheidswinst in de grotere steden Amsterdam en Eindhoven. Dit is een direct gevolg van het feit dat daar meer verkeer is, en er dus meer winst te behalen is door dit verkeer uitstootvrij te maken.

De meeste gezondheidswinst is procentueel gezien te behalen op het gebied van minder ziekenhuisopnames door astma (alle leeftijden), lagere incidentie van astma bij kinderen (0-18 jaar) en minder ziekenhuisopnames door ischemische hartziekten bij 40-plussers. Daarbij gaat het om de afname in het percentage dat aan luchtverontreiniging is toe te schrijven. Dit percentage varieert per gezondheidseindpunt (zie tabel 9) en loopt in de huidige situatie (2019) uiteen van 2,5% voor ziekenhuisopnames voor ischemische hartziekten bij 40-plussers tot 22% voor het ontwikkelen van astma bij kinderen (0-18 jaar).

Voor deze gezondheidseffecten wordt met volledig uitstootvrij verkeer ruim 30% winst behaald in Amsterdam, Eindhoven en Kampen (met uitzondering van afname in ziekenhuisopnames door astma bij alle leeftijden in Kampen), met de meeste winst in afnames van ziekenhuisopnames door astma bij alle leeftijden in Amsterdam, namelijk een afname van 45,5%. Deze gezondheidsindicatoren zijn gebaseerd op hun relatie met NO₂ (zie bijlage 1). Aangezien een reductie van NO₂ emissies het voornaamste effect is van het invoeren van volledig uitstootvrij

verkeer, is de gezondheidswinst van voorgenoemde gezondheidseffecten een vanzelfsprekend gevolg. De afname in verloren levensdagen varieert tussen 10-17% in de drie gemeenten. Ook hierbij geldt dat de grootste afname in Amsterdam en Eindhoven is, en de minste in Kampen. De afname in verloren levensdagen is gebaseerd op de relatie met PM10 en NO₂. Een mogelijke verklaring voor een lager percentage gezondheidswinst voor dit gezondheidseffect (vergeleken met voorgaande gezondheidseffecten) kan zijn dat de impact van uitstootvrij verkeer op de totale PM10 concentratie relatief klein is.

De afname in het aantal meegerookte sigaretten (gebaseerd op de relatie met PM2.5 en NO₂) varieert tussen 15-23%; met de kleinste afname in Kampen en de grootste afname in Amsterdam, op de voet gevolgd door Eindhoven. Het aantal laag geboortegewicht gevallen (gebaseerd op de relatie met PM2.5) neemt met 8 à 9% af in Amsterdam en Eindhoven. In Kampen wordt geen tot een minieme reductie behaald.

Benadrukt moet worden dat de schattingen van zowel de afname in concentratie als de gezondheidswinst met onzekerheid zijn omgeven. Deze moeten daarom niet als 'feiten' worden geïnterpreteerd maar als een zo goed mogelijke indicatie van de winst die potentieel mogelijk is.

4.3 Straatniveau

TNO heeft berekeningen uitgevoerd voor alle binnenstedelijke wegen in Amsterdam in 2030 met de Urban Strategy Tool. De GGD rekentool L&G is gebruikt om de voorbeeldberekeningen door te vertalen naar gezondheidswinst.

4.3.1 Luchtkwaliteit en gezondheid

Uitstootvrij verkeer heeft de grootste impact op de NO₂ en roetconcentraties en in mindere mate op de PM10 en PM2.5 concentraties. De reducties in concentraties van deze stoffen vertalen zich door naar gezondheid. Iedere reductie van luchtverontreiniging levert immers gezondheidswinst op. De veranderingen in concentraties zijn doorgerekend naar gezondheid wat betreft de levensverwachting in dagen en het aantal meegerookte sigaretten per dag in die drukke straten. Tabel 10 geeft een overzicht van de gezondheidswinst.

Levensverwachting

Door de verbetering van luchtkwaliteit door uitstootvrij verkeer is de winst in levensverwachting gemiddeld 23 dagen (6,6%) in Amsterdam. Zonder uitstootvrij verkeer bedraagt het aantal verloren levensdagen 348. Voor de geselecteerde straten varieert de winst in levensverwachting tussen de 14 (4,2%) en 33 (8,9%) dagen, voor respectievelijk de Prins Hendrikkade en de Stadhouderskade.

Meegerookte sigaretten

Uitstootvrij verkeer zorgt ervoor dat mensen in Amsterdam gemiddeld 0,5 sigaretten per dag minder meeroken vergeleken met een situatie zonder uitstootvrij verkeer; dit is een afname van 11,4% (van 4,4 naar 3,9 meegerookte sigaretten per dag). De afname in het aantal meegerookte sigaretten per dag is het grootst op de Stadhouderskade (0,6; -12,8%) en het kleinst op de Prins Hendrikkade (0,3; -7,1%).

Tabel 10 Gezondheid als gevolg van luchtkwaliteit, weergegeven als aantal verloren levensdagen en aantal meegerookte sigaretten, op Amsterdamse binnenstedelijke wegen voor 2 scenario's: 1) autonome ontwikkeling van het Nederlandse wagenpark, 2) volledig uitstootvrij verkeer in 2030. De kolom met 'afname' toont het verschil tussen deze twee scenario's, oftewel de gezondheidswinst die er is te behalen door verbetering van luchtkwaliteit bij volledig uitstootvrij verkeer.

	Scenario 1	Scenario 2 (uitstoot- vrij)			Scenario 1	Scenario 2 (uitstoot- vrij)		
	Verloren levens- dagen	Verloren levens- dagen	Afname	Vershil (%)	Aantal mee- gerookte sigaretten per dag	Aantal mee- gerookte sigaretten per dag	Afname	Vershil (%)
Straat								
Amsteldijk	349	327	22	-6,3%	4,3	3,9	0,4	-9,3%
Haarlemmerweg	342	316	26	-7,6%	4,2	3,7	0,5	-11,9%
Nassaukade	344	325	19	-5,5%	4,3	3,9	0,4	-9,3%
Prins Hendrikkade	334	320	14	-4,2%	4,2	3,9	0,3	-7,1%
Stadhouderskade	369	336	33	-8,9%	4,7	4,1	0,6	-12,8%
Valkenburgerstraat	353	327	26	-7,4%	4,4	3,9	0,5	-11,4%
Weesperstraat	349	325	24	-6,9%	4,4	3,9	0,5	-11,4%
Wibautstraat	346	323	23	-6,6%	4,3	3,9	0,4	-9,3%
Amsterdam	348	325	23	-6,6%	4,4	3,9	0,5	-11,4%

4.4 Geluid en gezondheid

De WHO heeft gezondheidkundige advieswaarden opgesteld voor blootstelling aan geluid. Voor wegverkeer betreft de L_{den} advieswaarde aan de hoogst belaste gevel van de woning 53 dB. Deze advieswaarde is gebaseerd op een bepaald percentage ernstige hinder, namelijk: 10% ernstige hinder. Naar schatting is 36% van de Nederlandse bevolking blootgesteld aan geluidsniveaus van wegverkeer groter of gelijk aan de gezondheidkundige advieswaarde (ten opzichte van ruim 12% door vliegverkeer en bijna 2% van railverkeer). Dit veroorzaakt bij bijna een miljoen mensen ernstige hinder (RIVM, 2022).

Op basis van 25 studies uit verschillende landen hebben Guski en collega's (Guski et al., 2017) blootstelling-respons relaties afgeleid; dit is de relatie tussen de blootstelling aan bijvoorbeeld geluid en de kans of waarschijnlijkheid dat een bepaald effect (bijvoorbeeld ernstige hinder) optreedt. Hieruit hebben ze vervolgens een formule afgeleid voor het berekenen van het percentage ernstige hinder dat te verwachten is bij een bepaald geluidsniveau (L_{den}) door wegverkeer op de gevel. Met behulp van die formule hebben we voor 3 verschillende scenario's (70, 60, 50 dB) berekend wat het percentage ernstige hinder is in een situatie zonder uitstootvrij verkeer en een situatie met uitstootvrij verkeer voor verschillende voertuigtipes.

De gezondheidswinst is in dit geval dus de afname in ernstige hinder. De dB-reducties voor verschillende voertuigen bij een snelheid van 50km/uur in deze situaties zijn getoond in tabel 7. Voor de gemengde verkeersstroom betreft dit een gemiddelde afname van 2,5dB. Hierbij moet opgemerkt worden dat dit voor het oor in principe geen of een nauwelijks hoorbaar verschil is. Toch draagt zo'n afname wél bij aan de afname in ervaren hinder door geluid. De dB-reducties uit [paragraaf 3.3](#) betreffen reductie in de emissie van geluid bij de bron, en dus niet reductie van geluid

direct op de gevel. Echter de afgeleide formule voor het berekenen van het percentage ernstige hinder is wél gebaseerd op geluid op de gevel. Doordat er door het land veel verschil is in afstand tussen gevel en geluid van wegverkeer, wordt voor de berekeningen in deze paragraaf de aanname gemaakt dat een reductie van geluidemissie van bijvoorbeeld 2,5 dB ook een 2,5 dB reductie oplevert op de gevel. Dit is in werkelijkheid niet het geval, en daarom zorgt deze discrepantie ervoor dat de getoonde gezondheidseffecten meer zullen afwijken naarmate woningen verder van wegen gelegen zijn. Maar gemiddeld genomen geeft het een redelijke indicatie voor de veranderingen in ernstige hinder.

De 3 verschillende scenario's betreffen de uitgangssituatie zonder uitstootvrij verkeer met een gevelbelasting van 1) 70 dB, 2) 60 dB, en 3) 50 dB, met daarnaast de situatie waarbij de bijbehorende dB-reducties van verschillende voertuigen en de gemengde verkeersstroom van de uitgangssituatie afgetrokken zijn. In tabel 11 wordt de impact van geluidsreductie van de 5 verschillende voertuigen en de gemengde verkeersstroom weergegeven als het percentage ernstige hinder.

Tabel 11 Gezondheid, weergegeven als percentage ernstige hinder, als gevolg van geluid van wegverkeer (50 km/uur) voor 3 scenario's waarin het geluidsniveau op de gevel van woningen 1) 70 dB, 2) 60 dB, en 3) 50 dB is, in een situatie A) zonder uitstootvrij verkeer, en B) met volledig uitstootvrij verkeer. De kolom met 'verschil' toont het verschil tussen deze twee scenario's, oftewel de gezondheidswinst die er is te behalen door geluidreductie bij volledig uitstootvrij verkeer

	Scenario: 70dB			Scenario: 60dB			Scenario: 50dB		
	Situatie A:	Situatie B: uitstoot vrij		Situatie A:	Situatie B: uitstoot vrij		Situatie A:	Situatie B: uitstoot vrij	
	Ernstige hinder (%)	Ernstige hinder (%)	Verschil	Ernstige hinder (%)	Ernstige hinder (%)	Verschil	Ernstige hinder (%)	Ernstige hinder (%)	Verschil
Personenauto's (-1dB)	28,4	26,7	-1,6 (-5,8%)	15,1	14,1	-1,0 (-6,3%)	8,6	8,3	-0,3 (-3,1%)
Bestelwagens (-2 dB)	28,4	25,2	-3,2 (-11,3%)	15,1	13,2	-1,8 (-12,2%)	8,6	8,1	-0,5 (-5,5%)
OV-bussen en touringcars (-3dB)	28,4	23,7	-4,7 (-16,6%)	15,1	12,4	-2,7 (-17,6%)	8,6	8,0	-0,6 (-7,0%)
Lichte vrachtwagens (-3dB)	28,4	23,7	-4,7 (-16,6%)	15,1	12,4	-2,7 (-17,6%)	8,6	8,0	-0,6 (-7,0%)
Zware vrachtwagens (-5dB)	28,4	20,9	-7,5 (-26,4%)	15,1	11,0	-4,1 (-27,1%)	8,6	8,0	-0,7 (-7,7%)
Gemengde verkeersstroom (-2,5dB)	28,4	24,4	-4,0 (-14,0%)	15,1	12,8	-2,3 (-15,0%)	8,6	8,1	-0,5 (-6,3%)

Logischerwijs is de grootste absolute afname in percentage ernstige hinder te zien bij de grootste dB-reducties (zware vrachtwagens) in alle scenario's. In scenario 1 (uitgangssituatie 70 dB) is het percentage ernstige hinder zonder uitstootvrij verkeer 28,4%. Door uitstootvrij verkeer daalt deze hinder naar minstens 26,7% (door personenauto's) en maximaal 20,9% (door zware vrachtwagens). De relatieve afname van ernstige hinder ligt tussen 5,8 – 26,4%, en is -14% voor de gemengde verkeersstroom.

In scenario 2 (uitgangssituatie 60 dB) is het percentage ernstige hinder zonder uitstootvrij verkeer 15,1%. Door uitstootvrij verkeer daalt deze hinder naar minstens 14,1% (door personenauto's) en maximaal 11% (door zware vrachtwagens). De relatieve afname van ernstige hinder ligt tussen 6,3 – 27,1%, en is -15% voor de gemengde verkeersstroom. In scenario 3 (uitgangssituatie 50 dB) is het percentage ernstige hinder zonder uitstootvrij verkeer 8,6%. Door uitstootvrij verkeer daalt deze hinder naar minstens 8,3% (door personenauto's) en maximaal 8% (door zware vrachtwagens). De relatieve afname van ernstige hinder ligt tussen 3,1 – 7,7%, en is -6,3% voor de gemengde verkeersstroom. De grootste relatieve afname in percentage ernstige hinder door de gemengde verkeersstroom is in scenario 2 met een uitgangssituatie van 60 dB, namelijk 15% minder ernstige hinder door uitstootvrij verkeer (van 15,1% naar 12,8% ernstige hinder). Scenario 1 (70 dB) ligt hier erg dichtbij. De kleinste afname is in het scenario met 50 dB als uitgangssituatie; van 8,6% ernstige hinder naar 8,1% (afname van 6,3%).

In scenario 2 (60 dB) benadert het percentage ernstige hinder in de situatie uitstootvrij verkeer bij zwarte vrachtwagens de 10%; het percentage waarop de gezondheidkundige advieswaarde van 53 dB gebaseerd is. In scenario's 1 en 2 wordt deze waarde zonder én met uitstootvrij verkeer overschreden.

4.4.1 Geluid en gezondheid op straatniveau

Tabel 12 geeft gezondheid als percentage ernstige hinder door geluid van wegverkeer voor een aantal verkeersbelaste straten in Amsterdam in 2030 voor een scenario met 1) autonome ontwikkeling van het wagenpark en een scenario waarbij 2) het wegverkeer op binnenstedelijke wegen volledig uitstootvrij is. Op deze wegen staan woningen heel dichtbij de rekenpunten, waardoor de berekende geluidsniveaus nagenoeg gelijk zijn aan de geluidsniveaus op de gevel van woningen (welke nodig zijn in de formule voor het berekenen van het percentage ernstige hinder).

Tabel 12 Gezondheid, weergegeven als percentage ernstige hinder, als gevolg van geluid door wegverkeer op Amsterdamse binnenstedelijke wegen bij: Scenario 1) autonome ontwikkeling van het NL-wagenpark, Scenario 2) volledig uitstootvrij verkeer in 2030. Het verschil in procenten toont de afname in ernstige hinder bij uitstootvrij verkeer.

	Scenario 1	Scenario 2 (uitstootvrij)	
	Ernstige hinder (%)	Ernstige hinder (%)	Vershil
Straat			
Amsteldijk	40,7	36,8	-3,9 (-9,6%)
Haarlemmerweg	36,0	30,6	-5,4 (-15,0%)
Nassaukade	34,3	29,6	-4,7 (-13,7%)
Prins Hendrikkade	34,1	30,1	-4,0 (-11,7%)
Stadhouderskade	36,2	30,6	-5,6 (-15,4%)
Valkenburgerstraat	39,6	35,6	-4,0 (-10,2%)
Weesperstraat	40,3	36,6	-3,7 (-9,1%)
Wibautstraat	39,0	34,5	-4,6 (-11,7%)
Amsterdam	37,2	32,8	-4,4 (-11,9%)

Op de Amsterdamse straten is het percentage ernstige hinder 4,4% lager in de situatie met uitstootvrij verkeer ten opzichte van het scenario met autonome ontwikkeling van het Nederlandse wagenpark (32,8% vs. 37,2%; afname van 11,9%). Het hoogste percentage ernstige hinder is op de Amsteldijk; 40,7% bij autonome ontwikkeling van het wagenpark en 36,8% bij uitstootvrij verkeer. Het laagste percentage ernstige hinder is op de Nassaukade; 34,3% bij

autonome ontwikkeling van het wagenpark en 29,6% bij uitstootvrij verkeer. De grootste (absolute en relatieve) afname in het percentage ernstige hinder is op de Stadhouderskade. Hier is het percentage ernstige hinder 5,6% lager in de situatie met uitstootvrij verkeer (afname van 15,4%).

In beide scenario's, bij autonome ontwikkeling van het wagenpark en bij volledig uitstootvrij verkeer, is het percentage ernstige hinder ruim boven de door de WHO als maximum geadviseerde 10%. Uitstootvrij verkeer op verkeersbelaste wegen levert winst op voor de gezondheid, maar wat betreft geluid zullen er nog meer stappen genomen moeten worden om te voldoen aan de gezondheidkundige advieswaarden

4.5 Literatuur

- Guski, R., Schreckenberg, D., Schuemer, R., WHO Environmental noise guidelines for the European region: a systematic review on environmental noise and annoyance. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2017. 14(12): p. 1539.
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), GGD-richtlijn medische milieukunde: luchtkwaliteit en gezondheid, 2018-0016.
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), GGD-richtlijn medische milieukunde: omgevingsgeluid en gezondheid, 2019- 0177.
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Nieuwe gezondheidkundige richtlijnen voor omgevingsgeluid; Nadere gezondheidkundige analyses. 2020-0148.
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Ernstige hinder en slaapverstoring in Nederland – Onderzoek Beleving Woonomgeving (OBW) 2020. Hinder in tijden van corona.
<https://www.rivm.nl/publicaties/ernstige-hinder-en-slaapverstoring-in-nederland-onderzoek-beleving-woonomgeving>
- US-EPA. Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen – Health Criteria. Center for Public Health and Environmental Assessment, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency. EPA/600/R-15/068, 2016.
- US-EPA. Integrated Science Assessment for Particulate Matter. Center for Public Health and Environmental Assessment, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency. EPA/600/R-19/188, 2019.
- Van de Weerd, R., Gehring, U., van der Zee, S., GGD rekentool luchtverontreiniging en gezondheid (update), 2021.

HOOFDSTUK 5

UITSTOOTVRIJE MOBIELE WERKTUIGEN

Wat is de impact van mobiele werktuigen op de luchtkwaliteit en welke verbetering is er te behalen als deze uitstootvrij worden?

Mobiele werktuigen dragen in belangrijke mate bij aan de luchtverontreiniging. Voor NO₂ is de bijdrage ten opzichte van de totale concentratie gemiddelde in de drie gemeenten 8-12% en voor roet 8-13%. Voor PM₁₀ is de bijdrage ongeveer 2%, en voor PM_{2.5} is de bijdrage 2-3%. Dit zijn de maximaal haalbare verbeteringen in luchtkwaliteit, die te behalen zijn als alle mobiele werktuigen in Nederland uitstootvrij zijn. In de nabijheid van een bouwplaats met mobiele werktuigen is de te behalen verbetering groter.

5.1 Inleiding

De vraag over de impact van uitstootvrije mobiele werktuigen op de luchtkwaliteit beantwoorden we op twee schaalniveaus: 1) gemiddeld in een gemeente en 2) voor een fictieve bouwplaats.

Voor de gemeentebrede impact maken we gebruik van GCN-gegevens (ronde 2020). De aanpak is dezelfde als bij hoofdstuk 3 beschreven.

Voor de resultaten op lokale schaal heeft TNO een fictieve bouwplaats gesimuleerd. Op deze bouwplaats is de bijdrage van mobiele werktuigen aan NO_x en PM_{2.5} concentratie berekend.

5.2 Gemiddeld in een gemeente

Om in steden met uitstootvrije mobiele werktuigen de resterende milieubelasting voor luchtkwaliteit in beeld te brengen doen we de hypothetische veronderstelling dat alle mobiele werktuigen in Nederland uitstootvrij zijn. Dit geeft inzicht in welke lagere concentraties en emissies theoretisch mogelijk zijn bij uitstootvrije mobiele werktuigen (*gebaseerd op de GCN-ronde 2020*).

De emissies van mobiele werktuigen worden door de nationale emissieregistratie berekend. De onderliggende data was ten tijde van de GCN-ronde 2020 beperkt en de resultaten van het model moeten als indicatief en conservatief worden beschouwd⁶. In 2021 zijn de inzichten rondom mobiele werktuigen verbeterd, eind 2021 zijn deze inzichten verwerkt in het rekenmodel. Dit zal leiden tot fors hogere emissies, en daarmee concentraties, dan in deze studie verwerkt. De emissies van bouwmachines worden op dit moment toegekend op basis van het aantal inwoners en woningen⁷. Gevolg is dat de emissies van bouwmachines zich vooral concentreren in dichtbevolkte gebieden, terwijl daar niet vanzelfsprekend de meeste bouwmachines worden ingezet. In deze studie wordt desalniettemin gebruik gemaakt van de huidige methodiek.

⁶ <https://www.tno.nl/media/18781/2021-stl-mem-100340343.pdf>

⁷ De methodiek "Inwoners en woningen" staat beschreven in

[http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/Algemeen%20\(General\)/Ruimtelijke%20toedeling%20\(Spatial%20allocation\)/Nederlands/Inwoners%20en%20woningen.pdf](http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/Algemeen%20(General)/Ruimtelijke%20toedeling%20(Spatial%20allocation)/Nederlands/Inwoners%20en%20woningen.pdf)

5.2.1 Luchtkwaliteit – Concentratiebijdrage per gemeente

Tabel 13 toont de GCN-concentraties voor NO₂, Roet, PM10 en PM2.5 in Amsterdam, Eindhoven en Kampen voor het jaar 2019. In de tabel is per gemeente af te lezen: de gemiddelde concentratie, de bijdrage van Nederlandse bronnen aan de totale concentratie en de bijdrage van mobiele werktuigen. De gemiddelde concentratie in een gemeente bij uitstootvrije mobiele werktuigen is berekend door de bijdrage van mobiele werktuigen van de gemiddelde concentratie af te trekken. De aanname is hierbij dat alle mobiele werktuigen in Nederland uitstootvrij zijn. Tevens staat in de tabel met hoeveel procent de concentratie zal dalen bij uitstootvrije mobiele werktuigen.

Tabel 13 Jaargemiddelde GCN-concentraties voor NO₂, Roet, PM10 en PM2.5 in Amsterdam, Eindhoven en Kampen en de bijdrage van mobiele werktuigen (in 2019).

	NO ₂ concentratie (µg/m ³)			Roet concentratie (µg/m ³)		
	Amsterdam	Eindhoven	Kampen	Amsterdam	Eindhoven	Kampen
Gemiddelde concentratie	20,8	20,8	11,9	0,64	0,71	0,38
Bijdrage Nederlandse bronnen	17,7	14,2	8,2	0,43	0,32	0,17
Bijdrage mobiele werktuigen	2,4	1,7	1,3	0,08	0,05	0,04
Gemiddelde concentratie bij uitstootvrije mobiele werktuigen	18,4	19,1	10,6	0,56	0,66	0,34
Lagere concentratie door uitstootvrije mobiele werktuigen (%)	11,5%	8,0%	10,7%	13,1%	7,5%	9,8%
	PM10 concentratie (µg/m ³)			PM2.5 concentratie (µg/m ³)		
	Amsterdam	Eindhoven	Kampen	Amsterdam	Eindhoven	Kampen
Gemiddelde concentratie	18,3	18,8	15,3	9,8	11,1	8,3
Bijdrage Nederlandse bronnen	6,7	5,7	4,0	4,8	4,3	3,1
Bijdrage mobiele werktuigen	0,38	0,28	0,27	0,32	0,24	0,23
Gemiddelde concentratie bij uitstootvrije mobiele werktuigen	17,9	18,5	15,1	9,4	10,8	8,0
Lagere concentratie door uitstootvrije mobiele werktuigen (%)	2,1%	1,5%	1,8%	3,2%	2,1%	2,7%

NO₂ – De bijdrage van mobiele werktuigen aan de NO₂ concentratie is in Amsterdam en Eindhoven, respectievelijk gemiddeld 2,4 en 1,7 µg/m³. In de kleinere gemeente Kampen is dit 1,3 µg/m³. In een hypothetisch scenario van volledig uitstootvrije mobiele werktuigen in Nederland kunnen deze concentraties worden afgetrokken van de totale concentratie in de gemeente. In Amsterdam resulteert dit in een 11,5% lagere NO₂ concentratie, in Kampen 10,7% lager en in Eindhoven 8% lagere concentratie.

Roet – De impact van uitstootvrije mobiele werktuigen op roetconcentraties is vergelijkbaar met de procentuele bijdrage aan de NO₂ concentraties. Bij volledige uitstootvrije mobiele werktuigen kan de roetconcentraties in Amsterdam met 13,1% dalen, in Kampen met 9,8% en in Eindhoven met 7,5%.

PM10 & PM2.5 – De impact van volledig uitstootvrije mobiele werktuigen op de PM10 en PM2.5 concentraties is kleiner dan bij NO₂ en roet. Dat deze percentages beduidend lager zijn dan voor NO₂ en roet komt mede doordat de bijdrage van buitenlandse bronnen aan de PM10 en PM2.5 concentraties veel groter is. Voor PM2.5 is de bijdrage van Nederlandse bronnen aan PM2.5 concentratie bijvoorbeeld maar 4,8 µg/m³, oftewel 49% van de totale concentratie (in Amsterdam).

Voor PM10 zouden de concentraties, bij volledig uitstootvrije mobiele werktuigen, met maximaal 2,1% dalen in Amsterdam. Ook voor PM2.5 is de daling het grootste in Amsterdam (-3,2%) en iets lager in Eindhoven (-2,1%) en Kampen (2,7%)

Afgezet tegen de bijdrage van alleen Nederlandse bronnen zou volledig uitstootvrije mobiele werktuigen tot 5-7% lagere PM10 concentraties leiden in bovengenoemde steden. Voor PM2.5 is de concentratie 6-7% lager als je alleen naar de bijdrage van Nederlandse bronnen kijkt.

5.2.2 Luchtkwaliteit – Emissies per gemeente

Tabel 14 toont de GCN-emissies voor NOx, Roet, PM10 en PM2.5 in Amsterdam, Eindhoven en Kampen (GCN-ronde 2020). In de tabel is per gemeente af te lezen wat de totale emissie is binnen de gemeentegrens en hoeveel mobiele werktuigen uitstoten. Per component staat de procentuele afname van de totale uitstoot binnen de gemeente als de mobiele werktuigen uitstootvrij zouden zijn.

Tabel 14 Emissies voor NOx, Roet, PM10 en PM2.5 in Amsterdam, Eindhoven en Kampen en mobiele werktuigen (GCN-ronde 2020).

	NOx emissies (kg/jaar)			Roet emissies (kg/jaar)		
	Amsterdam	Eindhoven	Kampen	Amsterdam	Eindhoven	Kampen
Totale emissies in gemeente	6.325.966	1.426.004	509.603	53.288	14.061	5363
Mobiele werktuigen	609.951	164.013	76.695	8637	2329	1005
Lagere emissie bij uitstootvrije mobiele werktuigen (%)	9,6%	11,5%	15,0%	16,2%	16,6%	18,7%
	PM10 emissies (kg/jaar)			PM2.5 emissies (kg/jaar)		
	Amsterdam	Eindhoven	Kampen	Amsterdam	Eindhoven	Kampen
Totale emissie in gemeente	804.142	188.389	67.891	399.026	112.748	37.194
Mobiele werktuigen	24.792	6673	2962	23.647	6366	2822
Lagere emissie bij uitstootvrije mobiele werktuigen (%)	3,1%	3,5%	4,4%	5,9%	5,6%	7,6%

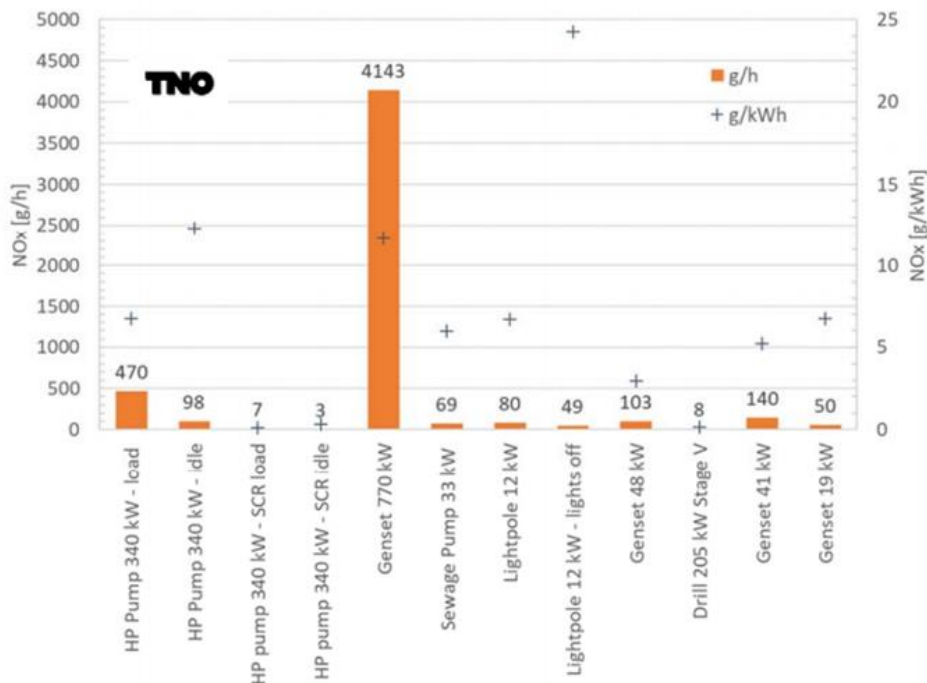
NOx – In Amsterdam wordt jaarlijks ruim 6 miljoen kilo NOx uitgestoten. Als alle mobiele werktuigen uitstootvrij zouden zijn, dan zou de NOx uitstoot met bijna 10% dalen. In Eindhoven zou bij zo'n scenario de NOx uitstoot 11,5% lager zijn en in Kampen 15% lager.

Roet – De uitstoot van roet door mobiele werktuigen is het hoogst, vergeleken met NOx, PM10 en PM2.5. De uitstoot van roet daalt in Kampen, bij uitstootvrije mobiele werktuigen, met bijna 19%. In Amsterdam en Eindhoven is de daling ruim 16%.

PM10 en PM2.5 – Mobiele werktuigen dragen in mindere mate bij aan de totale PM10 en PM2.5 uitstoot binnen de gemeentegrenzen. Dat komt omdat PM10 en PM2.5 wordt uitgedrukt als massaconcentratie en de (primaire) uitstoot van PM10 en PM2.5 vooral in de ultrafijne fractie zit. Deze deeltjes dragen door hun geringe grootte maar weinig bij aan de massaconcentratie fijn stof. Voor PM10 daalt, bij uitstootvrije mobiele werktuigen, de totale emissie met 4,4% in Kampen, 3,5% in Eindhoven en 3,1% in Amsterdam. Voor PM2.5 daalt de totale emissie met een kleine 6% in Amsterdam en Eindhoven. En met 7,6% in Kampen.

5.3 Lokaal: Fictieve bouwplaats

TNO heeft de impact van een fictieve bouwplaats op de lokale luchtkwaliteit gesimuleerd. Hierbij is uitgegaan van een generator set, die 4143 gram NOx per uur uitstoot en 15 gram PM2.5 per uur (zie figuur 2).



Figuur 2 TNO meetresultaten op een bouwplaats met stationair materieel. Bron: TNO report | TNO 2021 R10221 | 11 February 2021.

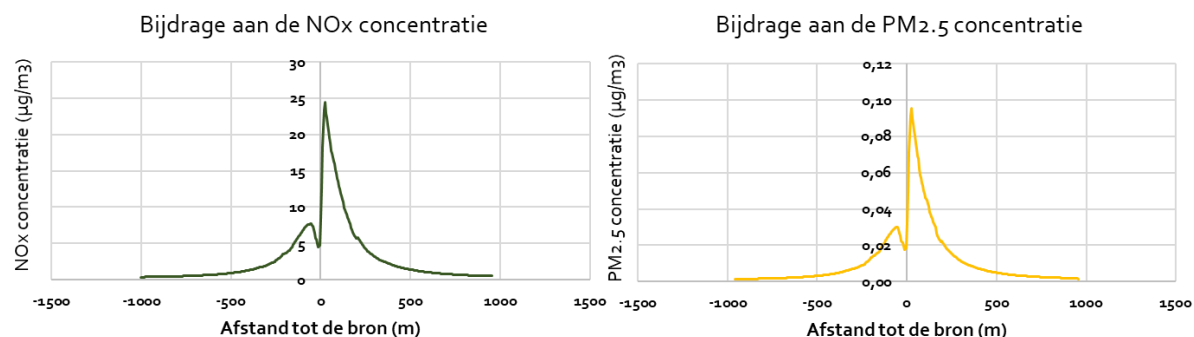
Een generatorset van een dergelijk formaat (770 kW) is niet gebruikelijk in een binnenstedelijk bouwproject. Indien er echter enkele (circa 3) relatief oude (bijvoorbeeld <2006) en grote (bijv. 200 kW) machines gelijktijdig worden ingezet op een bouwplaats, is dat vergelijkbaar met deze grote generatorset. Bijvoorbeeld bij kademuur herstelwerkzaamheden komen machines met motorvermogens tot ruim 500 kW voor, zoals funderingsmachines. Daarnaast wordt bijvoorbeeld bij de bouw van een parkeergarage, waarbij in de beginfase veel grondverzet nodig is, veel zwaar materieel ingezet. Een deel daarvan is ook specialistisch materieel met een lange levensduur, ofwel wat ouder materieel. De 4 kg NOx per uur kan daarmee overschreden worden bij gelijktijdige inzet van die meerdere machines. Indien er alleen modern materieel wordt toegepast, is de 4 kg per uur aan NOx niet waarschijnlijk.

De 15 gram aan PM2.5 is daarentegen niet uitzonderlijk hoog, uit metingen bleek dat een 19 kW generator al op 4 gram per uur (g/u) uit te komen, en een generator set van 48 kW op ruim 7 g/u. Dergelijk materieel wordt binnenstedelijk veelvuldig toegepast. Een deel van de modernere machines heeft een roetfilter, in dat geval zullen dergelijk waarden niet meer gehaald worden (bij een goed werkend, en niet verwijderd, roetfilter).

De uitstoot is gemodelleerd op 1,5 meter hoogte, met een pijp diameter van 25 cm, in een hoogstedelijke omgeving. Hierbij is uitgegaan van een (ruwe aanname) warmte inhoud van 300 kW (energie die wordt omgezet in warmte, warmte beïnvloed de stijging van het uitlaatgas). Indien een lagere warmte inhoud wordt aangenomen, bijvoorbeeld

doordat er op een lagere motorbelasting wordt gewerkt, zal de concentratie lokaal stijgen. De berekeningen zijn uitgevoerd met het Operationele Prioritaire Stoffen model (OPS)⁸.

Figuur 3 toont de bijdrage van de fictieve bouwplaats aan de lokale NOx en PM2.5 concentratie. In figuur 4 is de bijdrage op kaart weergegeven voor een gebied van 1 km².



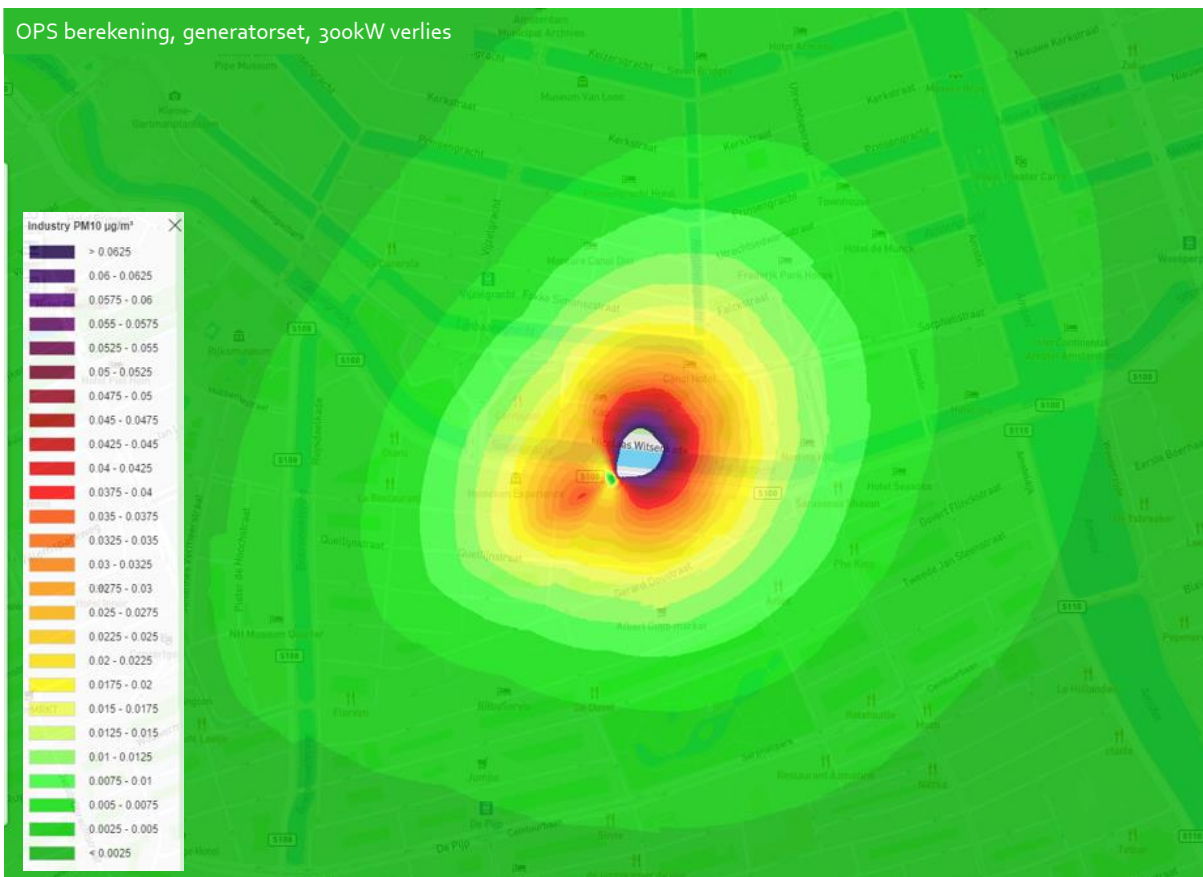
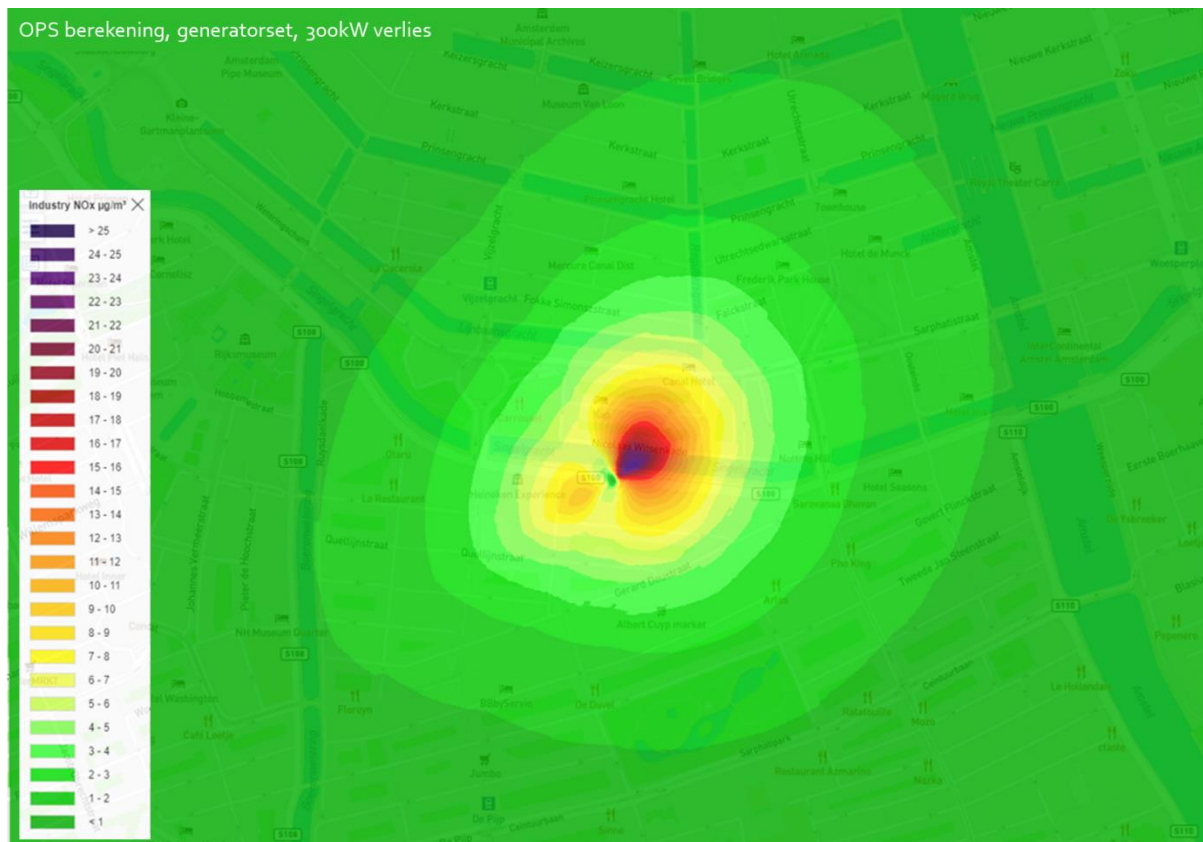
Figuur 3 Gemiddelde bijdrage van de bouwplaats aan de lokale NOx en PM2.5 concentratie uitgedrukt als van functie van afstand tot de bron.

In de nabijheid van de bron loopt de bijdrage van de bouwplaats aan de NOx concentratie op tot maximaal 24,5 µg/m³ en bijna 0,1 µg/m³ voor PM2.5. Voor NOx is de concentratiebijdrage in de eerste 50 meter van de bron (*aan de hoogbelaste zijde*) gemiddeld 19,5 µg/m³ en in de 50 meter daarna 15,7 µg/m³ (Tabel 15). De tabel toont ook de bijdrage aan de PM2.5 concentratie van de bouwplaats op verschillende afstanden. In de eerste 50 meter is deze bijdrage 0,076 µg/m³ en op een afstand van 50-100 meter 0,059 µg/m³.

Tabel 15 Gemiddelde concentratie bijdrage van de bouwplaats aan de lokale NOx en PM10 voor verschillende afstanden

Afstand tot bron (hoog belaste zijde)	Gemiddelde bijdrage aan	
	NOx concentratie (µg/m ³)	PM2.5 concentratie (µg/m ³)
0-50m	19,5	0,076
50-100m	15,7	0,059
100-250m	7,4	0,027
250-500m	2,4	0,009
>500m	0,8	0,003

⁸ <https://www.aerius.nl/nl/factsheets/berekening-verspreiding-en-deposities-met-ops/15-10-2020>



Figuur 4 Bijdrage van de bouwplaats aan de lokale NOx en PM2.5 concentratie.

5.3.1 Indicatieve berekening bijdrage NO₂ concentratie

Stikstofmonoxide (NO) en stikstofdioxide (NO₂) worden samen stikstofoxiden (NO_x) genoemd. Bij verbrandingsprocessen op hoge temperaturen ontstaat in eerste instantie NO. Hoewel ook bij veel machines direct NO₂ uit de uitlaat komt, vanwege de oxidatiekatalysator. De fracties verschillen per motortype⁹.

NO heeft een korte levensduur in de atmosfeer en wordt door reacties met ozon (O₃) en vluchtige organische stoffen (VOS) omgezet tot NO₂. De snelheid van deze reactie is afhankelijk van de hoeveelheid aanwezige O₃ en VOS, maar ook van de zonne-energie en de weersomstandigheden. De omzetting van NO naar NO₂ is in de orde van enkele tientallen seconden tot enkele minuten.

GGD'ers en gemeenteambtenaren richten zich in de advisering en beleid op NO₂. Daarom geven we een indicatieve berekening waarin we de bijdrage van de fictieve bouwplaats uitdrukken in de bijdrage aan de NO₂ concentratie.

Op een afstand van 80 meter van de bouwplaats is het meeste NO omgezet in NO₂. Bij een windsnelheid van 4 meter per seconden, duurt het 20 seconden voordat de uitstoot vanaf de bron de 80 meter heeft afgelegd.

Ervan uitgaande dat op deze afstand (80m) van de bron de meeste NO is omgezet in NO₂ dan is de bijdrage aan de NO₂ concentratie 15 µg/m³.

Stel dat het aggregaat op de fictieve bouwplaats drie weken lang 8 uur per dag aan staat, dan is de bijdrage aan de jaargemiddelde NO₂ concentratie: 0,29 µg/m³.

Berekening bijdrage aan jaargemiddelde NO₂ concentratie:

8uur * 21 dagen= 168 uur

168 uur * 15 µg/m³= 2520

2520/8760 uren in jaar = 0,29 µg/m³ NO₂ bijdrage aan jaargemiddelde NO₂

⁹ <https://www.irceline.be/nl/documentatie/publicaties/wetenschappelijke-rapporten/analyse-no2-concentraties>

DEFINITIES

Autonome ontwikkeling - het meest waarschijnlijke scenario wat betreft toekomstige emissies op basis van vastgesteld en voorgenomen nationaal en internationaal beleid. Deze 'autonome ontwikkeling' leidt tot een substantiële verbetering van de luchtkwaliteit. De voortschrijdende elektrificatie van het wegverkeer is hiervan een (klein) onderdeel, evenals de verdergaande verjonging van het wagenpark en aangescherpte emissiewetgeving. Dit heeft tot gevolg dat de bijdrage van het wegverkeer aan de concentraties fijn stof, NO₂ en roet in 2030 veel kleiner is dan nu. Het betekent dat ook de 'winst' die nog is te behalen als gevolg van volledig elektrisch vervoer in 2030 kleiner is dan nu.

Geluid – decibel (dB) - Geluid is een zich voortplantende trillende beweging (drukschommeling), meestal door de lucht, die door het gehoor waargenomen kan worden. Het geluids(druk)niveau of -volume wordt uitgedrukt in deciBel (dB). De decibel is een logaritmische maat. Dit betekent dat het aantal decibels afkomstig van verschillende bronnen niet zomaar opgeteld kan worden. Het geluid van twee even sterke onafhankelijke bronnen geeft een verhoging van het geluidsniveau met 3 dB (3 dB meer dan het geluidsniveau van één bron). Een verdubbeling van het geluidsniveau wil niet zeggen dat het geluid ook twee keer zo luid wordt ervaren en er twee keer zoveel hinder is. Een toename van het geluidsniveau met 10 dB wordt meestal door een mens ervaren als 'tweemaal zo hard'.

De Lden (Engels: Level day-evening-night) is een Europese maat om de geluidsbelasting door omgevingslawaaai over een heel etmaal uit te drukken.

Luchtverontreiniging: PM10, PM2.5, Roet, NO₂ - Luchtverontreiniging bestaat uit een mengsel van stoffen. Belangrijke stoffen die de lucht vervuilen zijn fijn stof (PM10 en PM2.5), roet en stikstofdioxiden (NO₂). Fijn stof is voor de gezondheid het belangrijkste onderdeel van luchtverontreiniging. Hoe kleiner de deeltjes hoe ernstiger de gevolgen voor de gezondheid. Twee vormen van fijn stof zijn PM10 en PM2.5. PM10 - 'grof' fijn stof. Dit zijn deeltjes met een diameter kleiner dan 10 micrometer (µm). PM2,5: 'fijn' fijn stof met een diameter kleiner dan 2,5 µm. PM2,5 bestaat vooral uit deeltjes die ontstaan bij verbrandingsprocessen, zoals roetdeeltjes bij dieselmotoren. Stikstofdioxide (NO₂) ontstaat bij verbranding. In de buitenlucht is het verkeer is de belangrijkste bron van stikstofdioxide. Als de concentratie stikstofdioxide hoog is, dan is de concentratie van andere uitlaatgassen van verkeer vaak ook hoog. Daarom wordt stikstofdioxide vaak gebruikt als maat voor de luchtvervuiling door het verkeer.

Mobiele werktuigen - Verzamelnaam voor allerlei machines met een verbrandingsmotor die niet tot wegvoertuigen, zeeschepen of vliegtuigen behoren. Mobiele werktuigen zijn bijvoorbeeld landbouwtrekkers, vorkheftrucks, graafmachines, hijskranen, aggregaten en andere bouwmachines. Het grootste deel van de mobiele werktuigen wordt door dieselmotoren zonder roetfilter aangedreven.

Uitstootvrij/zero-emissie verkeer - Met uitstootvrij/zero-emissie wegverkeer worden in dit project voertuigen bedoeld die elektrisch worden aangedreven en geen uitstoot aan de uitlaat hebben. Oftewel voertuigen die geen verbrandingsmotor hebben, die draait op fossiele brandstoffen. Voor NO₂ en roet (onderdeel van fijn stof) is er geen uitstoot van deze voertuigen. Voor fijn stof (PM10 en PM2.5) resteert er een bijdrage door banden-, rem- en wegdekslijtage en opwervend stof. Voor geluid resteert bij deze voertuigen het bandengeluid en eventuele geluiden van waarschuwingssystemen.

BIJLAGE 1

Tabel met de luchtvervuilende componenten waarop de gezondheidseffecten gebaseerd zijn:

Gezondheidseffect	Gebaseerd op
Winst in levensverwachting (<i>in dagen</i>)	PM10 en NO ₂
Afname in aantal ziekenhuisopnames door astma bij alle leeftijden (<i>cases per jaar (aandeel ziektelast)</i>)	NO ₂
Afname in incidentie astma bij kinderen van 0-18jaar (<i>cases per jaar (aandeel ziektelast)</i>)	NO ₂
Afname in aantal ziekenhuisopnames door ischemische hartziekten bij 40+ers (<i>cases per jaar (aandeel ziektelast)</i>)	NO ₂
Afname in aantal laag geboortegewicht gevallen (<i>cases per jaar (aandeel ziektelast)</i>)	PM2.5
Afname in aantal meegerookte sigaretten per dag	PM2.5 en NO ₂