



Kwantificering uitstootreductie verkeer door wegontwerp

Onderzoek naar de uitstootreductie van motorvoertuigen tijdens de exploitatiefase door wegontwerp van gemeentelijke wegen

Rotterdam, 31 maart 2020

VOORWOORD

Beste collega,

Kort na het verschijnen van het rapport 'Reductie van CO₂-uitstoot wegverkeer door aanpassingen in wegontwerp' presenteren we deze vervolgstudie. In het vorige rapport hebben we verschillende oplossingen in kaart gebracht; dit rapport geeft een beeld van de hoeveelheid CO₂-besparing in de exploitatiefase door keuzes in het wegontwerp. Daarbij zijn ook de uitstoot van stikstof (NO_x) en fijnstof (PM10) meegenomen. Daarom is dit rapport niet alleen interessant voor het klimaatbeleid van gemeenten, maar ook voor de verbetering van de lokale luchtkwaliteit.

Positief effect

We zijn tot de conclusie gekomen dat een aantal typen wegontwerp een positief effect heeft op uitstoot door autoverkeer. Wegontwerp kan daadwerkelijk bijdragen aan het reduceren van uitstoot in de exploitatiefase. Een belangrijke kanttekening is dat we hebben gekeken naar solitaire maatregelen binnen een klein, en hierdoor beheersbaar, netwerk zonder overbelasting van verkeer. In werkelijkheid hangen deze maatregelen met elkaar samen in een breder systeem, waar ook beleidskeuzes en netwerkmanagement een belangrijk onderdeel van vormen.

Omgevingsfactoren

Er is gewerkt met de meest actuele rekenmodellen; de onderzoekers laten zien welke variabelen daarbij een rol spelen. Dat betekent tegelijkertijd ook dat de resultaten van dit onderzoek niet één op één kunnen worden geprojecteerd op een specifieke praktijksituatie. In het geval van een drukke weg kunnen de uitkomsten bijvoorbeeld anders zijn. De omgevingsfactoren verschillen per situatie en zullen lokaal ook tot andere uitkomsten leiden. Beschouw dit rapport daarom ook als startpunt voor een lokale analyse.

Ik hoop dat dit rapport gemeenten helpt bij het verduurzamen van het ontwerpproces. En wellicht inspireert het partijen om zelf aanvullende studies te verrichten naar de CO₂-reductie door wegontwerp. Het zou fantastisch zijn als professionals praktijkvoorbeelden met elkaar gaan delen. Het GNMI wil daar, samen met andere partijen, graag een rol in spelen.

Onze dank gaat uit naar de VNG die dit onderzoek financieel mogelijk heeft gemaakt. En natuurlijk naar APPM, Goudappel Coffeng en de betrokken experts, die in goede samenwerking met elkaar hebben gewerkt aan dit rapport.

Arthur ter Weeme | Directeur GNMI

**Verbinden van
klimaat met
wegontwerp**

INHOUDSOPGAVE

1. AANLEIDING 5

1.1 INLEIDING 6

1.2 LEESWIJZER 6

2. AFBAKENING ONDERZOEK 7

3. WERKWIJZE 9

4. MAATREGELEN 10

4.1 KLEIN KRUISPUNT – ROTONDE EN LARGAS 11

4.2 GROOT KRUISPUNT – VRI, iVRI EN TURBOROTONDE 13

4.3 ONGELIJKVLOERSE KRUISINGEN 16

4.4 FIETSINFRASTRUCTUUR 18

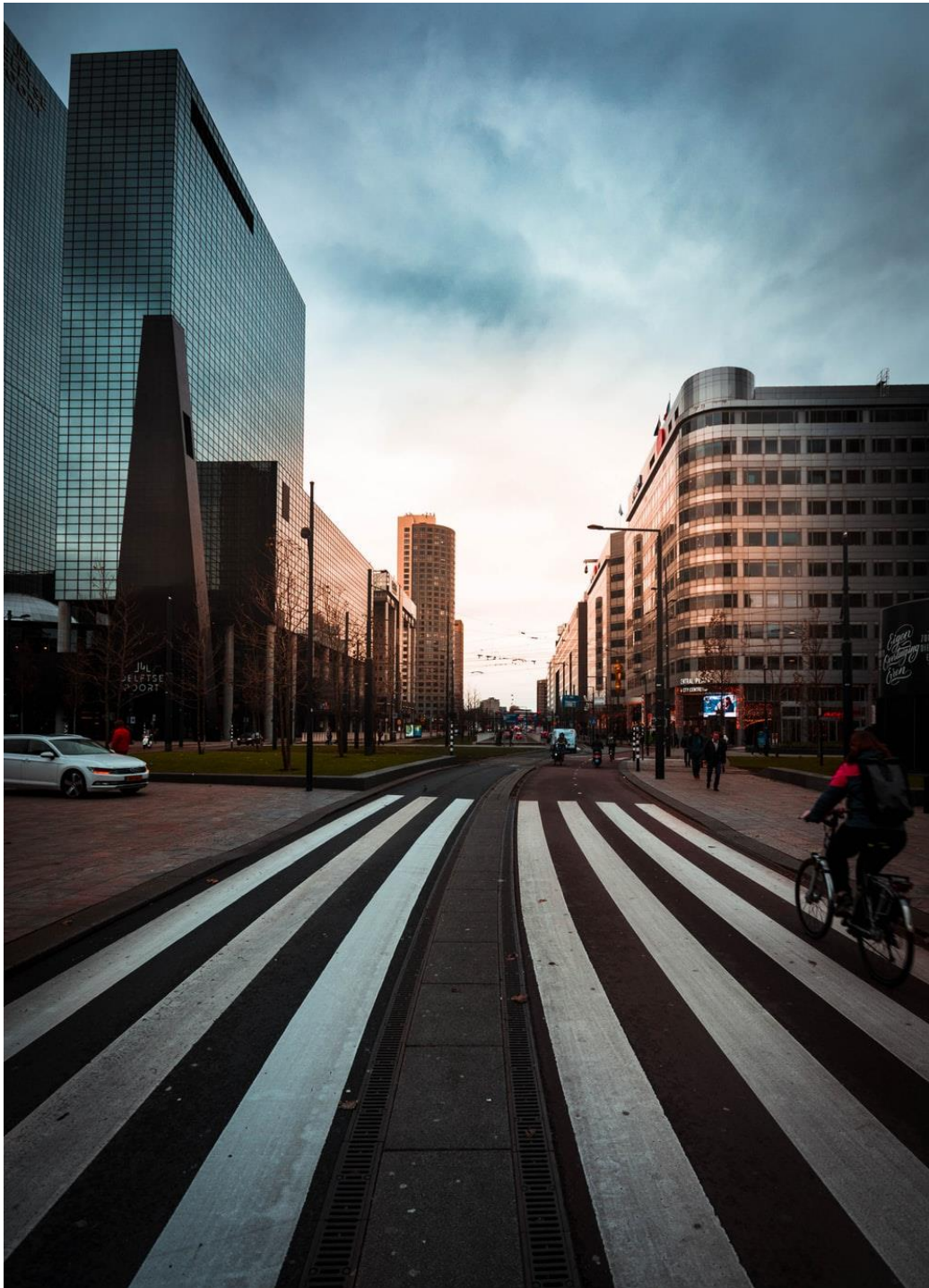
4.5 GROENE GOLF 21

4.6 PRIORITEREN VRACHTVERKEER 22

4.7 SNELHEIDSVERLAGING 24

5. CONCLUSIE 26

6. BIJLAGEN 30



1. Aanleiding

1.1 Inleiding

Nederland heeft zich internationaal gecommitteerd aan de doelstelling om in 2030 de uitstoot van CO₂ met 49% terug te dringen ten opzichte van 1990. In het Klimaatakkoord zijn afspraken gemaakt om te komen tot een haalbare, betaalbare en uitvoerbare transitie voor gemeenten en inwoners.

Op lokaal niveau zetten steeds meer gemeenten concrete stappen om dit doel te bereiken. Om gemeenten hierbij te ondersteunen, heeft de Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG) het 'Programma CO₂-reductie' geïnitieerd. Binnen het programma, dat is gestart in 2019, wordt in 2020 vervolg gegeven aan drie projecten:

- Certificering CO₂-Prestatieladder
- CO₂-reductie in grond-, weg- en waterbouw (GWW)
- Pilots CO₂-reductie

Dit rapport maakt onderdeel uit van het project 'CO₂-reductie in grond-, weg- en waterbouw'. Dit project richt zich op de gemeentelijke GWW-praktijk. Uit de CO₂-voetafdruk van waterschappen, provincies, het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) en Rijkswaterstaat (RWS) blijkt dat voor hen de meeste winst valt te behalen op dit onderdeel. Het is aannemelijk dat ook gemeenten veel winst kunnen behalen op dit terrein.

De praktijk leert dat de focus voornamelijk ligt op het reduceren van de uitstoot tijdens de aanlegfase. Er wordt minder gekeken naar de exploitatiefase, waar ook kansen liggen. Om mogelijkheden inzichtelijk te maken, heeft APPM eind 2019 een verkennend onderzoek uitgevoerd in opdracht van het Gemeentelijk Netwerk voor Mobiliteit en Infrastructuur (GNMI) en Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG). In dit verkennende onderzoek zijn een tiental verkeersmaatregelen bekeken en kwalitatief geanalyseerd op de onderdelen CO₂-reductie, verkeersdoorstroming, kosten en verkeersveiligheid.

Waar de aanname vooraf was dat CO₂-uitstoot voornamelijk gereduceerd kan worden in de aanlegfase, heeft het onderzoek aangetoond dat er ook winst te behalen is in de exploitatiefase. Een aanbeveling was om een aantal van de onderzochte maatregelen te kwantificeren om zo meer richting te kunnen geven aan het prioriteren van maatregelen.

Voorliggend rapport volgt op de eerdere verkenning en bevat een kwantificering van een selectie van de eerder onderzochte maatregelen. Naast CO₂-uitstoot is gekeken naar de uitstoot van stikstofdioxide (NO_x) en fijnstof (PM10). Waar CO₂ een effect heeft op het klimaat en minder plaatsgebonden is, hebben deze stoffen betrekking op de (lokale) luchtkwaliteit. Infrastructurele maatregelen zullen met name een positief effect hebben op deze lokale factoren.

De essentie van dit onderzoek is het verschaffen van inzicht in de uitstoot van solitaire maatregelen en beoogt hiermee bij te dragen aan het prioriteren van maatregelen. Zodoende kan uitstootreductie mee worden genomen als wegingsfactor voor maatregelen omtrent wegontwerp. Ondanks de focus op solitaire maatregelen en uitstoot, is het evident dat de uiteindelijke keuze voor een wegontwerp gebaseerd moet worden op het totale systeem. De uitstootreductie rechtvaardigt dan ook niet altijd de aanvullende kosten. Noch spoort dit onderzoek aan dat gemeenten enkel moeten investeren in auto-gerelateerde maatregelen. De benodigde mobiliteitstransitie vergt inzet op alle sporen, zowel wegontwerp als beleidskeuzes gericht op duurzame(re) modaliteiten.

1.2 Leeswijzer

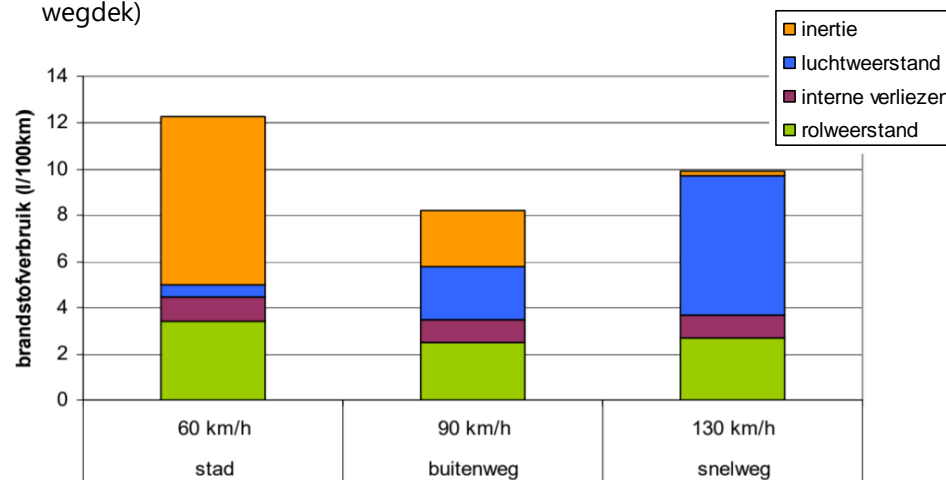
Hoofdstuk 2 gaat in op de afbakening van dit vervolgonderzoek. Een omschrijving van de werkwijze volgt in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 behandelt de maatregelen en geeft aan wat het effect per maatregel is op de uitstoot van zowel CO₂, NO_x als PM10. Het rapport wordt afgesloten met de conclusie in hoofdstuk 5.

2. Afbakening onderzoek

Er zijn meerdere maatregelen die een gemeente kan nemen om uitstoot van mobiliteit te reduceren. Denk bijvoorbeeld aan het verminderen van reisbewegingen door thuiswerken te stimuleren en meer in te zetten op duurzame modaliteiten zoals de fiets en openbaar vervoer. Dit onderzoek focust zich, in lijn met de eerdere verkenning, op de winst die te behalen is door aanpassingen in wegontwerp met autoverkeer als dominante modaliteit.

Er is een viertal manieren waarop een voertuig energie verbruikt, en hiermee CO₂ uitstoot, te weten:

- Inertie (versnellen en vertragen);
- Interne wrijving (verliezen in motor en aandrijving);
- Luchtweerstand;
- Rolweerstand (verliezen door vervorming van band, schokdempers en wegdek)



Figuur 1: Brandstofverbruik per situatie (Groenendijk & Van den Berg, 2012)

Voor gemeentelijke wegen, waarbij de snelheid vaak niet hoger ligt dan 60 km/h, zorgen inertie en rolweerstand voor het grootste brandstofverbruik. In het verkennend onderzoek zijn om die reden bewust maatregelen onderzocht die deze energieverliezen mogelijk reduceren en hiermee de CO₂-uitstoot verlagen. Door middel van een bureaustudie is er gekeken welke maatregelen op dit moment reeds effect hebben op het reduceren van CO₂. Aanvullend zijn er gesprekken gevoerd met meerdere partijen waarbij o.a. diverse gemeenten, provincies en experts binnen de GWW-sector zijn geïnterviewd. Per maatregel is alleen gekeken naar de exploitatiefase en niet naar de aanlegfase. Uit deze bureaustudie en interviews zijn vier gebieden met in totaal tien maatregelen gekomen welke zijn geanalyseerd, te weten:

1. Weginrichting

- a. Ronde
- b. Voorrangsplein | LaRGaS
- c. Links afslaand verkeer beperken
- d. Ongelijkvloerse kruising
- e. Fietsinfrastructuur

2. (Intelligente) verkeersregelinstanties

- a. Groene golf
- b. Capaciteit tussen kruispunten monitoren
- c. Voorrang vrachtwagens regelen

3. Beleid

- a. Snelheidsverlaging

4. Materialisatie

- a. Asfaltmengsels

Uitgangspunt van voorliggend onderzoek was om alle eerder onderzochte maatregelen te kwantificeren. Een eerste afbakening heeft aangetoond dat niet alle maatregelen zich lenen om te kwantificeren. De keuze is gemaakt om de volgende maatregelen niet mee te nemen in de analyse:

- **Linksafslaand verkeer beperken:** Afslaand verkeer kan de doorstroming van verkeer beperken, met name bij een enkelbaans weg waarbij voertuigen achter een afslaand voertuig moeten wachten. Er kan een apart opstelvak gecreëerd worden, of een verbod worden ingesteld voor afslaan naar links. Afhankelijk van de situatie in het laatste geval, kan dit ervoor zorgen dat verkeer om moet rijden. Dit zou een negatief effect hebben op de CO₂-uitstoot. Omdat dit mogelijke neveneffect niet te kwantificeren is, is ervoor gekozen om de maatregel niet mee te nemen in de analyse.
- **Capaciteit tussen kruispunten monitoren:** Op verkeersintensieve wegvakken komt het vaak voor dat verkeerslichten op groen staan, maar het kruispunt volledig verstopt is. Hier ondervindt ook de tegemoetkomende richting last van. Deze variant is niet specifiek meegenomen in de analyse. Wel is er gekeken naar de verschillen in uitstoot tussen een VRI- en iVRI-geregeld kruispunt.
- **Asfaltmengsels:** Het gebrek aan (betrouwbare) data over de bijdrage van asfaltmengsels aan het verminderen van de rolweerstand van een voertuig, maakt dat het niet mogelijk is om een uitspraak te doen over de CO₂-reductie die asfaltmengsels op die manier kunnen bewerkstelligen. Om deze reden is de maatregel niet meegenomen in de analyse.

Het wijzigen van een wegontwerp hangt sterk af van de lokale situatie, waaronder snelheid, doorstroming, type wegvoertuigen en het omliggende wegennet. Dit maakt dat het niet mogelijk is om een allesomvattende uitspraak te doen over de CO₂-besparing van een bepaald type wegontwerp. Om in deze studie een onderbouwde uitspraak te kunnen doen over de CO₂-besparing van bepaalde verkeersmaatregelen, is gekeken naar de orde-grootte van CO₂-besparing middels (micro)simulaties. Omdat de samenstelling van verkeer in

iedere gemeente en per wegvak verschilt, zijn ook meerdere percentages van vrachtverkeer bekeken. Zoals in de inleiding genoemd, is aanvullend gekeken naar de uitstoot van NO_x en PM10. Waar CO₂ een effect heeft op het klimaat en minder plaatsgebonden is, hebben deze stoffen betrekking op de lokale luchtkwaliteit. Infrastructurele aanpassingen zullen met name een positief effect hebben op deze lokale factoren.

Aan de hand van microsимулатies kan worden berekend hoe de doorstroming op een kruispunt- en/of wegvakniveau wordt beïnvloed als een verkeerssituatie verandert. In de simulaties is telkens een nulsituatie als uitgangspunt genomen, en is deze situatie vergeleken met een aangepast wegontwerp (bv. rotonde, ongelijkvloerse kruising, iVRI-geregeld kruispunt). In de simulaties zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Er is uitgegaan van brandstof aangedreven voertuigen. Ondanks dat de groei van elektrische voertuigen niet is meegenomen, kan worden aangenomen dat dit zorgt voor een reductie van de CO₂-uitstoot in de exploitatiefase.
- Ondanks dat overbelasting vaak een aanleiding is voor een gemeente om het wegontwerp aan te passen, is in de simulaties uitgegaan van een gelijk verkeersaanbod zonder overbelasting. Dit om een eerlijke vergelijking te maken.
- Doorstroming is een belangrijke factor in het reduceren van uitstoot, maar heeft ook een verkeersaantrekkende werking (*induced demand*). In sommige gevallen kiezen gemeenten er expliciet voor om de doorstroming te verminderen om zodoende andere modaliteiten (bv. fiets) aantrekkelijker te maken. De latente vraag die eventueel aanwezig is bij het verbeteren van een wegvak, is in deze berekeningen buiten beschouwing gelaten.
- Dit onderzoek richt zich specifiek op solitaire maatregelen voor wegontwerp en laat hierbij ruimtelijke ordening, gemeentelijk netwerkmanagement en systeemkeuzes buiten beschouwing. Dit heeft te maken met de (te) grote contextafhankelijkheid.

3. Werkwijze

Voor het simuleren van de meeste maatregelen is gebruik gemaakt van microsimulaties in VisSim. In VisSim wordt elk voertuig afzonderlijk nagebootst en worden alle relevante eigenschappen van de voertuigen en de omgeving (het netwerk) verwerkt. De simulaties zijn berekend in een netwerk van 4x4 kilometer. De analyses zijn uitgevoerd voor het directe invloedsgebied van het kruispunt of wegvak (een straal van 300-500 meter). We kijken dus naar het verkeersgedrag 150-250 meter voor en na het kruispunt of wegvak. Dit is doorgaans het gebied waarin voertuigen acceleratie- en deceleratiegedrag vertonen als gevolg van het kruispunt.

De volgende verkeersintensiteiten zijn gehanteerd:

- Klein kruispunt (nulsituatie), rotonde en LaRGaS: 1500 PAE¹/uur
- Groot kruispunt VRI (nulsituatie) en turborotonde: 2500 PAE/uur
- Groot kruispunt VRI/spoorwegovergang (nulsituatie) en ongelijkvloers: 2000 PAE/uur

Om een onderlinge vergelijking zo zuiver mogelijk te houden, zijn intensiteiten gebruikt die niet voor overbelasting zorgen, waardoor alle simulaties zonder filevorming zijn uitgevoerd. Hiermee is het verschil in capaciteit tussen de verschillende kruispuntvormen zoveel mogelijk buiten beschouwing gelaten. Bij elke simulatie wordt ook inzicht gegeven in het effect van het aandeel vrachtverkeer (>3.500 kg). Per simulatie zijn zes varianten meegenomen, oplopend van 0 naar 25 procent. De hoeveelheid vrachtverkeer heeft logischerwijs een invloed op de uitstoot. Per variant zijn 10 runs gedraaid.

¹ PAE: PersonenAutoEquivalent. Een personenauto heeft waarde 1, een gewone vrachtauto waarde 1,5, vrachtwagen met aanhanger 2,3, een bus 2 en een motor 0,4

Om inzicht te krijgen in de uitstoot (CO₂, NO_x en PM10) is er gebruik gemaakt van de EnViVer-module. Deze module koppelt uitstootcijfers (gebaseerd op praktijktests en berekeningen van onderzoeksorganisatie TNO) aan snelheidsdynamiek (optrekken en afremmen).

Voor de maatregel 'Fietsinfrastructuur' is gekozen voor een andere aanpak. Omdat inzicht op kruispuntniveau van te veel variabelen afhangt om hier onderbouwd uitspraken over te doen, wordt een voorbeeld gegeven van een gemeente die de afgelopen jaren actief heeft ingezet op fietsbeleid. We hebben een analyse gemaakt van de ontwikkeling in de modal split. Het verschil in ontwikkeling van het autoverkeer is gekoppeld aan de uitstootcijfers van de door Rijkswaterstaat beheerde database co2emissiefactoren.nl.



4. Maatregelen

4.1 Klein kruispunt – Rotonde en LaRGaS

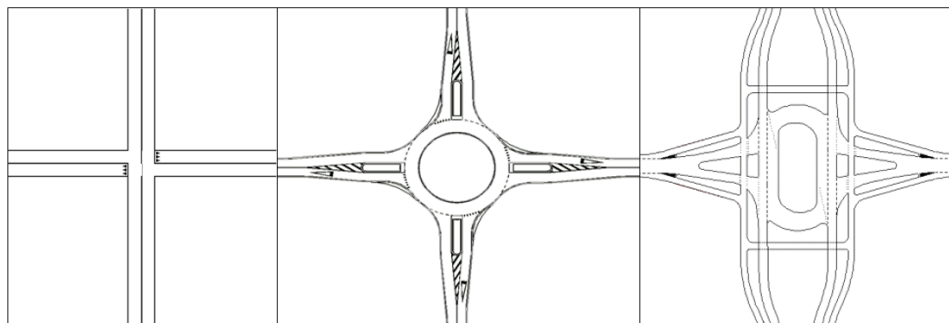
Nulsituatie

Een klein voorrangskruispunt.

Alternatieve maatregel

Als alternatief voor een klein voorrangskruispunt zijn een tweetal vormgevingen doorgerekend:

- Enkelstrooksrotonde – Er is hier rekening gehouden met een rotonde waar fietsers geen voorrang krijgen. Wanneer fietsers voorrang krijgen, neemt de uitstoot nog iets verder toe, vanwege de toename van het aantal rem- en optrekbewegingen.
- LaRGaS – LaRGaS staat voor 'Langzaam Rijden Gaat Sneller' en is een type voorrangspein waarbij het doorgaande verkeer wel door kan rijden, maar de snelheid verlaagd wordt. Hierdoor ontstaan er grotere hiaten voor verkeer vanuit de zijrichtingen om de doorgaande stroom te kruisen.



Figuur 2: Illustratief voorbeeld van voorrangskruispunt, enkelstrooksrotonde en LaRGaS

Het gebruik van rotondes kan voor reductie van CO₂ zorgen doordat het aantal rem- en optrekbewegingen verminderd wordt. Bij een LaRGaS wordt zowel een verlaging van de snelheid als een vloeiender verloop van het verkeer bewerkstelligd. Dit is gunstig voor de geluidsbelasting, hinder en voor luchtkwaliteit.

Resultaten

In de tabel hieronder staat de uitstoot van CO₂, waarbij het voorrangskruispunt geïndexeerd is op 100. De percentages geven het aandeel vrachtverkeer aan.

CO ₂ -uitstoot	Voorrang	Enkelstrooks	LaRGaS
Alleen autoverkeer	100	105	94
Vrachtverkeer 5%	100	107	95
10%	100	109	95
15%	100	110	96
20%	100	111	95
25%	100	112	96

Tabel 1: CO₂-uitstoot voor voorrangskruispunt, rotonde en LaRGaS

Allereerst valt op dat een enkelstrooksrotonde in meer CO₂-uitstoot resulteert dan een voorrangskruispunt (gemiddeld 9% meer uitstoot variërend tussen 5-12% afhankelijk van het aandeel vrachtverkeer). Dit is te verklaren door het feit dat bij een enkelstrooksrotonde elk voertuig moet afremmen, en een grotere kans heeft om tot stilstand te komen dan bij een voorrangskruispunt. Immers, bij een voorrangskruispunt hoeft het verkeer op de doorgaande richting niet af te remmen.

Een LaRGaS zorgt voor een afname van CO₂-uitstoot ten opzichte van een voorrangskruispunt en een rotonde. Ongeacht het aandeel vrachtverkeer ligt de uitstoot ongeveer 5% lager ten opzichte van een voorrangskruispunt. Dit wordt veroorzaakt doordat links afslaand verkeer een apart opstelvak heeft in deze vormgeving, waardoor doorgaand verkeer ongehinderd kan doorrijden. Ook kan verkeer vanuit de zijrichtingen in twee keer oversteken via het voorrangspein, wat de wachtrijen verkort.

Bovendien valt in de vergelijking tussen de drie vormgevingen op dat er een lineair verband lijkt te bestaan tussen het aandeel vrachtverkeer en de toename van de CO₂-uitstoot. De CO₂-uitstoot van een vrachtwagen ligt gemiddeld ongeveer vier keer hoger dan die van een personenauto. Bij een rotonde ligt de bijdrage van een vrachtwagen ten opzichte van een personenauto iets hoger dan deze factor vier. Een vergelijkbaar beeld als voor CO₂ is zichtbaar bij de uitkomsten van de NO_x- en PM10-berekeningen. Wat hierin wel opvalt is dat bij een toename van 5% vrachtverkeer de extra NO_x-uitstoot bijna verdubbelt (gemiddeld 83%). Vrachtverkeer heeft in alle gevallen een NO_x-uitstoot die ongeveer negen keer hoger ligt dan de uitstoot van personenverkeer. Voor de absolute aantallen en de tabellen die geïndexeerd zijn op een situatie zonder vrachtverkeer verwijzen we naar bijlage 1.

NO _x -uitstoot		Voorrang	Enkelstrooks	LaRGaS
Alleen autoverkeer		100	105	96
Vrachtverkeer	5%	100	110	96
	10%	100	112	97
	15%	100	113	97
	20%	100	113	97
	25%	100	115	98

Tabel 2: NO_x-uitstoot voor voorrangskruispunt, rotonde en LaRGaS

PM10-uitstoot		Voorrang	Enkelstrooks	LaRGaS
Alleen autoverkeer		100	105	94
Vrachtverkeer	5%	100	107	95
	10%	100	109	95
	15%	100	111	96
	20%	100	112	95
	25%	100	113	97

Tabel 3: PM10-uitstoot voor voorrangskruispunt, rotonde en LaRGaS

Conclusie

Uit de simulaties blijkt dat een LaRGaS resulteert in de minste uitstoot, voor zowel CO₂, NO_x en PM10. Ten opzichte van een regulier voorrangskruispunt neemt de uitstoot gemiddeld met 3-5% af. Een enkelstrooksrotonde leidt juist tot gemiddeld 10-15% meer uitstoot. Deze verschillen kunnen worden verklaard door het aandeel verkeer dat als gevolg van de verkeersafwikkeling op het kruispunt gedwongen wordt af te remmen en vervolgens weer op moet trekken. Bij een rotonde geldt dit voor al het verkeer. Op een voorrangskruispunt wordt doorgaand verkeer incidenteel nog 'gehinderd' door links afslaand verkeer dat de doorgaande rijstrook blokkeert. In de LaRGaS is ook deze blokkerende factor van afslaand verkeer weggenomen door de aanwezigheid van een kort linksaf-opstelvak. Doorgaand verkeer hoeft daardoor niet voor dit verkeer te stoppen. Wel moet doorgaand verkeer iets afremmen omwille van de vormgeving van de LaRGaS waarbij verkeer wordt gedwongen met een lagere snelheid te passeren.

Uitstoot		Voorrang	Enkelstrooks	LaRGaS
CO ₂	-		10%	-5%
NO _x	-		13%	-3%
PM10	-		10%	-5%

Tabel 4: Gemiddeld verschil in uitstoot van een enkelstrooksrotonde en LaRGaS t.o.v. een voorrangskruispunt

4.2 Groot kruispunt – VRI, iVRI en turborotonde

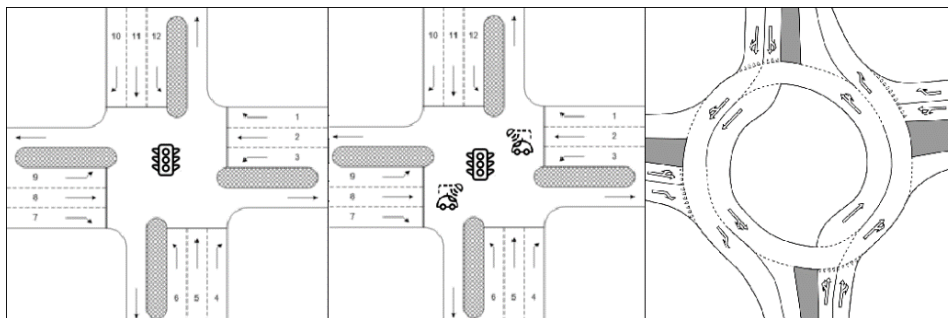
Nulsituatie

Een groot kruispunt met verkeerslichten (VRI).

Alternatieve maatregel

Voor een groot kruispunt zijn twee verschillende alternatieven doorgerekend:

- Een geregeld kruispunt met iVRI (een 'slimmer verkeerslicht', het Gouden Regelen²). Hierbij focussen we op een optimale doorstroming, omdat dit de voornaamste reden is om een iVRI te installeren;
- Een turborotonde – De turborotonde is een speciaal vormgegeven tweestrooksrotonde waar voor het oprijden de juiste rijstrook wordt gekozen, zodat er op de rotonde geen weef- en snijconflicten meer voorkomen.



Figuur 3: Illustratief voorbeeld van VRI-geregeld kruispunt, een kruispunt met iVRI en een turborotonde

Onderstaande tabel toont de CO₂-uitstoot bij een verschillend aandeel vrachtverkeer. De VRI-variant is geïndexeerd op 100. Als invloedgebied is een straal van 250 meter rondom het kruispunt gehanteerd.

CO ₂ -uitstoot	VRI	iVRI	Turborotonde
Alleen autoverkeer	100	101	77
Vrachtverkeer 5%	100	102	83
10%	100	102	87
15%	100	103	91
20%	100	102	94
25%	100	103	95

Tabel 5: CO₂-uitstoot voor VRI, iVRI en turborotonde

Resultaten

De iVRI heeft een wat hogere CO₂-uitstoot dan een reguliere VRI (gemiddeld 2% meer). Dit komt doordat de gesimuleerde iVRI als doel heeft de totale doorstroming te verbeteren. Dit gebeurt ook: een gemiddeld voertuig heeft bijna 5% minder verliestijd bij de variant met de iVRI ten opzichte van de VRI. Bij een onbelaste situatie zal de iVRI de hoofdrichting wat vaker op rood zetten ten gunste van andere weggebruikers en verkeer op de zijweg. Dit bevordert de doorstroming van de zijrichtingen, maar is nadelig voor de uitstoot. Ten aanzien van uitstoot zal een iVRI meer voordeel bieden in een situatie waarbij de intensiteit tegen de capaciteit aan zit. In een dergelijke situatie kan met behulp van een iVRI net dat beetje extra capaciteit worden geboden waardoor wachtrijen beperkt kunnen worden en auto's wat minder vaak hoeven te stoppen met minder uitstoot tot gevolg.

² Zie ook <https://www.goudappel.nl/ivris-het-gouden-regelen/>

Slimme verkeersregelingen geven overigens in potentie ook mogelijkheden om niet op doorstroming (van autoverkeer) te optimaliseren, maar voor andere modaliteiten of zelfs uitstoot.

De turborotonde heeft bij een laag aandeel vrachtverkeer een veel lagere uitstoot (23% minder ten opzichte van een VRI). Dit komt doordat verkeer bij een VRI vrijwel altijd eenmalig tot stilstand moet komen en bij een turborotonde vaak zonder volledig tot stilstand te komen kan doorrijden. Wel dient hierbij te worden opgemerkt dat in dit onderzoek naar een onverzadigde situatie is gekeken (geen structurele wachtrijvorming), die voor veel kruispunten het best te vergelijken is met een situatie buiten de ochtend- en avondspits.

In een meer verzadigde situatie is de verwachting dat het verschil in uitstoot tussen de turborotonde en de VRI zal afnemen.

NO _x -uitstoot	VRI	iVRI	Turborotonde
Alleen autoverkeer	100	101	64
Vrachtverkeer 5%	100	110	96
10%	100	112	97
15%	100	113	97
20%	100	113	97
25%	100	115	98

Tabel 6: NO_x-uitstoot voor VRI, iVRI en turborotonde

PM10-uitstoot	VRI	iVRI	Turborotonde
Alleen autoverkeer	100	101	75
Vrachtverkeer 5%	100	102	82
10%	100	102	86
15%	100	103	89
20%	100	102	92
25%	100	103	94

Tabel 7: PM10-uitstoot voor VRI, iVRI en turborotonde

Net als bij de kleine kruispuntvormgevingen valt ook hier op dat er een verband bestaat tussen het aandeel vrachtverkeer en de totale uitstoot. Ook bij deze

grote kruispuntvormen is dit verband zichtbaar. Bij een VRI stoot een vrachtwagen gemiddeld drie keer zoveel CO₂ en PM10 uit dan een personenauto. Bij een turborotonde ligt deze factor aanzienlijk hoger. In dat geval stoot een vrachtwagen ongeveer vier keer zoveel CO₂ en PM10 uit dan een personenauto. Bij NO_x ligt de uitstoot respectievelijk zelfs 13 tot 15 keer hoger.

Een verklaring hiervoor kan meest waarschijnlijk worden gevonden in het 'karakter' van de wachtrij. Bij een VRI komt een voertuig eenmalig tot stilstand en trekt daarna bij groen licht weer op. Bij een rotonde is zowel op het kruisingsvlak als in de wachtrij sprake van veel meer kleine optrekbewegingen. Bovendien moet vrachtverkeer op een rotonde gemiddeld gezien afremmen tot lagere snelheden om de bochtstraal te kunnen nemen. Deze bewegingen wegen zwaarder door in uitstootcijfers voor vrachtverkeer dan voor autoverkeer.

Conclusie

Voor drie grote kruispuntvormgevingen is de uitstoot door verkeer in beeld gebracht. Hieruit volgt dat een turborotonde resulteert in de minste uitstoot. Ten opzichte van een reguliere verkeersregeling neemt de uitstoot gemiddeld met 5-13% af. Een turborotonde lijkt vooral op relatief rustige momenten (buiten de spits) en met een laag aandeel vrachtverkeer in aanzienlijk minder uitstoot te resulteren dan een VRI (tot wel 25-35% minder uitstoot). Op drukke momenten en met een hoger aandeel is het aannemelijk dat de uitstoot op een turborotonde dichter bij die op een VRI komt te liggen.

Uitstoot	VRI	iVRI	Turborotonde
CO ₂	-	2%	-11%
NO _x	-	12%	-5%
PM10	-	2%	-13%

Tabel 8: Gemiddeld percentage in uitstoot voor VRI, iVRI en turborotonde

Een iVRI resulteert in deze studie in een kleine toename in uitstoot ten opzichte van de reguliere VRI. Hier spelen twee factoren een rol die de uitstoot bij een iVRI positief kunnen beïnvloeden. In deze studie is een iVRI gesimuleerd die is

geoptimaliseerd voor de doorstroming van het verkeer. Dit leidt er in dat geval toe dat er weliswaar zo'n 5% meer capaciteit kan worden geboden, maar dat auto's gemiddeld gezien wel net iets meer uitstoten. Optimalisatie van de regeling op andere doelen, zoals uitstoot, kan dit resultaat positief beïnvloeden. Bovendien zal een dergelijke iVRI op drukke momenten minder wachtrijvorming kennen doordat er een wat hogere capaciteit gehaald wordt. Dit betekent dat met name in de spitsen een positief effect op de CO₂-uitstoot mag worden verwacht.

4.3 Ongelijkvloerse kruisingen

Nulsituatie

Een VRI-geregeld kruispunt en een spoorwegovergang met acht keer per uur een trein (bijvoorbeeld twee stoptreinen en twee Intercity's per richting), waardoor de spoorwegovergang 120 seconden lang gesloten is.

Alternatieve maatregelen

- De spoorwegovergang is vervangen door een ongelijkvloerse kruising waardoor verkeer ongehinderd kan doorrijden.
- Het VRI-geregelde kruispunt is vervangen door een ongelijkvloerse kruising, waarbij de dominante verkeersstroom nu ongehinderd doorgang heeft;



Figuur 4: Voorbeeld van een ongelijkvloerse kruising met een spoorwegovergang

Resultaten

Ongelijkvloerse kruising spoorwegovergang

Het invloedgebied is een straal van 150 meter rondom de spoorwegovergang. De resultaten zijn weergegeven in tabel 9, waarbij de uitstoot in de gelijkvloerse situatie op 100 is geïndexeerd.

Ongeacht het percentages aandeel vrachtverkeer zorgt een ongelijkvloerse kruising voor een afname van gemiddeld 21% voor alle drie soorten uitstoot. Bij een hoger aandeel vrachtverkeer wordt gemiddeld gezien een grotere absolute afname in uitstoot gezien in de ongelijkvloerse variant. Dit komt doordat juist vrachtverkeer meer uitstoot genereert bij het wegrijden uit stilstand dan personenverkeer. Deze optrekbeweging wordt door een ongelijkvloerse variant voorkomen. Niet al het verkeer bij een ongelijkvloerse spoorwegovergang heeft baat bij een ongelijkvloerse kruising, omdat in de reguliere situatie ook niet al het verkeer hoeft te stoppen in afwezigheid van een trein.

Uitstoot		CO ₂	NO _x	PM10
Alleen autoverkeer	100	79	78	79
Vrachtverkeer	5%	100	77	78
	10%	100	78	78
	15%	100	79	80
	20%	100	80	80
	25%	100	81	81

Tabel 9: Uitstoot van CO₂, NO_x en PM10 voor een gelijkvloerse en ongelijkvloerse spoorwegkruising

Ongelijkvloerse passage VRI

In de berekeningen is een straal van 250 meter rondom het VRI-geregelde kruispunt als invloedgebied genomen. Tabel 10 toont de resultaten, waarbij de gelijkvloerse situatie op 100 is geïndexeerd. De resultaten zijn vergelijkbaar met die voor een ongelijkvloerse spoorwegovergang. Enerzijds heeft in deze variant minder verkeer een conflictvrije stroom, omdat enkel doorgaand verkeer zonder stoppen kan passeren. De gemiddelde afname in CO₂-uitstoot is 20%.

Uitstoot		CO ₂	NO _x	PM10
Alleen autoverkeer	100	77	69	78
Vrachtverkeer	5%	100	79	80
	10%	100	80	81
	15%	100	81	82
	20%	100	82	83
	25%	100	83	83

Tabel 10: Uitstoot van CO₂, NO_x en PM10 voor een VRI-geregeld kruispunt en ongelijkvloerse kruising

Conclusie

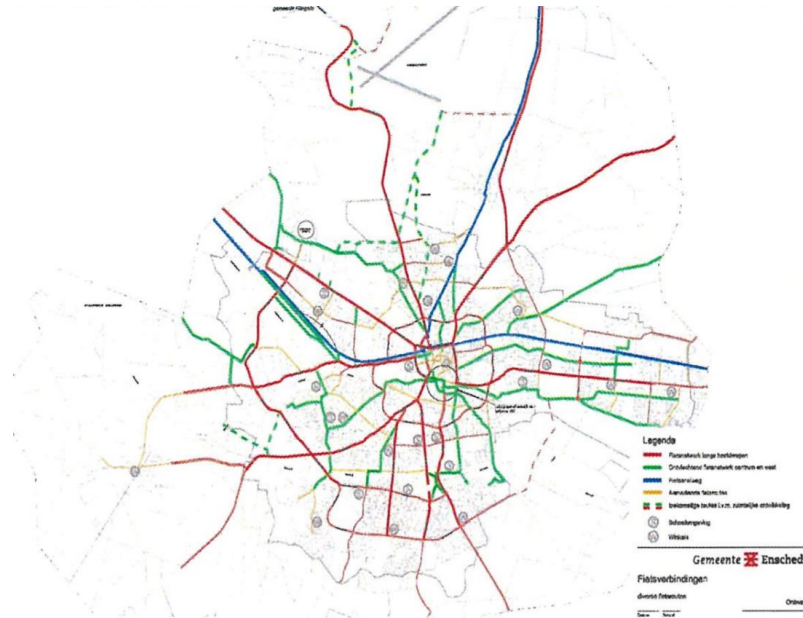
Gemiddeld gezien resulteert een ongelijkvloerse passage in een afname in uitstoot van zo'n 20%. Het aandeel vrachtverkeer is hierop slechts beperkt van invloed. Wat wel sterk van invloed is op de uitstoot is de hoeveelheid verkeer waarvoor de ongelijkvloerse verbinding leidt tot wegname van een stop. In beide onderzochte varianten was sprake van een aandeel van 25-30% verkeer dat in de basisvariant wel tot een stop moest komen en in de ongelijkvloerse variant niet meer. Op basis van deze gegevens kan worden geconcludeerd dat een ongelijkvloerse passage circa 65-80% van de uitstoot van het te beïnvloeden verkeer kan bewerkstelligen. Algemeen verwoord: De uitstoot van een voertuig ligt gemiddeld 3-5 keer hoger op een kruispunt dan in een ongehinderde situatie. Zoals ook in voorgaande hoofdstukken inzichtelijk is gemaakt, speelt de vormgeving van het kruispunt hierbij een rol.

Opgemerkt moet worden dat de resultaten in werkelijkheid minder hoog zullen liggen, omdat een flinke verkeersverbetering, zoals een gelijkvloerse aansluiting, ook weer extra verkeer aantrekt. Zoals in de afbakening vermeld, is dat effect in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.

4.4 Fietsinfrastructuur

Voorbeeldcasus Enschede

De gemeente Enschede heeft sinds 2012 ingezet op de aanleg van een compleet nieuw ontvlochten hoofd fietsrouten netwerk, gecombineerd met de aanleg van fietsstraten. In combinatie met campagnes, claimt Enschede in de publicatie *Succes- en faalcases F10* een stijging van 10 tot 20% fietsverkeer op de hoofd fietsroutes en een afname van intern autoverkeer.



Figuur 5: Plattegrond met fietsverbindingen voorbeeldcasus Enschede

We hebben deze trend proberen te toetsen en te duiden door middel van OViN-data (Onderzoek Verplaatsingen in Nederland). Hierbij hebben we gekeken naar

de ontwikkeling van het interne fiets- en autoverkeer in de jaren 2012 – 2017. Als referentie hebben we gekeken naar de ontwikkeling van de gemiddelden van de modal split van een vijftal referentiegemeenten: Arnhem, Dordrecht, Hengelo, Tilburg en Zaanstad. Deze gemeenten hebben allen meerdere overeenkomsten met de gemeente Enschede als het gaat om inwoneraantal, bevolkingsdichtheid, oppervlakte, gemiddeld jaarinkomen en geografische ligging.

De trend van vermindering van het autoverkeer blijkt niet significant waarneembaar bij de gemeente Enschede. Evenmin is er sprake van een (positief) afwijkende trend ten opzichte van de referentiegemeente. De gemeente Enschede geeft aan dat de metingen deels afkomstig zijn van hun eigen Mobiliteitsscan, waarin ook eigen metingen worden gedaan. Het aantal sterk vertraagde ritten wordt met behulp van deze Mobiliteitsscan bepaald op basis van het aantal gerealiseerde spitsmijdingen. Met behulp van de watervalmethode, waarin de meetmethode wordt gefocust op een geselecteerde doelgroep (in dit geval spitsmijders), kan het aantal spitsmijdingen voor stedelijk Enschede worden berekend.

Basis voor het berekenen van het aantal spitsmijdingen met de watervalmethode is de modal shift: het aantal autoverplaatsingen in de spits dat een fietsverplaatsing is geworden. Voor de modal shift zijn meerdere bronnen mogelijk: SMART, OViN en fietspeiling EnschedePanel. Om het verwachte aantal spitsmijdingen in te schatten, is gebruik gemaakt van een modal shift op basis van de fietspeiling onder het EnschedePanel, een panel van ruim 3.500 inwoners van Enschede. Omdat deze, in tegenstelling tot SMART en OViN, voor 2015 (nulmeting) en 2017 (éénmeting) beschikbaar is, wordt deze bron gebruikt voor de modal shift. Daarnaast is de groep respondenten van het EnschedePanel

representatiever dan die van SMART en is volgens de gemeente vanuit het EnschedePanel een volledige modal split beschikbaar.

Voor woon-werkverkeer gaat de modal split van de fiets plus elektrische fiets volgens de gemeente Enschede van 59% naar 57%. Het aandeel van de auto neemt echter ook af, van 37% naar 36%. Omdat het om het realiseren van spitsmijdingen gaat, lijkt het aandeel van de auto in verplaatsingen een betere indicator dan het aandeel fiets. Een afname van 1 procentpunt is een afname van 2,7% in het aantal woon-werk autoverplaatsingen van, naar en binnen Enschede in de spits die potentieel gemeden kunnen worden. Wanneer de watervalmethode wordt gevolgd, zijn dat 10.420 autoverplaatsingen.

Het woon-overig verkeer bestaat uit meerdere reismotieven, bijvoorbeeld sociaal-recreatief of woon-werkverkeer. Gemiddeld gaat het aandeel van de auto voor deze motieven van 39,2% naar 36,0%. Dat wordt vertaald in een afname van 8,1% van het aantal autoverplaatsingen van, naar en binnen Enschede in de spits die potentieel gemeden kunnen worden. Dit zijn 8709 verplaatsingen.

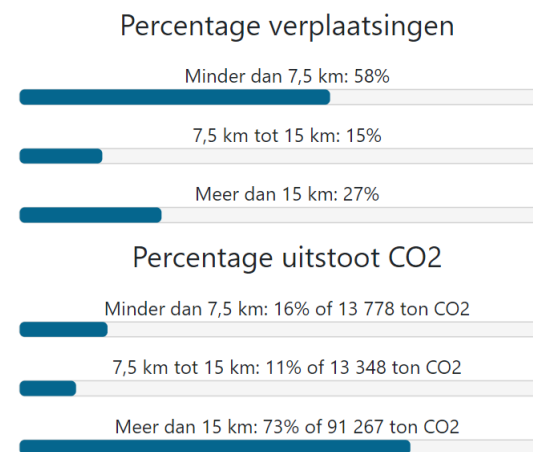
In totaal gaat het dus om 19.129 vermeden autoritten, aldus de gemeente Enschede. We gaan er hierbij vanuit dat de vermeden ritten vooral interne ritten betreft. De interne autoritten hebben een gemiddelde lengte van 6,2 kilometer (op basis van OViN-data 2012 – 2017). We gaan daarom uit van 123.504 vermeden kilometers, hoewel dit in de praktijk waarschijnlijk minder zal zijn. De meeste vervangen autoritten zullen op kortere afstand zijn. Op basis van de tank-to-wheel-emissies uit www.co2emissiefactoren.nl (auto, brandstofsoort onbekend (0,163 gram CO₂ per voertuigkilometer)) schatten we de bespaarde CO₂ op basis van de door de gemeente aangeleverde cijfers in op ruim 20.000 gram (20 kg) CO₂, bijna 30.000 gram (30 kg) NO_x, en ruim 1200 gram (1,2 kg) PM10.

³ De tool www.uitstootvanmobiliteit.nl geeft inzicht in de uitstoot van mobiliteit van aangesloten gemeenten. Ook kan met een dashboard gekeken worden welke maatregelen effect hebben op de modal split, het aantal verplaatsingen en de bespaarde CO₂.

Conclusie

De inspanningen die de gemeente Enschede heeft gedaan op het gebied van fietsverkeer leveren volgens een *quick and dirty* analyse aan uitstoot weinig winst op. Ter vergelijking: een gemiddelde boom neemt per jaar 20 kg CO₂ op, vergelijkbaar met de geschatte winst als resultaat van de door Enschede behaalde modal shift.

Het resultaat is vergelijkbaar als we kijken naar de resultaten van de gemeente Enschede in het dashboard in de tool Uitstoot van Mobiliteit.³ Daaruit blijkt ook dat een forse modal shift op de korte afstand van de auto naar de fiets een relatief beperkte CO₂-winst oplevert. Dit is niet verrassend als we kijken naar de factsheet in het dashboard, waaruit blijkt dat 27% van de ritten gerelateerd aan de gemeente Enschede boven de 15 kilometer is. Deze zijn echter verantwoordelijk voor 73% van de CO₂-uitstoot.



Figuur 6: Percentage verplaatsingen en CO₂-uitstoot voorbeeldcasus Enschede

Puur kijkend naar uitstoot over een groter gebied heeft inzetten op fietsbeleid een beperkt effect. Figuur 6 toont aan dat afstanden van 15 kilometer of meer zorgen voor driekwart van de CO₂-uitstoot. Het loont meer om beleidsinspanningen op het gebied van uitstootreductie in te zetten op de langere verplaatsingen (denk bijvoorbeeld aan de elektrificatie van personenvervoer). Dit betekent echter niet dat een goed fietsbeleid geen zin kan hebben voor de (plaatselijke) luchtkwaliteit.

Met name rond goede fietscorridors en in wijken die op fietsafstand liggen van bijvoorbeeld stations of winkelcentra, is het heel goed mogelijk om een forse modal shift te behalen en daarmee de luchtkwaliteit op die specifieke plekken te verbeteren. Dit hangt echter sterk af van de plaatselijke situatie. Daarnaast hangt fietsinfrastructuur vaak samen met een totaalpakket aan maatregelen, zoals gratis toegang tot fietsenstallingen, inzetten op gedragsmaatregelen en innovatieve apps die zorgen dat fietsers vaker voorrang krijgen in het verkeer. Ook heeft meer fietsen een positief effect op gezondheid, welzijn, ruimte en sociale cohesie. Deze effecten vallen weliswaar buiten de scope van deze studie, maar zijn onverminderd aanwezig.

4.5 Groene golf

Bij een groene golf zijn meerdere verkeerslichten gekoppeld. Hiermee kan een doorgaande stroom over een streng (een serie wegvakken) rijden zonder te stoppen. Het aantal stops, en daarmee ook het aantal optrekbewegingen wordt hierdoor geminimaliseerd voor doorgaand verkeer. Omdat optrekken een belangrijke bron van uitstoot is, is de verwachting dat een groene golf een afname van uitstoot tot gevolg heeft.

Om de uitstooteffecten van een groene golf in beeld te krijgen, is gekozen voor de Maasboulevard in Rotterdam die sinds 2006 een erg goed presterende groene golf kent. Tussen het kruispunt met de Burgemeester Oudlaan en het kruispunt Schiedamsedijk ligt een groene golf. Doordat de tussenliggende kruispunten niet complex zijn (het zijn voornamelijk T-aansluitingen) is dit in de praktijk een goed functionerende groene golf. De gesimuleerde spits is een avondspits, waarbij er ongeveer 9200 motorvoertuigen per uur over het netwerk gaan, waarvan 3% vrachtverkeer is.



Figuur 7: Locatie groene golf aan de Maasboulevard in Rotterdam

De situatie op de Maasboulevard is ook daadwerkelijk doorgemeten zonder groene golf. Met het instellen van de groene golf blijkt de doorstroming beduidend te zijn verbeterd, blijkt uit onderzoek.

In tabel 11 wordt de vergelijking gemaakt tussen de reguliere situatie en met een groene golf. Het reguliere traject is geïndexeerd op 100. De tabel laat zien dat de uitstoot met ongeveer 2% afneemt als gevolg van de groene golf. Dit lijkt weinig. Immers, door de groene golf kan het doorgaande verkeer op de Maasboulevard bij nagenoeg alle kruispunten doorrijden zonder te stoppen, waaruit geconcludeerd zou kunnen worden dat de uitstoot aanzienlijk zou verminderen. Echter geldt ook dat een groene golf bij kruispunten, solitair beschouwd, het verkeer niet optimaal regelt. Verkeer van en naar de zijrichtingen staat langer te wachten dan wanneer kruispunten zonder groene golf het verkeer regelen. Dit zorgt weer voor een toename aan uitstoot. Bij elkaar zorgt dit ervoor dat de afname in uitstoot 'slechts' 2% is.

Bij deze maatregel moet een kanttekening worden gemaakt. Bij bovenstaande modelberekeningen is enkel gekeken naar de doorstroming van het autoverkeer. Er is geen rekening gehouden met beleidsmatige keuzes, zoals het voorrang verlenen aan fietsers of openbaar vervoer. Indien gemeenten de modal shift van het autoverkeer willen reduceren, kan het juist interessant zijn om de fiets en het openbaar vervoer voorrang te geven i.p.v. het inzetten van een groene golf.

Uitstoot	Regulier	Groene golf
CO ₂	100	98
NO _x	100	98
PM10	100	98

Tabel 11: Uitstoot van CO₂, NO_x en PM10 voor een reguliere situatie en situatie met een groene golf

4.6 Prioriteren vrachtverkeer

Er zijn verschillende methodes waarmee een verkeersregeling prioriteit kan toekennen aan vrachtverkeer:

- Groen verlengen – Hierbij laat de verkeersregeling een richting op groen staan als er tijdens de groenfase een prioriteitsaanvraag is, in dit geval aanbod van vrachtverkeer.
- Afkappen conflicterende richtingen – Mocht er een prioriteitsaanvraag door vrachtverkeer zijn tijdens rood, kan een verkeersregeling conflicterende richtingen afkappen waardoor deze richtingen sneller naar rood gaan en de richting met een prioriteitsaanvraag sneller op groen kan komen.
- Extra groen – Een verkeersregeling kan ook de richting met een prioriteitsaanvraag een extra realisatie (extra groen licht) geven. Hierdoor kan deze richting nog sneller naar groen komen, zeker als conflicterende richtingen afgekapte worden.

Door deze prioriteitsmaatregelen te combineren, ontstaan er vier prioriteitsniveaus, zoals onderstaande tabel laat zien.

	Groen verlengen	Afkappen conflicterende richtingen	Extra groen
Geen prioriteit	✘	✘	✘
Niveau 1	✔	✘	✘
Niveau 2	✔	✔	✘
Niveau 3	✔	✘	✔
Niveau 4	✔	✔	✔

Tabel 12: Rangschikking van prioriteitsniveaus verkeer

Resultaten

De vijf verschillende scenario's zijn wederom gesimuleerd met stapsgewijze aandelen vrachtverkeer in stappen van 5%. Het invloedgebied gebied is gesteld op 500x500m. Onderstaande tabel laat de CO₂-uitstoot zien waarbij de situatie zonder prioriteit is geïndexeerd op 100. Omdat de verschillende prioriteitsmaatregelen dan geen invloed hebben (deze worden pas geactiveerd bij aanbod van vrachtverkeer), hebben alle varianten bij 0% vrachtverkeer dezelfde hoeveelheid uitstoot.

CO ₂ -uitstoot	Geen prio	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	
Alleen autoverkeer	100	100	100	100	100	
Vrachtverkeer	5%	100	99	99	97	97
	10%	100	99	99	96	96
	15%	100	99	98	95	95
	20%	100	99	99	95	95
	25%	100	99	98	95	95

Tabel 13: CO₂-uitstoot per prioriteitsniveau

Conclusie

Bij een hoger vrachtpercentage neemt de CO₂-uitstoot minder toe, naarmate er sprake is van een hoger level van prioritering van het vrachtverkeer. De meeste winst is te behalen bij level 3 en 4. Daar is de CO₂-uitstoot met vrachtverkeer 3 tot 5% minder dan als er geen prioriteitsmaatregelen zijn. Er zit daarin geen verschil tussen de prioriteitslevels. Bij een hoger vrachtpercentage blijft de te behalen winst ongeveer gelijk. Dit komt doordat er bij veel vrachtverkeer dusdanig veel prioriteitsaanvragen zijn dat ze elkaar kunnen gaan tegenwerken. Een reductie van 5% in CO₂-uitstoot is dus het maximale wat te behalen valt.

Kijkend naar de andere vormen van uitstoot, is een vergelijkend beeld te zien. Bij NO_x is de maximale reductie ongeveer 9% en bij PM10 is de reductie maximaal 5%.

NO _x -uitstoot	Geen prio	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
Alleen autoverkeer	100	100	100	100	100
Vrachtverkeer 5%	100	98	97	92	93
10%	100	99	98	91	91
15%	100	99	97	91	91
20%	100	97	97	91	91
25%	100	98	97	92	91

Tabel 14: NO_x-uitstoot per prioriteitsniveau

PM10-uitstoot	Geen prio	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
Alleen autoverkeer	100	100	100	100	100
Vrachtverkeer 5%	100	99	99	97	97
10%	100	99	99	96	96
15%	100	99	99	95	95
20%	100	99	98	95	95
25%	100	99	98	95	95

Tabel 15: PM10-uitstoot per prioriteitsniveau

De uitstoot van vrachtverkeer is natuurlijk op verschillende manieren te beïnvloeden. Denk hierbij aan het instellen van milieuzones en/of het aansluiten bij de Green Deal Zero Emissie Stadslogistiek, waarbij stadkernen in 2025 emissievrij bevoorrad worden. Dit zijn echter beleidsmaatregelen die buiten de scope van deze studie vallen. Een gevolg van deze maatregel kan wel zijn dat vrachtverkeer van buiten de stad naar de distributiecentra aan de randen van de stad kan profiteren van bovengenoemde maatregel.

4.7 Snelheidsverlaging

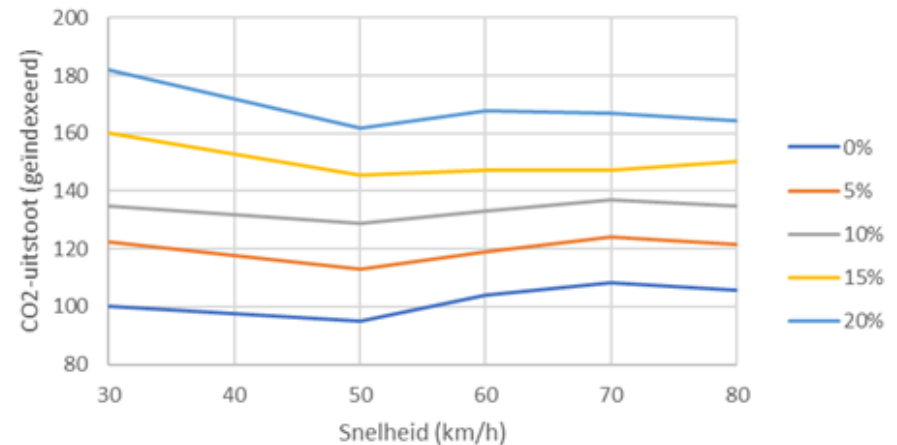
Om het effect van een snelheidsverlaging in beeld te brengen, is een wegvak van 1 kilometer lang gesimuleerd. De intensiteit is 1000 PAE⁴/uur. In figuur 8 staat de CO₂-uitstoot per voertuigkilometer bij verschillende snelheden en percentages vrachtverkeer. Hierbij is de 30km/h-variant geïndexeerd op 100.

Hieruit is op te merken dat, ongeacht het vrachtpercentage, de CO₂-uitstoot bij een gemiddelde snelheid van 50 km/h het laagst is. Een lokaal maximum zit bij een snelheid van 70 km/h, met name bij een lager aandeel vrachtverkeer.

Over de precieze werking en oorzaken van uitstoot bij lagere snelheden zijn overigens weinig studies bekend. De studies die er zijn, concentreren zich vooral op hogere snelheden (100 km/h en hoger). Wel weten we dat een snelheid van ongeveer 70 km/h het optimum is waar de meeste auto- en motorenfabrikanten zich op richten. Rond deze snelheid is het samenspel tussen auto, motor en nabehandelingssysteem van emissies het meest ideaal. Bij lagere snelheden is er sprake van meer dynamiek en wordt er eerder teruggeschakeld. De bouw van de auto en de motor ligt er dus aan ten grondslag dat dit de meest optimale snelheid is. Bij snelheden boven de 70 km/h neemt de luchtweerstand toe en verdwijnt het optimum weer. Bij vrachtverkeer zien we een vergelijkbaar effect. Bij hogere vrachtpercentages (15% of hoger) zorgt een gemiddelde snelheid van 30 km/h tot 10% meer uitstoot dan bij een snelheid van 50 km/h of meer.

Bij snelheidsverlaging spelen ook andere zaken een rol, zoals het verbeteren van de doorstroming en verkeersveiligheid. Bovendien wordt een eventuele verschuiving in de modal split naar de fiets (omdat dit eventueel een sneller en aantrekkelijker alternatief wordt) niet in deze scope meegenomen.

⁴ PAE: PersonenAutoEquivalent. Een personenauto heeft waarde 1, een gewone vrachtauto waarde 1,5, vrachtwagen met aanhanger 2,3, een bus 2 en een motor 0,4



Figuur 8: CO₂-uitstoot per percentages vrachtverkeer per snelheid (km/h)

Voor de uitstoot van NO_x geldt bij alle vrachtpercentages een optimum bij een snelheid van 50 km/h. Gemiddeld is de uitstoot van NO_x 25% minder bij een snelheid hoger dan 30km/h.

CO ₂ -uitstoot	30	50	60	70	80
Alleen autoverkeer	100	95	104	108	106
Vrachtverkeer 5%	100	93	97	101	99
10%	100	96	99	102	100
15%	100	91	92	92	94
20%	100	89	92	92	90

Tabel 16: CO₂-uitstoot per snelheid (km/h) voor autoverkeer en verschillende percentages vrachtverkeer

NO _x -uitstoot	30	50	60	70	80
Alleen autoverkeer	100	85	77	85	92
Vrachterverkeer 5%	100	82	68	75	75
10%	100	87	74	79	79
15%	100	79	66	66	68
20%	100	77	69	68	66

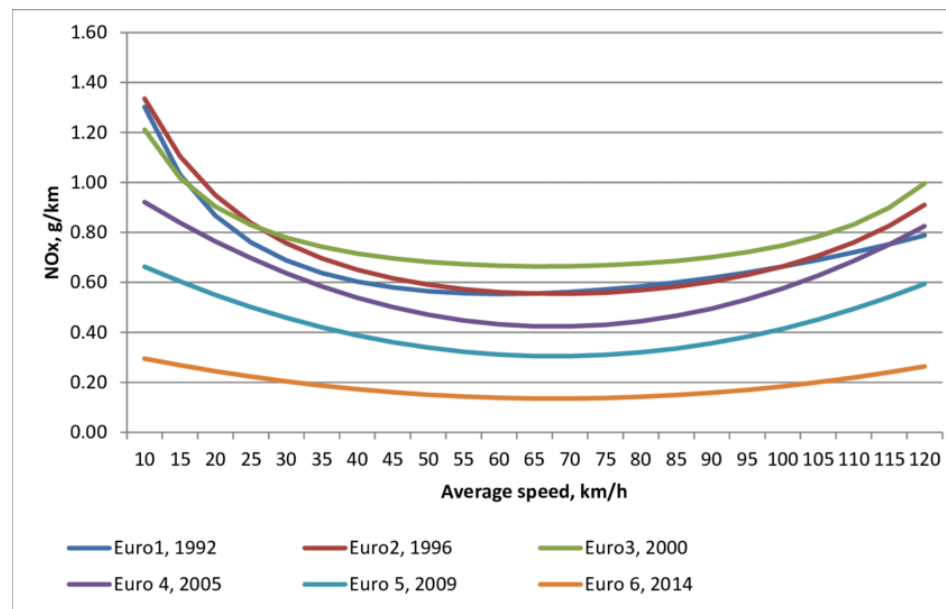
Tabel 17: NO_x-uitstoot per snelheid (km/h) voor autoverkeer en verschillende percentages vrachterverkeer

PM10-uitstoot	30	50	60	70	80
Alleen autoverkeer	100	95	105	110	115
Vrachterverkeer 5%	100	96	100	104	108
10%	100	96	100	104	107
15%	100	91	91	91	97
20%	100	89	92	92	95

Tabel 18: PM10-uitstoot per snelheid (km/h) voor autoverkeer en verschillende percentages vrachterverkeer

Geconcludeerd kan worden dat een snelheidsverlaging naar 50 km/h een positief effect heeft op de uitstoot van CO₂ en PM10, maar een lagere snelheid juist een veel nadeliger effect op de uitstoot van NO_x heeft.

Voor NO_x-uitstoot geldt dat deze erg ongunstig is bij lagere snelheden. Het optimum ligt bij ongeveer 60 km/h. Daarna neemt de uitstoot weer iets toe, maar blijft gunstiger ten opzichte van 30 km/h. Dit komt overeen met eerdere studies rond stikstofuitstoot, zoals figuur 9 laat zien.



Figuur 9: Stikstofuitstoot van verschillende typen dieselmotoren bij verschillende snelheden

De resultaten zijn voor een extra validatie overlegd met TNO die verantwoordelijk is voor de brondata die gebruikt wordt in de EnViVer-module. Ook zij herkennen de 'badkuip' die we zien in de verschillende grafieken en verwijzen onder meer naar hun notitie *Uitstoot van auto's bij snelheden hoger dan 120 km/u* opgesteld in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu. Hierin wordt ook (kort) ingegaan op emissies van motorvoertuigen bij lagere snelheden.

Snelheidsverlaging heeft vanzelfsprekend ook andere positieve effecten. Denk hierbij aan de verkeersveiligheid en doorstroming. Ook kan snelheidsverlaging zorgen voor een (lokale) modal shift, waardoor indirect snelheidsverlaging toch een positief effect kan hebben op de uitstoot. Deze effecten zijn in deze studie niet meegenomen.



5. Conclusie

Het voorgaande verkennende onderzoek 'Reductie van CO₂-uitstoot wegverkeer door aanpassingen in wegontwerp' concludeerde dat er een grote slag te slaan is in de exploitatiefase. Een aanbeveling voor vervolgonderzoek was om de onderzochte maatregelen te kwantificeren, om mede richting te geven aan het prioriteren van maatregelen. Zodoende worden gemeenten in staat gesteld de orde-grootte van CO₂-besparing van verschillende typen wegontwerp tegen elkaar af te zetten.

Een nadere analyse toonde aan dat niet alle maatregelen zich lenen om te kwantificeren. In sommige gevallen is de contextafhankelijkheid te groot om onderbouwde uitspraken te kunnen doen. Om toch onderbouwde argumenten te kunnen geven en bij te dragen in de prioritering van maatregelen, zijn een aantal aannames gedaan. Voorbeelden hiervan zijn de relatief kleine scope van de simulaties (de omgeving van het wegontwerp) en het feit dat is uitgegaan van een onverzadigde situatie in plaats van overbelasting. Kijkend naar de afzonderlijke maatregelen kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

Klein kruispunt

De modelberekeningen laten zien dat een enkelstrooksrotonde meer CO₂-uitstoot tot gevolg heeft dan een voorrangskruispunt. Dit komt doordat al het verkeer dat de rotonde nadert, af moet remmen om vervolgens weer op te trekken. Het LaRGaS-principe resulteert in de minste uitstoot, doordat de blokkerende factor (afslaand verkeer) hierbij gebruik kan maken van een opstelvak waardoor de dominante hoofdstroom door kan rijden.

Groot kruispunt

Een turborotonde blijkt tot de minste uitstoot te leiden, voornamelijk wanneer gekeken wordt naar lage intensiteiten en er een laag aandeel vrachtverkeer is. Zodra de intensiteiten en het aandeel vrachtverkeer toenemen, liggen de uitstoot van een VRI-geregeld kruispunt en een turborotonde dicht bij elkaar. Het iVRI-geregelde kruispunt stoot bij hogere intensiteiten (lees: spitsuren) de minste CO₂ uit. Dit komt doordat iVRI-geregelde kruispunten meer capaciteit kunnen verwerken.

Ongelijkvloerse kruisingen

Modelmatig is gebleken dat ongelijkvloerse kruisingen een relatief grote afname van CO₂-uitstoot kennen (20%) ten opzichte van spoorwegovergangen en reguliere (VRI-geregelde) kruispunten. In werkelijkheid zullen de resultaten minder hoog zijn, aangezien verwacht wordt dat deze specifieke maatregel een verkeersaantrekkende werking heeft.

Fietsverkeer

Op basis van de aangeleverde gegevens van de gemeente Enschede zijn er naar schatting ruim 19.000 verplaatsingen van de auto naar de fiets gegaan. Ondanks dat dit een mooi resultaat is, lijkt de reductie van uitstoot beperkt te zijn. Het gaat om ongeveer 20 kg CO₂-besparing wat neerkomt op de opname van één gemiddelde boom. Echter, fietsinfrastructuur moet worden bekeken vanuit een breder beleidsperspectief waar ook bijvoorbeeld fietsenstallingen en fiets-apps een belangrijk onderdeel van uitmaken.

Groene golf

Uit de casus voor de groene golf, met een prioritering voor autoverkeer, blijkt dat de CO₂-uitstoot met ongeveer 2% afneemt. Dit percentage lijkt laag, aangezien het doorgaande verkeer bij alle kruispunten door kan rijden. Echter regelt een groene golf het verkeer op kruispunten niet optimaal. Verkeer uit de zijrichtingen staat vaak wat langer te wachten, met meer CO₂-uitstoot tot gevolg.

Prioriteren vrachtverkeer

Hier is winst te behalen door groen licht voor vrachtwagens te verlengen, conflicterende richtingen af te kappen, extra realisatie en een combinatie van het voorgaande. In de simulaties wordt een maximale CO₂-reductie van 5% behaald bij een aandeel van 10% vrachtverkeer. Neemt dit aandeel toe, dan neemt ook het aantal prioriteitsaanvragen toe waardoor deze elkaar kunnen gaan tegenwerken.

Snelheidsverlaging

Snelheidsverlaging blijkt niet altijd even gunstig te zijn voor de uitstoot. Met het verlagen van de snelheid neemt de uitstoot niet lineair af. Er is bij alle typen uitstoot in meer of mindere mate sprake van een 'badkuipeffect', waarbij het

optimum van het functioneren van auto's en hun motoren ligt tussen de 60 en 80 km/h. Over de exacte oorzaken van uitstootdynamiek bij lagere snelheden is weinig onderzoek. Bovendien moet uitstoot bij snelheidsverlagingen – net als bij de overige maatregelen – gezien worden in verhouding met andere thema's, zoals verkeersveiligheid en doorstroming.

Samenvattend scoren een aantal varianten in onverzadigde situaties erg goed. Dit laat zien dat wegontwerp daadwerkelijk bij kan dragen aan het reduceren van uitstoot. Om gemeenten een betere voorstelling te geven van het effect van een maatregel, zijn meerdere percentages vrachtverkeer doorgerekend in de simulaties. Hiermee is geprobeerd om enigszins maatwerk te bieden, omdat de samenstelling van verkeer in iedere gemeente anders is. Om de vergelijking zo zuiver mogelijk te houden, is gekeken naar onverzadigde situaties. Dit terwijl een overbelaste situatie juist vaak aanleiding is voor een gemeente om een wegontwerp aan te passen. Ook spelen factoren als beleid (bv. duurzame modaliteiten als fiets meer stimuleren), verkeersveiligheid, doorstroming en kosten een rol.

Het baseren van een wegontwerp puur op basis van uitstootreductie rechtvaardigt dan ook niet de aanvullende kosten die dit mogelijk met zich meebrengt. Daarnaast is in dit onderzoek gekeken naar de uitstootreductie van solitaire maatregelen binnen een klein netwerk, terwijl deze maatregelen met elkaar samenhangen in een breder systeem waar ook beleidskeuzes en netwerkmanagement een belangrijk onderdeel van vormen. Het onderzoek heeft aangetoond dat bepaalde wegontwerpen een positief effect kunnen hebben op de uitstoot in de exploitatiefase. Een aanbeveling die we daarom graag meegeven aan gemeenten is om uitstootreductie als wegingsfactor mee te nemen op het moment dat een (bestaand) wegontwerp gereconstrueerd of nieuw aangelegd wordt. Bovenal is het van belang dat we een combinatie van maatregelen inzetten, zowel in het stimuleren van modaliteiten als aandacht voor de aanleg- en exploitatiefase, om gezamenlijk als gemeenten de transitie naar duurzame mobiliteit te bewerkstelligen.

BRONNEN

CBS, Onderzoek Verplaatsingen in Nederland (OVIN), 2012-2017

Emissie van fijnstof per voertuigkilometer (uitlaat) 2017, CBS (<https://www.cbs.nl/nl-nl/maatschappij/verkeer-en-vervoer/transport-en-mobiliteit/energie-en-milieu/milieuaspecten-van-verkeer-en-vervoer/categorie-milieuaspecten/fijnstof>)

Emissie van stikstofoxiden per voertuigkilometer 2017, CBS (<https://www.cbs.nl/nl-nl/maatschappij/verkeer-en-vervoer/transport-en-mobiliteit/energie-en-milieu/milieuaspecten-van-verkeer-en-vervoer/categorie-milieuaspecten/stikstofoxiden>)

Fietsberaad/Koos Louwerse, Succes- en faalcases F10-steden, 31 januari 2020

Fietsersbond, Scorekaart Fietsstad 2020, februari 2020

CVS-paper *Groene golven in Rotterdam: Lucht voor de burger en de binnenstad*, 2006, Will C.G. Clerx en Eric van Dijk (gemeente Rotterdam)

Groenendijk & Van den Berg (2012). *Vlak is duurzaam*. KOAC-NPC.

Richard J. Smithers; The ecological effects of air pollution from road transport: an updated review, februari 2016

Uitstoot van Mobiliteit gemeente Enschede, 2019, Goudappel Coffeng, Dashboard: <https://uitstootvanmobiliteit.nl/dashboard.html?x=153>

Uitstoot van Mobiliteit gemeente Enschede, 2019, Goudappel Coffeng, Factsheet: <https://uitstootvanmobiliteit.nl/factsheet.html?x=153>

Uitstoot van auto's bij snelheden hoger dan 120 km/u, opgesteld 4 april 2016, TNO (<https://publications.tno.nl/publication/34620292/sjR22D/TNO-2016-TL-NOT-0100295342.pdf>)

Meetmethode uitstoot van wegvoertuigen TNO: <https://www.tno.nl/nl/over-tno/dossiers-in-het-nieuws/praktijkemissies-van-wegverkeer/>.

CO₂-emissiefactoren: <https://www.co2emissiefactoren.nl/>

COLOFON

Deze rapportage is opgesteld in opdracht van het Gemeentelijk Netwerk voor Mobiliteit en Infrastructuur (GNMI) en de Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG).



Auteurs

Dit rapport is opgesteld door Casper Prudhomme van Reine en Annabel van Zante (beiden APPM) en Leon Suijs, Vincent Wever en Geert-Jan Wolters (allen Goudappel Coffeng).



Foto voorpagina: Richard van Haag (Unsplash)

Foto pagina 5: Kees Streefkerk (Unsplash)

Foto pagina 10: Sven Brandsma (Unsplash)

Foto pagina 26: Frank Holleman (Unsplash)

Foto pagina 30: Oliver Kiss (Unsplash)



6. Bijlagen

Bijlage 1 – Uitstoot verkeer kleine kruispuntvormgevingen

Uitstoot bij een klein kruispunt, enkelstrooksrotonde en LaRGaS

Uitstoot per voertuigkilometer (gram)

CO ₂ -uitstoot		Voorrang	Enkel-strooks	LaRGaS
Autoverkeer		212	223	200
Vracht-verkeer	5%	242	258	229
	10%	271	295	258
	15%	305	337	292
	20%	334	370	318
	25%	358	403	346

Voorrang = 100

CO ₂ -uitstoot		Voorrang	Enkel-strooks	LaRGaS
Autoverkeer		100	105	94
Vracht-verkeer	5%	100	107	95
	10%	100	109	95
	15%	100	110	96
	20%	100	111	95
	25%	100	112	96

Voorrang en 0% vrachtverkeer = 100

CO ₂ -uitstoot		Voorrang	Enkel-strooks	LaRGaS
Autoverkeer		100	105	94
Vracht-verkeer	5%	114	122	108
	10%	128	139	122
	15%	144	159	138
	20%	157	175	150
	25%	169	190	163

Uitstoot per voertuigkilometer (gram)

NO _x -uitstoot		Voorrang	Enkel-strooks	LaRGaS
Autoverkeer		0,22	0,24	0,22
Vracht-verkeer	5%	0,41	0,45	0,40
	10%	0,60	0,67	0,58
	15%	0,82	0,92	0,79
	20%	0,99	1,12	0,96
	25%	1,16	1,33	1,14

Voorrang = 100

NO _x -uitstoot		Voorrang	Enkel-strooks	LaRGaS
Autoverkeer		100	105	96
Vracht-verkeer	5%	100	110	96
	10%	100	112	97
	15%	100	113	97
	20%	100	113	97
	25%	100	115	98

Voorrang en 0% vrachtverkeer = 100

NO _x -uitstoot		Voorrang	Enkel-strooks	LaRGaS
Autoverkeer		100	105	96
Vracht-verkeer	5%	183	201	177
	10%	266	298	258
	15%	364	410	353
	20%	442	500	426
	25%	516	592	505

Uitstoot per voertuigkilometer (gram)

PM10-uitstoot		Voorrang	Enkel-strooks	LaRGaS
Autoverkeer		0,035	0,037	0,033
Vracht-verkeer	5%	0,040	0,042	0,038
	10%	0,045	0,049	0,043
	15%	0,050	0,056	0,048
	20%	0,055	0,062	0,053
	25%	0,059	0,067	0,057

Voorrang = 100

PM10-uitstoot		Voorrang	Enkel-strooks	LaRGaS
Autoverkeer		100	105	94
Vracht-verkeer	5%	100	107	95
	10%	100	109	95
	15%	100	111	96
	20%	100	112	95
	25%	100	113	97

Voorrang en 0% vrachtverkeer = 100

PM10-uitstoot		Voorrang	Enkel-strooks	LaRGaS
Autoverkeer		100	105	94
Vracht-verkeer	5%	114	122	108
	10%	128	140	122
	15%	145	160	138
	20%	158	177	151
	25%	170	193	165