

CE

**Oplossingen voor
milieu, economie
en technologie**

Oude Delft 180
2611 HH Delft
tel: 015 2 150 150
fax: 015 2 150 151
e-mail: ce@ce.nl
website: www.ce.n

Een drempel voor het milieu?

Milieueffecten van infrastructurele
maatregelen gericht op verbetering
van de verkeersveiligheid

Rapport

Delft, januari 2001

Opgesteld door: ir. D. Metz



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

Metz, D.

Een drempel voor het milieu? : Milieueffecten van infrastructurele maatregelen gericht op verbetering van de verkeersveiligheid

Delft : CE, 2001

Infrastructuur / Ruimtelijke Ordening / Verkeer / Snelheid / Milieubelasting / Kooldioxide / Emissies / Luchtkwaliteit / Geluidshinder / Analyse

Publicatienummer: 01.4835.02

Verspreiding van CE-publicaties gebeurt door:

CE

Oude Delft 180

2611 HH Delft

Tel: 015-2150150

Fax: 015-2150151

E-mail: publicatie@ce.nl

Opdrachtgever: NoordNed

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider de heer

D. Metz.

© copyright, CE, Delft

CE

Oplossingen voor milieu, economie en technologie

CE is een onafhankelijke onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.

CE is onderverdeeld in vijf secties die zich richten op de volgende werkterreinen:

- economie
- energie
- industrie
- materialen
- verkeer & vervoer

Van elk van deze secties is een publicatielijst beschikbaar. Geïnteresseerden kunnen deze opvragen bij CE tel: 015-2150150. De meest actuele informatie van CE is te vinden op de website: www.ce.nl

Inhoud

Samenvatting	1
1 Inleiding	3
1.1 Aanleiding	3
1.2 Doelstelling en afbakening	4
1.3 Aanpak en werkwijze	4
1.4 Leeswijzer	6
2 Effecten op emissies en luchtkwaliteit	7
2.1 Inleiding	7
2.2 Analyse CO ₂ -emissies voorbeeldsituatie	8
2.2.1 Kenmerken voorbeeldsituatie	8
2.2.2 Definiëring varianten	9
2.2.3 Uitgangspunten berekeningen	10
2.2.4 Resultaten berekeningen	12
2.3 Praktijkmetingen	14
2.4 Effecten op luchtkwaliteit	16
3 Effecten op geluid en trillingen	19
3.1 Inleiding	19
3.2 Geluidsbelasting	19
3.2.1 Achtergrond	19
3.2.2 Snelheid en geluid	20
3.3 Trillingen	22
4 Conclusies	23
Informatiebronnen	27
A Berekening emissies	31
B Resultaten berekeningen	33

Samenvatting

Het doel van verkeersdrempels en andere infrastructurele aanpassingen om de snelheid van het verkeer af te remmen is het vergroten van de verkeersveiligheid. Een dergelijke aanpassing heeft echter ook een effect op de milieubelasting door het verkeer.

CE heeft in opdracht van NoordNed een analyse verricht naar de verwachte effecten van verkeersdrempels op:

- de CO₂-emissies (broeikaseffect);
- de lokale luchtkwaliteit;
- de geluidsbelasting en trillingen.

In de analyse is onderscheid gemaakt tussen lichte voertuigen, zoals personenauto's en bestelauto's, en zware voertuigen, zoals vrachtauto's en bussen.

Op grond van resultaten van praktijkmetingen in diverse Europese landen en een aantal proefberekeningen aan een Nederlandse voorbeeldsituatie, is een kwantitatief inzicht verkregen in de bovengenoemde milieueffecten.

Op basis van deze kwantitatieve resultaten, die sterk afhankelijk zijn van de omstandigheden en de gemaakte aannames, is een aantal kwalitatieve conclusies getrokken (zie Tabel 1). Als referentie voor de scores in deze tabel geldt een weg binnen de bebouwde kom zonder drempels waarin met een relatief hoge constante snelheid (bijvoorbeeld 50 kilometer per uur of meer) wordt gereden. Er zijn twee varianten naast elkaar geplaatst:

- 1 Aanleg van drempels voor al het verkeer. Dit leidt tot een lagere gemiddelde snelheid (bijvoorbeeld 30 km/uur), maar ook tot meer snelheidswisselingen.
- 2 Er wordt geen drempel aangelegd, maar al het verkeer rijdt met een relatief lage constante snelheid (bijvoorbeeld 30 km/uur).

Tabel 1 Overzicht milieueffecten

	Varianten	
	1. Drempels voor al het verkeer	2. Constante lagere snelheid voor al het verkeer
CO ₂ -emissies	-	□
Luchtkwaliteit	-	-/□
Geluidsoverlast	□/+	+
Verkeerstrillingen	-/□	+

- : negatief effect; □: vrijwel geen effect; + : positief effect.

Uit de analyses blijkt:

- Een constante lagere snelheid kan lokaal leiden tot een vermindering van de **CO₂-emissies** per voertuigkilometer met 20 tot 30 procent. Deze lokale snelheidsverlaging heeft echter vrijwel geen gevolgen voor de totale CO₂-emissies per voertuig.

- Bij een verlaging van de snelheden met verkeersdrempels zullen de CO₂-emissies per voertuigkilometer min of meer gelijk blijven. Als gevolg van de drempels, en andere maatregelen in het kader van bijvoorbeeld het programma Duurzaam Veilig, zal een deel van het verkeer naar verwachting een andere route kiezen. De verwachting is dat hierdoor het totaal aantal voertuigkilometers zal toenemen, waardoor de totale CO₂-emissies van de voertuigen die in een situatie zonder drempels door de straat zouden rijden, naar verwachting zullen toenemen.
- De emissies per voertuigkilometer van NO_x en fijn stof (PM₁₀) zullen bij de beschouwde snelheidsverlaging naar verwachting toenemen. Voor zware voertuigen, als bussen, is de absolute toename aanzienlijk groter dan voor lichte voertuigen. NO_x en PM₁₀ hebben een direct effect op de **luchtkwaliteit** in de straat. Op grond van diverse internationale studies en een aantal indicatieve berekeningen in de voorbeeldsituatie is de schatting gemaakt dat de concentratie NO₂ lokaal met 25 tot 35 procent kan toenemen als gevolg van een snelheidsverlaging door verkeersdrempels. Hierbij is rekening gehouden met een afname van de verkeersintensiteit in de straat doordat een deel van het verkeer, vanwege de drempels, een alternatieve route zal kiezen (de gevolgen voor de milieubelasting langs deze alternatieve routes zijn niet nader beschouwd).
- Wanneer in de voorbeeldsituatie uitgegaan wordt van een constante lagere snelheid, dan zal de concentratie van NO₂ lokaal ook kunnen toenemen. Deze toename is naar verwachting minder dan vijf procent.
- Een snelheidsverlaging draagt bij aan een vermindering van de **geluidsoverlast** door het verkeer. De vermindering van de ervaren geluidsoverlast zal naar verwachting groter zijn bij een constante lagere snelheid. Veranderingen in geluidsniveau, zoals bij een straat met drempels, worden namelijk ook als hinderlijk ervaren.
- De overlast van **verkeerstrillingen** neemt af wanneer de snelheden afnemen. Onder zeer ongunstige omstandigheden kan door verkeerstrillingen lichte schade ontstaan aan gebouwen die zich op minder dan vijf meter van de verkeersdrempel bevinden.

Een verlaging van de snelheden met een verkeersdrempel kan met name een negatief effect hebben op de lokale luchtkwaliteit. Vanuit het oogpunt van het milieu gaat de voorkeur uit naar alternatieve snelheidsremmende maatregelen, die wel leiden tot een lagere gemiddelde snelheid, maar snelheidsschommelingen beperken.



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Binnen het programma Duurzaam Veilig streeft de overheid naar een verhoging van de verkeersveiligheid in stedelijke gebieden. Hiertoe treffen gemeenten veelal snelheidsremmende maatregelen, zoals het aanleggen van rotondes en het plaatsen van verkeersdrempels.

Verkeersveiligheid en bereikbaarheid staan op gespannen voet met elkaar. Een lagere snelheid van het verkeer zal in veel situaties bijdragen aan een verbetering van de verkeersveiligheid, maar kan tevens de doorstroming van het verkeer en daarmee de bereikbaarheid beperken.

Voordat een gemeente beslist om een verkeersdrempel, een rotonde of een andere snelheidsremmende maatregel te treffen, zal vaak een afweging worden gemaakt tussen de verwachte voordelen voor de verkeersveiligheid (afname ongevallen) en de nadelen voor de bereikbaarheid (vertragingen door het verkeer; economische schade).

Een infrastructurele maatregel zoals een verkeersdrempel kan echter ook gevolgen hebben voor de milieubelasting door het verkeer:

- 1 Een aanpassing in de infrastructuur beïnvloedt het rijgedrag en de snelheid. Het rijgedrag en de snelheid van het verkeer bepalen in belangrijke mate de emissies van een voertuig en kunnen ook gevolgen hebben voor de geluidsbelasting en de trillingen op de locatie van infrastructurele aanpassing.
- 2 Een aanpassing in de infrastructuur beïnvloedt de verkeersstromen. Een deel van het verkeer zal de drempel mijden, wanneer een alternatieve route mogelijk is. In de straat waar de aanpassing is doorgevoerd kan daardoor de verkeersintensiteit en daarmee de milieubelasting afnemen, terwijl in een andere straat de milieubelasting toeneemt.
- 3 Er is ook een verschuiving tussen vervoerswijzen denkbaar. Met name grote voertuigen zoals bussen kunnen relatief veel hinder ervaren als gevolg van aanpassingen in de infrastructuur. Het comfort voor de passagiers kan bijvoorbeeld afnemen¹. Daarmee kan de marktpositie van het openbaar vervoer ten opzichte van de auto verslechteren, waardoor een verschuiving van de bus naar de auto denkbaar is.

Het openbaarvervoerbedrijf NoordNed heeft geconstateerd dat in de gemeentelijke besluitvorming rond snelheidsremmende maatregelen die ingrijpen op de infrastructuur vaak nog onvoldoende rekening wordt gehouden met de effecten van de maatregel op de milieubelasting door het verkeer.

¹ Uit onderzoek van Goudappel Coffeng naar de comfortbeleving van snelheidsremmende maatregelen blijkt dat 43 procent van de buspassagiers een verkeersdrempel als oncomfortabel ervaart. Dit is het gemiddelde van verschillende type drempels. [CROW.1999].

In opdracht van NoordNed Personenvervoer heeft CE een studie uitgevoerd naar de effecten van snelheidsbeperkende maatregelen op de milieubelasting door het verkeer.

1.2 Doelstelling en afbakening

De hoofddoelstelling van de studie is:

- Het verkrijgen van meer inzicht in de milieueffecten van infrastructurele aanpassingen die gericht zijn op het verlagen van de snelheden in stedelijke gebieden.

In de studie zijn de volgende afbakeningen gemaakt:

Milieueffecten

De volgende milieueffecten worden beschouwd:

- emissies door wegvoertuigen van schadelijke stoffen;
- veranderingen in geluidbelasting en trillingen.

In deze studie worden de emissies van diverse schadelijke stoffen meegenomen. Voorbeelden zijn stikstofoxiden (NO_x, waaronder NO₂) en koolstofdioxide (CO₂).

NO₂ heeft een direct schadelijk effect op de volksgezondheid, wanneer te hoge concentraties in korte tijd worden ingeademd. Uit een recente CE studie [Metz.2000] blijkt dat het voor deze stof in de toekomst lastig zal zijn om aan de toekomstige Europese luchtkwaliteitsnormen te voldoen. Dit geldt vooral voor de regio's waar de achtergrondconcentraties van deze stoffen hoog zijn. De lage achtergrondconcentraties van schadelijke stoffen in het noorden van Nederland maken de emissies van deze stoffen in provincies als Friesland en Groningen minder nijpend. De emissie van NO_x is ook een nationaal probleem, omdat het bijdraagt aan verzuring.

Emissies van CO₂ versterken het broeikas effect. De opwarming van de aarde wordt door velen beschouwd als een van de meest bedreigende milieuproblemen. De emissie door het verkeer van CO₂ draagt hier in belangrijke mate aan bij (aandeel van 15 tot 20 procent).

Geluid en trillingen zijn lokale problemen die hinder of schade bij omwonenden kunnen veroorzaken.

Infrastructurele aanpassingen

Er is ook een afbakening gemaakt ten aanzien van de beschouwde infrastructurele aanpassingen. Er zijn veel verschillende maatregelen denkbaar: rotondes, plateaus, chicanes, verkeersdrempels en ander straatmeubilair. In deze studie is ervoor gekozen om de verkeersdrempel centraal te stellen en de milieueffecten van deze infrastructurele maatregel nader te beschouwen. De verkeersdrempel is representatief voor maatregelen die een voertuig dwingen af te remmen.

1.3 Aanpak en werkwijze

Om het gewenste inzicht te verkrijgen en de doelstelling te bereiken, worden twee analyses uitgevoerd:

- 1 Analyse van de effecten van snelheidsbeperkende maatregelen zoals verkeersdrempels op emissies en luchtkwaliteit.
- 2 Analyse van de veranderingen in geluidsbelasting en trillingen als gevolg van snelheidsbeperkende maatregelen zoals verkeersdrempels.

Analyse van effecten op emissies en luchtkwaliteit

De cruciale vraag in deze analyse is of een infrastructurele maatregel zoals een drempel leidt tot een toename van de emissies of een afname van de emissies. Om deze vraag te kunnen beantwoorden is het nodig om een referentie vast te stellen. De referentie in deze studie is een verkeerssituatie waarin geen snelheidsbeperkende infrastructurele maatregel is getroffen.

De eerste stap in deze analyse is het vaststellen van de emissies in een referentiesituatie. De tweede stap is het vaststellen van de emissies in een situatie met een verkeersdrempel. Het verschil in emissies geeft inzicht in het effect van de maatregel.

Bij de vaststelling van de effecten zijn verschillende invalshoeken mogelijk:

- de effecten op voertuigniveau;
- de effecten op straat- of stadsniveau.

In de analyse zullen beide invalshoeken worden meegenomen.

Bij de analyse van de effecten op voertuigniveau is het van belang om onderscheid te maken naar type voertuig. De effecten van drempels op de emissies van vrachtauto's zullen naar verwachting verschillen van de effecten op de emissies van personenauto's. In de analyse zal waar mogelijk een onderscheid worden gemaakt tussen zware voertuigen, zoals bussen en vrachtauto's, en lichte voertuigen, zoals personenauto's en bestelwagens.

De resultaten van de analyse op voertuigniveau vormen de basis voor de analyse van de effecten voor de totale emissies in de desbetreffende straat. Daarvoor is inzicht nodig in de omvang en de aard van de verkeersstromen. De maatregel zal deze verkeersstromen beïnvloeden. Een deel van het verkeer kiest naar verwachting voor een andere route en dit zal doorwerken in de totale emissies door het verkeer in de desbetreffende straat, maar ook in nabij gelegen straten ('de alternatieve route').

De doorstroming en samenstelling van het verkeer zullen in elke Nederlandse straat verschillen. Om een inschatting te kunnen maken van de effecten op straat- of stadsniveau zal daarom een voorbeeldsituatie worden gedefinieerd. Bij de analyse van de effecten van een verkeersdrempel op de emissies worden de omstandigheden in deze voorbeeldsituatie als uitgangspunt genomen.

De luchtkwaliteit in een straat wordt deels bepaald door de emissies van het wegverkeer. In deze analyse zal voor de beschouwde voorbeeldsituatie worden ingeschat welke gevolgen de emissieveranderingen hebben voor de concentratie van schadelijke stoffen als NO₂ in de straat.

Analyse van effecten op geluid en trillingen

Welk effect heeft een drempel op de trillingen en geluidsbelasting door het verkeer? Ook hierbij richt de analyse zich op het verschil tussen een situatie zonder maatregel en een situatie met maatregel.

De analyses van de effecten op geluid zullen plaatshebben op voertuigniveau. De effecten van de maatregelen op de totale emissies in een straat zijn relatief eenvoudig te berekenen. Tien gelijke voertuigen emitteren tien maal zoveel als één voertuig. Voor geluid gaat dit niet op. Het verschil in

geluidsniveau tussen tien voertuigen en één voertuig is soms nauwelijks te horen. In deze studie zal slechts beperkt aandacht worden geschonken aan de effecten op het totale geluidsniveau in een straat.

Informatiebronnen

Om de bovenstaande analyses mogelijk te maken is geput uit verschillende informatiebronnen:

- Literatuuronderzoek. Er zijn verschillende studies en artikelen in binnen en buitenland waarin de effecten van maatregelen die snelheden reduceren onder de loop worden genomen. De resultaten van deze studies vormen een zeer belangrijke bron van informatie. Bij het literatuuronderzoek is met name gezocht naar studies die door middel van praktijkexperimenten en emissietesten tot resultaten gekomen zijn.
- Om een analyse van de effecten van snelheidsbeperkende maatregelen op de emissies uit te voeren, wordt een voorbeeldsituatie gedefinieerd. In deze studie wordt gekozen voor een bestaande straat: de Laan Copes van Cattenburch in Den Haag. Bij de berekening van de effecten van een verkeersdrempel op de emissies worden de kenmerken van deze straat als uitgangspunt genomen.

Binnen deze studie worden geen metingen verricht. De basis wordt gevormd door de resultaten van (praktijk)studies van verschillende onderzoeksinstituten. Veel van deze studies kijken in detail naar een bepaald onderdeel van de milieueffecten van verkeersdrempels. Er zijn bijvoorbeeld studies die aangeven wat het effect van trillingen op de bebouwing langs een drempel is. Andere studies kijken naar het geluidsniveau van een personenauto die een drempel overrijdt.

In deze studie is geprobeerd die veelheid aan informatie te bundelen en waar gewenst te verduidelijken. Dit resulteert in een overzicht waarin de verschillende relevante milieueffecten terug komen.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zijn de resultaten van de analyses naar de effecten van verkeersdrempels op verschillende milieuschadelijke emissies en de luchtkwaliteit beschreven. Een overzicht van de effecten op de geluidsbelasting en de trillingen vormt de inhoud van hoofdstuk 3. De afsluitende conclusies volgen in hoofdstuk 4.



2 Effecten op emissies en luchtkwaliteit

2.1 Inleiding

Verkeer en vervoer draagt voor een belangrijk deel bij aan de emissie van luchtverontreinigende stoffen. Het aandeel van verkeer en vervoer in de totale emissies van CO₂ op Nederlands grondgebied is vijftien tot twintig procent. Het aandeel in de emissie van stikstofoxiden (NO_x) is groter en bedraagt bijna vijftig procent. CO₂ draagt bij aan het broeikas effect en NO_x aan de verzuring

De concentraties van NO₂ (stikstofdioxide) en PM₁₀ (fijn stof) zijn de belangrijkste luchtverontreinigende stoffen wanneer het gaat om de stedelijke luchtkwaliteit. Te hoge concentraties van deze stoffen hebben een direct schadelijk effect op de gezondheid (carcinogeen). De hoogte van de concentraties van deze stoffen wordt mede bepaald door wegvoertuigen. Het aantal plekken in Nederland waar overschrijding van de huidige grenswaarden plaatsvindt, is beperkt en naar verwachting zal de luchtkwaliteit zich de komende jaren ook sterk verbeteren. Parallel aan deze verbetering zullen echter ook de Europese luchtkwaliteitsnormen aanzienlijk strenger worden. Uit een recente studie van CE [Metz.2000] blijkt dat verwacht mag worden dat in een aanzienlijk aantal Nederlandse straten in 2010 niet zal worden voldaan aan de strenge Europese grenswaarden die dan zullen gelden.

Emissies door het verkeer vormen een hardnekkig milieuprobleem. Het is daarom van belang om bij de besluitvorming rond maatregelen die een effect hebben op de emissies een analyse uit te voeren naar de verwachte omvang en de aard van deze effecten.

Het effect van infrastructurele maatregelen, zoals verkeersdrempels, zal per locatie verschillen. Het is daarom niet mogelijk om algemene conclusies te trekken over de precieze, kwantitatieve effecten van dergelijke maatregelen. Het is wel mogelijk om deze conclusies te trekken voor een specifieke situatie. Op grond van deze bevindingen kan dan ook gekomen worden tot een aantal algemene conclusies. In deze studie is er voor gekozen om een voorbeeldsituatie te definiëren en voor deze situatie een analyse uit te voeren van de effecten op de emissies (paragraaf 2.2).

In de analyse van de voorbeeldsituatie wordt alleen gekeken naar het brandstofverbruik en de CO₂-emissies. Op basis van natuurkundige vergelijkingen is een inschatting te maken van de benodigde energie en het daaraan gerelateerde brandstofverbruik. Voor de emissies van NO_x en bijvoorbeeld PM₁₀ is deze berekening lastig: hierbij spelen veel aanvullende variabelen een cruciale rol. Met name door de toenemende rol van computers in het motormanagement, is een 'natuurkundige' berekening van stoffen die niet direct gerelateerd zijn aan het brandstofverbruik vrijwel onmogelijk geworden. Informatie over de effecten van snelheidsveranderingen door drempels op de emissies van bijvoorbeeld NO_x vergt praktijkmetingen.

In aanvulling op de analyses in de voorbeeldstraten worden de resultaten van een literatuurstudie naar praktijkmetingen gepresenteerd (paragraaf 2.3). Deze resultaten geven derhalve ook inzicht in de emissies van luchtverontreinigende stoffen als NO_x. Met de resultaten uit de praktijkmetingen wordt ook meer inzicht verkregen in het effect van snelheidsbeperkende

maatregelen op het brandstofverbruik en daaraan gekoppelde CO₂-emissies. De resultaten van de literatuurstudie dienen daarmee ook als toetsing voor de resultaten van de berekeningen in de voorbeeldsituatie.

Mede op basis van de verwachte effecten van drempels op de emissies van NO_x, is een berekening gemaakt van de gevolgen van een drempel op de uiteindelijke luchtkwaliteit in de straat. De resultaten zijn beschreven in paragraaf 2.4.

2.2 Analyse CO₂-emissies voorbeeldsituatie

Bij de keuze van voorbeeldsituatie is gezocht naar een situatie die zo dicht mogelijk aansluit op de werkelijkheid. Er is gekozen voor een bestaande straat in Den Haag: de Laan Copes van Cattenburch. In paragraaf 2.2.1 worden de belangrijkste kenmerken van deze straat beschreven.

Om de effecten van een drempel inzichtelijk te maken, dient een situatie zonder drempel vergeleken te worden met een situatie met drempel. De verschillende beschouwde varianten worden toegelicht in paragraaf 2.2.2.

De uitgangspunten voor en de resultaten van de berekening volgen in respectievelijk paragraaf 2.2.3 en paragraaf 2.2.4.

2.2.1 Kenmerken voorbeeldsituatie

De samenstelling van het verkeer in deze relatief drukke straat is zeer gevarieerd. Bussen maken deel uit van de verkeersstroom.

De relevante kenmerken van deze straat zijn:

- de lengte van de straat is ongeveer 500 meter;
- er zijn twee rijrichtingen: aan één kant twee rijstroken, en aan de andere kant één rijstrook;
- er is sprake van hoge bebouwing;
- de afstand van het trottoir tot de wegas is ongeveer 7,5 meter;
- er zijn geen bomen aanwezig;
- aan één zijde bevinden zich parkeerplaatsen;
- de straat wordt tweemaal gekruist door een andere straat en bestaat daarmee uit drie delen, die elk ongeveer even lang zijn (150 - 200 meter);
- de huidige snelheidslimiet is 50 km per uur. Het karakter van de weg is zodanig dat snel te hard gereden kan worden.

De verkeersintensiteiten per etmaal (gebaseerd op tellingen in 1999) zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel 2 Etmaalgemiddelden verkeersintensiteit Laan Copes van Cattenburch (1999)

Personenauto's	16893
Bestelauto's	1903
Vrachtauto's	602
Bussen	243
<i>Totaal</i>	<i>19641</i>

Bron: CE



Bij de berekening van de effecten van een verkeersdrempel op de emissies worden de kenmerken van deze straat als uitgangspunt genomen. In de huidige situatie zijn op de Laan Copes van Cattenburch geen infrastructurele maatregelen getroffen die de snelheid remmen: in de analyse wordt daarom uitgegaan van een fictieve maatregel.

2.2.2 Definiëring varianten

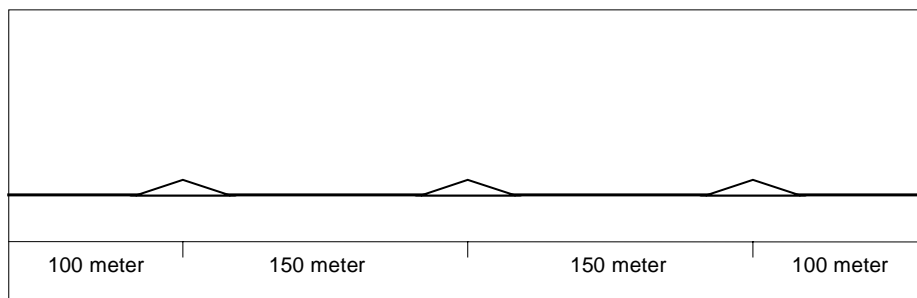
De variant die centraal staat in de analyse is de variant waarbij verkeersdrempels in de voorbeeldsituatie worden geplaatst:

Hoofdvariant: drempels

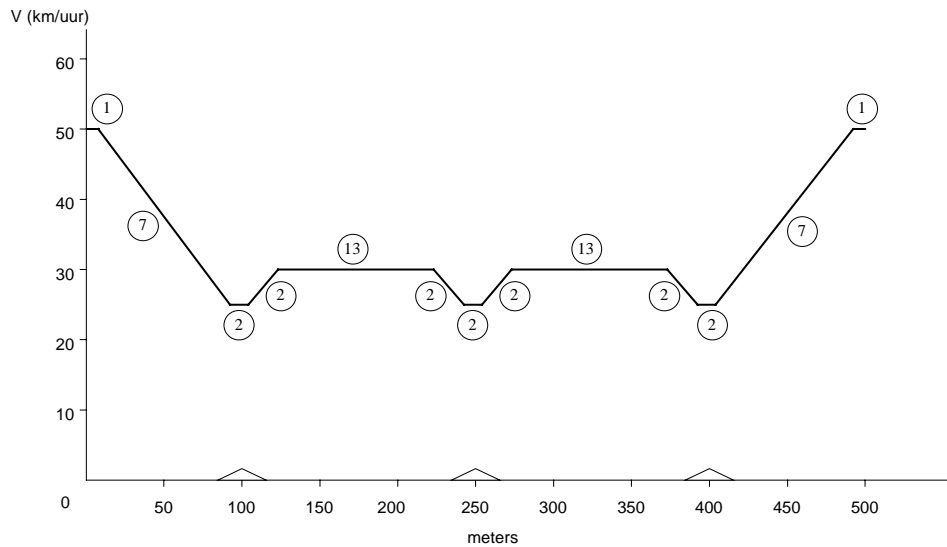
De uitgangspunten voor deze variant zijn:

- de Laan Copes van Cattenburch bestaat uit drie delen, elk met een lengte van 150 tot 200 meter. Er worden drie drempels halverwege elk deel geplaatst. Dit betekent dat de afstanden tussen de drempels min of meer constant blijven. In Figuur 1 is schematisch weergegeven waar de drempels zich op het beschouwde traject van 500 meter bevinden;
- de drempels worden over de gehele breedte van de weg geplaatst: de vertragende werking treft al het verkeer;
- de drempel is ongeveer drie meter lang en zo hoog dat de snelheid waarmee de drempel op een normale wijze overbrugd kan worden, niet hoger is dan 25 kilometer per uur. Tussen de drempels wordt een constante snelheid van 30 km per uur aangehouden. De beginsnelheid en de eindsnelheid op het beschouwde traject is 50 km per uur. Het snelheidsverloop is weergegeven in Figuur 2. Er is aangenomen dat in de situatie met de drempels het snelheidsprofiel van licht verkeer gelijk is aan dat van zwaar verkeer. De gemiddelde snelheid over de beschouwde 500 meter is in deze variant ongeveer 30 km per uur.

Figuur 1 Locatie drempels op beschouwde traject



Figuur 2 Snelheidsverloop (aantal secondes per deeltraject zijn omcirkeld)



Om de effecten van deze drie drempels inzichtelijk te kunnen maken, dienen de emissies vergeleken te worden met een situatie zonder drempels: de basisvarianten. De keuze van de basisvarianten is bepalend voor het uiteindelijke effect van de drempel. In deze analyse is ervoor gekozen om twee basisvarianten te definiëren:

Basisvariant A: constant 50 km per uur

In deze variant wordt aangenomen dat zowel het lichte verkeer als het zware verkeer in de beschouwde verkeerssituatie zonder drempel een constante snelheid hebben van 50 km per uur.

Basisvariant B: constant 30 km per uur

In deze variant wordt aangenomen dat zowel het lichte verkeer als het zware verkeer in de beschouwde verkeerssituatie zonder drempel een constante snelheid hebben van 30 km per uur. De gemiddelde snelheid in deze variant komt min of meer overeen met de gemiddelde snelheid in de variant *met* drempels. Vergelijking van beide varianten geeft inzicht in de verschillen tussen een dynamische, onregelmatige rijsnelheid en een constante rijsnelheid.

2.2.3 Uitgangspunten berekeningen

Bij de keuze voor de basisvarianten is uitgegaan van een constante snelheid, en daarmee dus ook van een constante belasting van de motor. Voor de hoofdvarianten met de drempels wordt uitgegaan van veranderende snelheden en daarmee ook van een variabele belasting van de motor. Dit heeft gevolgen voor het rendement van de motor en het brandstofverbruik.

De beschouwde varianten geven slechts een beperkt zicht op de mogelijke snelheidsprofielen. In de praktijk zullen voertuigen bijvoorbeeld nooit lang een constante snelheid hebben: de snelheid zal altijd licht variëren, en ook aangepast dienen te worden aan de omstandigheden (voorbeelden zijn: overstekende mensen, een parkerende auto en stoplichten die op oranje springen).

Het doel van de berekeningen per variant is niet om een absoluut inzicht te bieden in de emissies voor elk van de varianten. Het doel is om de *verschillen* tussen de varianten inzichtelijk te maken: tot welke *relatieve* verandering in emissies kunnen drempels leiden.

Voor de drie beschouwde varianten worden de emissies van CO₂ berekend. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar:

- de emissies op voertuigniveau;
- de totale emissies over het beschouwde traject.

Emissies op voertuigniveau

De berekening van de emissies op voertuigniveau gaat uit van natuurkundige vergelijkingen die de energiebehoefte van een voertuig beschrijven. De benadering in deze studie sluit aan op de standaard benadering voor emissieberekeningen van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat [DWW.1993]. De toegepaste formules en de gehanteerde variabelen en constanten zijn opgenomen in bijlage A.

Twee variabelen die veel invloed hebben op het uiteindelijke effect van drempels op het brandstofverbruik zijn:

- het rendement van de motor;
- de wijze waarop geremd wordt voor de drempels.

Bij een gelijke gemiddelde snelheid zal het brandstofverbruik bij een dynamische belasting van de motor (zoals bij het nemen van verkeersdrempels) duidelijk hoger liggen dan bij een constante belasting. Op basis van studie naar de relatie tussen rijgedrag, brandstofverbruik en emissies (TNO.2000 en VITO.1993) is uitgegaan van een vermindering van het motorrendement met ongeveer 35 procent.

Wanneer op de motor wordt geremd zal het brandstofverbruik tijdens het remmen verwaarloosbaar zijn. In de meeste nieuwe voertuigen wordt er namelijk elektronisch voor gezorgd dat de brandstoftoevoer naar de motor automatisch wordt afgesloten, wanneer op de motor wordt geremd. Wanneer niet op de motor wordt geremd ('remmen met ontkoppelde motor'), blijft de motor wel brandstof verbruiken. Voor beide situaties wordt in deze studie een analyse van de effecten uitgevoerd.

Totale emissies in de straat

Bij de berekening van de totale emissies in de voorbeeldsituatie per etmaal ('over het beschouwde traject') worden de emissies op voertuigniveau vermenigvuldigd met het verkeersvolume per etmaal. Daarbij wordt uitgegaan van de huidige samenstelling van het verkeer in de voorbeeldsituatie (zie Tabel 2). In deze berekening wordt ook rekening gehouden met de verkeersreducerende werking van de infrastructurele maatregel: een deel van het verkeer zal een andere route kiezen.

Het aandeel verkeer dat de straat zal mijden is niet eenduidig in te schatten. De aanwezigheid van alternatieve routes is hiervoor bijvoorbeeld een sterk bepalende factor. Uit diverse studie naar praktijksituaties komen verschillende reductiepercentages als gevolg van drempels naar voren:

- 30 procent²;
- 18 procent³;
- 24 procent⁴.

In de analyse van de voorbeeldsituatie wordt uitgegaan van het gemiddelde van deze drie percentages: 24 procent.

Afsluitend zal ook worden ingegaan op de effecten van de drempel voor een stad of stadsdeel. Doordat het verkeer een andere route kiest, zal weliswaar in de voorbeeldsituatie de verkeersintensiteit lager worden, maar dit verkeer zal een andere alternatieve route kiezen. Dat heeft een effect op het totaal aantal voertuigkilometers en de verdeling over de wegen. Ten aanzien hiervan is een aantal conclusies uit een studie van Optifield, uitgevoerd in samenwerking met de Universiteit Wageningen, relevant:

- wegcategorisering en bundeling van verkeersstromen kunnen het aantal gewonden en doden met 16 tot 20 reduceren. In combinatie met 'duurzaam veilig' maatregelen kan die winst zelfs oplopen tot 70 procent;
- maatregelen die hiervoor in aanmerking komen zijn: drempels, selectieve toegang voor fietsers en agrarisch verkeer, en het aanbrengen van een 'knip' in wegen;
- per saldo verwachten de onderzoekers dat toepassing van deze maatregelen zullen leiden tot 7 à 8 procent extra autokilometers. In de bebouwde kom zal het verkeer afnemen met 25 tot 30 procent⁵, terwijl het verkeer daarbuiten, op de hoofdwegen, zal toenemen met 45 procent.

Deze conclusies vormen het uitgangspunt voor de inschatting van de effecten voor de effecten van snelheidsmaatregelen voor het gebied buiten de straat waar de maatregel is toegepast.

2.2.4 Resultaten berekeningen

In bijlage B zijn de resultaten van de berekeningen op voertuigniveau weergegeven. In Tabel 3 zijn deze resultaten samengevat voor het gehele traject. Ook is hierin het effect op straatniveau aangegeven. De resultaten zijn gepresenteerd als indexcijfers.

² Onderzoek door adviesbureau Optifield i.s.m. de Universiteit Wageningen. Resultaten zijn opgenomen in: Verkeerskunde. Pag.10. Juli / Augustus 2000.

³ Onderzoek door 'Institute of Transportation Engineers'. Washington. Verenigde Staten. Zie internetsite: www.ite.org/traffic/hump.htm

⁴ Onderzoek door 'Departement of the Environment, Transport and the regions'. Groot-Brittannië. Internetsite: www.detr.gov.uk/roads/roadnetwork/ditm/tal/traffic/01_98/index.htm

⁵ Dit sluit aan op het eerder aangegeven gemiddelde percentage van voertuigen dat de straat zal mijden (24 procent).



Tabel 3 Resultaten berekeningen CO₂-emissie (indexcijfers: variant A = 100)

	Voertuigniveau		Straatniveau
	Licht	Zwaar	Totaal
<i>Referenties</i>			
A: Constant 50 km/uur	100	100	100
B: Constant 30 km/uur	78	73	77
<i>Drempel voor al het verkeer (gemiddeld ongeveer 30 km/uur)</i>			
Remmen op de motor	101	103	78
Remmen met ontkoppelde motor	127	128	98

De resultaten in de bovenstaande tabel gelden voor de emissie van CO₂, maar zijn ook representatief voor het brandstofverbruik in elk van de varianten. Voor het beschouwde traject van 500 meter kunnen de volgende conclusies worden getrokken voor de effecten op voertuigniveau:

- een constante snelheid van 30 km/uur levert de laagste emissie van CO₂. Dit geldt zowel voor lichte voertuigen als zware voertuigen;
- een afname van de constante snelheid leidt tot een reductie van het brandstofverbruik en de CO₂-emissie. De oorzaak ligt bij de afname van de luchtweerstand, die exponentieel afneemt met de snelheid. Een hogere snelheid betekent wel dat het motorrendement hoger komt te liggen, maar dit kan de extra energie die nodig is om de toenemende luchtweerstand te overwinnen, niet compenseren;
- de plaatsing van drie drempels voor al het verkeer, waardoor gemiddeld ook 30 km/uur wordt gereden, maar met variërende snelheden, heeft ten opzichte van de situatie waarin constant 50 km/uur wordt gereden de volgende effecten:

Bij remmen op de motor

- De CO₂-emissie per voertuig verandert voor lichte en zware voertuigen niet of nauwelijks;
- een daling van de totale emissies in de straat met 23 procent (als gevolg van de afname van de verkeersintensiteit).

Bij remmen met ontkoppelde motor

- De CO₂-emissie per voertuig neemt toe met 27 procent (lichte voertuigen) en 29 procent (zware voertuigen);
- de totale emissies in de straat blijven min of meer gelijk (die toename van de CO₂-emissies per voertuig worden gecompenseerd door de afname van de verkeersintensiteit).

De keuze voor een alternatieve route, als gevolg van snelheidsbeperkende maatregelen als drempels, zal naar verwachting leiden tot extra autokilometers. Dit kan tot 7 à 8 procent toename van de totale CO₂-emissie per voertuig leiden⁶.

⁶ Hierbij geldt dan wel dat drempels deel uitmaken van een totaalpakket van maatregelen die gericht zijn op 'duurzaam-veilig' en het bundelen van verkeersstromen. Verder geldt de voorwaarde dat de gemiddelde CO₂ emissie per kilometer, ondanks de toename van de autokilometers, niet verandert.

2.3 Praktijkmetingen

Het Transport Research Laboratory (TRL) is het grootste onafhankelijke technische onderzoeksbureau in Groot-Brittannië op het gebied van wegtransport. TRL heeft meerdere studies uitgevoerd naar de effecten van verkeersremmende maatregelen op de emissies van voertuigen. Recent zijn de resultaten van praktijkmetingen gepubliceerd [TRL.1999].

De praktijkmetingen zijn uitgevoerd voor een verkeerssituatie met verkeersdrempels. Er is alleen gekeken naar lichte (personen)voertuigen, waarbij onderscheid is gemaakt tussen voertuigen met en zonder katalysator. De emissies zijn op drie punten gemeten:

- voor de drempels;
- ter hoogte van de drempel;
- tussen de drempels.

In de onderstaande tabel zijn de snelheidsveranderingen in de beschouwde situatie als gevolg van de drempel aangegeven.

Tabel 4 Effecten van drempels op snelheden

	Gemiddelde snelheid (km/uur) ⁷
Voor de drempels	45
Ter hoogte van de drempel	27
Tussen de drempels	33

Bron: TRL.1999

Bij de metingen is primair gekeken naar de veranderingen in grammen geëmitteerde koolmonoxide (CO).

Uit de metingen blijkt dat in de beschouwde straat de snelheidsverlaging als gevolg van de drempels leidt tot een toename van de emissies CO (grammen per voertuigkilometer) voor een gemiddeld voertuig met 63 tot 73 procent. Op basis van de resultaten van de metingen is ook een inschatting te maken van de effecten voor voertuigen met een katalysator. Voor deze categorie geldt een grotere stijging: 100 tot 155 procent.

De onderzoekers hadden gehoopt ook informatie te verkrijgen over de effecten op de NO_x emissies. Door technische problemen met de meetapparatuur bleken metingen van NO_x echter niet mogelijk. Over de emissies van PM₁₀ zijn ook geen meetgegevens bekend.

In de bovengenoemde TRL studie is ook een overzicht opgenomen van de resultaten van praktijkmetingen die in andere Europese landen zijn uitgevoerd en waarin het effect op de emissies van NO_x wel onderwerp van analyse is geweest. In deze studies is ook gekeken naar emissies van CO, HC en CO₂. Het aantal studies waarin een analyse of meting heeft plaatsgehad van de effecten van snelheidsremmende maatregelen op de verkeersemissies is beperkt. Bovendien zijn alleen resultaten bekend van analyses en metingen aan personenauto's. De drie beschouwde studies zijn:

⁷ De gemiddelde voertuigsnelheden sluiten redelijk goed aan op de snelheden die gehanteerd zijn in de voorbeeldsituatie (zie paragraaf 2.2).



- Webster (1993);
- Höglund (1995);
- Züger en Blessing (1995).

Hieraan kunnen de resultaten van de TRL studie (1999) worden toegevoegd. In Tabel 4 is een overzicht gegeven van alle bekende resultaten die betrekking hebben op personenauto's met een katalysator. In de studie van Höglund is dit onderscheid niet te maken: hier is alleen het effect van een gemiddeld voertuig bekend.

Tabel 5 Effect op emissies per personenauto over het beschouwde traject

	CO	NO _x	HC	Verbruik / CO ₂
Webster (1993) ⁸	+ 125-160 %	Blijft gelijk	Blijft gelijk	+ 50-90 %
Höglund (1995) ⁹	+ 200 %	+ 300 %	<i>Niet gemeten</i>	+ 40-50 %
Züger en Blessing (1995) ¹⁰	+ 200 %	+ 900 %	<i>Niet gemeten</i>	+ 25 %
TRL (1999) ¹¹	+ 100-115 %	<i>Niet gemeten</i>		

De bovenstaande effecten gelden op voertuigniveau, en geven dus niet het effect op de emissies door het verkeer in haar geheel.

Met name ten aanzien van de verwachte effecten op NO_x vertonen de resultaten van de studies sterke spreidingen.

De effecten op de emissie van CO₂ in deze studies zijn moeilijk te vergelijken met de berekende effecten in paragraaf 2.2 (toename van ongeveer 25 procent bij remmen met ontkoppelde motor). De reden hiervoor is dat de omstandigheden sterk afwijken en ook niet voldoende duidelijk is voor welke omstandigheden de resultaten van deze studies gelden. De wijze van remmen is bijvoorbeeld niet bekend.

Het lijkt wel gerechtvaardigd om de algemene conclusie te trekken dat ten opzichte van een situatie waarin constant 50 km/uur wordt gereden de emissies per voertuigkilometer van verschillende schadelijke stoffen over het desbetreffende traject zullen toenemen, wanneer drempels worden geplaatst. Dit wordt deels veroorzaakt door de variabele belasting van de motor als gevolg van de snelheidswisselingen.

De verlaging van de gemiddelde snelheid draagt hier echter ook aan bij. Voor de emissies per kilometer van schadelijke stoffen zoals NO_x en PM₁₀ geldt namelijk dat een daling van de constante snelheid van 50 naar bijvoor-

⁸ In deze studie is gewerkt met het MODEM model. In dit model is uitgegaan van een wegdeel van 300 meter en twee snelheidsremmende maatregelen. De effecten gelden ten opzichte van een situatie waarin een constante snelheid van ongeveer 50 km/uur wordt aangehouden. Ter hoogte van de drempel neemt de snelheid af tot 25 km/uur.

⁹ In deze studie is gewerkt met het Nordic emission model. Er is uitgegaan van een wegdeel van 1500 meter en tien snelheidsremmende maatregelen. De effecten gelden ten opzichte van een situatie waarin een constante snelheid van 50 km/uur wordt aangehouden. Ter hoogte van de drempel neemt de snelheid af tot 30 km/uur.

¹⁰ Deze studie is uitgegaan van 'on board measurement' op een weg van 1500 meter, met zes snelheidsremmende maatregelen. De referentiesnelheid in deze situatie is onbekend. Ter hoogte van de drempel neemt de snelheid af tot 15 km/uur. Tussen de drempels wordt 30 km/uur gereden.

¹¹ De effecten gelden ten opzichte van een situatie waarin 45 km/uur wordt gereden.

beeld 30 km per uur (zonder drempels) tot een toename van de emissies van deze stoffen zal leiden. Dit blijkt onder andere uit cijfers van het RIVM¹². Dit laatste geldt niet voor emissies van CO₂. Voor deze stof geldt dat met een daling van de constante snelheid van 50 naar bijvoorbeeld 30 km per uur (zonder drempels) ook de emissies per kilometer zullen afnemen. Door de verwachte toename van de lengte van een rit doordat een deel van het verkeer een alternatieve route zal kiezen (zie paragraaf 2.2.3) mag verwacht worden dat de emissie van CO₂ toch zal toenemen.

2.4 Effecten op luchtkwaliteit

In de voorgaande paragrafen is vooral ingegaan op de effecten van drempels op de *emissies* van luchtverontreinigende stoffen. Voor bepaalde luchtverontreinigende stoffen geldt dat deze met name schadelijk zijn wanneer de emissie plaats vindt in stedelijke gebieden en dus gevolgen heeft voor de *concentraties* op het trottoir ('de luchtkwaliteit').

In deze paragraaf wordt nader ingegaan op het uiteindelijke effect dat de drie drempels in de beschouwde voorbeeldsituatie kunnen hebben op de concentratie van NO₂ op het trottoir. De basis voor deze inschatting vormen de resultaten van een recente CE studie naar de ontwikkeling van de stedelijke luchtkwaliteit [Metz.2000]. In deze studie is onder meer nagegaan welke bronnen ten grondslag liggen aan de concentratie van NO₂ op het trottoir en wat het aandeel is van elk van deze bronnen. Het zijn niet alleen de verkeeremissies, maar ook de heersende achtergrondconcentraties die deze concentraties bepalen. In de studie is een analyse gemaakt voor vijf verschillende locaties (straten in stedelijk gebied). In Tabel 6 zijn de resultaten van deze analyse gepresenteerd. De waarden zijn de gemiddelde waarden voor de vijf beschouwde straten.

Tabel 6 Opbouw verwachte concentraties NO₂ in stedelijk gebied in 2010

2010:	NO ₂
Emissies door het verkeer in de voorbeeldsituaties (µg/ms)	119,7 ¹³
Verwachte concentratie in de voorbeeldsituaties (µg/m ³)	42,5
Aandeel achtergrondconcentratie (%)	77
Aandeel emissies verkeer in voorbeeldsituaties (%)	23
Verwachte achtergrondconcentratie (µg/m ³)	33,0
Aandeel emissies verkeer in de stad (%)	39
Aandeel emissies verkeer buiten de stad (%)	26
Aandeel overige bronnen (%)	35

Bron: CE

De resultaten in de bovenstaande tabel gelden voor een situatie zonder verkeersdrempel, waarvoor aangenomen kan worden dat de gemiddelde snelheid ongeveer 50 km/uur is.

¹² Overzicht van emissiefactoren, gerelateerd aan snelheden, dat ten behoeve van MV4 is opgesteld (1999). Afhankelijk van de stof kan de toename oplopen tot tientallen procenten.

¹³ De emissies zijn uitgedrukt in NO_x.



De verschillende studies die zijn genoemd in paragraaf 2.3 tonen een grote variatie in de effecten van drempels op de emissies van NO_x. Indien de resultaten van Höglund bijvoorbeeld als uitgangspunt worden genomen, betekent dit dat de emissies van NO_x per voertuig in de voorbeeldsituaties verdrievoudigen¹⁴. Als wordt aangesloten bij het uitgangspunt dat 24 procent van het verkeer een andere route zal kiezen (zie paragraaf 2.2.3), zullen de totale emissies door het verkeer in de straat toenemen met 200 tot 250 procent. De invloed van deze (locale) verandering op de achtergrondconcentratie is verwaarloosbaar.

Omdat de emissies door het verkeer een beperkt aandeel in de uiteindelijke concentraties hebben, is het effect van drempels op de concentraties aanzienlijk kleiner dan het effect op de emissies. Op basis van de cijfers in Tabel 6 is de inschatting gemaakt dat de concentratie van NO₂ in de voorbeeldsituatie zal toenemen met 25 tot 35 procent.

¹⁴ Hoewel de resultaten van de Höglund studie gelden voor personenauto's is, bij het ontbreken van meetresultaten, in de onderhavige studie ervan uitgegaan dat deze toename ook geldt voor zware voertuigen.



3 Effecten op geluid en trillingen

3.1 Inleiding

Een maatregel die de rijsnelheid beïnvloedt heeft niet alleen effect op de emissies, maar ook op het geluidsniveau van het verkeer. Wanneer de maatregel een infrastructurele aanpassing is die het verkeer moet overbruggen, zoals een verkeersdrempel, kan verwacht worden dat de ervaren trillingen door het verkeer zullen toenemen.

In dit hoofdstuk wordt op basis van een literatuurstudie een overzicht gegeven van de effecten van snelheidsverlagende maatregelen als verkeersdrempels op de geluidsbelasting en de trillingen door het verkeer.

3.2 Geluidsbelasting

3.2.1 Achtergrond

De sterkte van een geluid wordt uitgedrukt in decibellen (dB) schaal. Dit is een logaritmische schaal en als zodanig vaak lastig te interpreteren: wanneer het aantal voertuigen dat op een bepaald moment door een straat rijdt wordt verdubbeld, dan betekent dit niet dat het geluidsniveau ook tweemaal zo hoog komt te liggen.

Het gemiddelde geluidsniveau in een straat ligt veelal tussen 65 en 70 dB(A)¹⁵. De volgende uitgangspunten helpen om het inzicht in de geluidsbelasting te vergroten:

- een verdubbeling van de *gemeten* geluidsterkte correspondeert met een verhoging van 3 dB(A);
- een verlaging van 10 dB(A) komt overeen met een halvering van de door de mens *ervaren* geluidsterkte;
- een verlaging van 3 dB(A) komt overeen met een verlaging van de door de mens *ervaren* geluidsterkte met 25 procent;
- een verschil in de geluidsterkte van 1 dB(A) is door de mens nog net op te merken.

Het maximale geluidsniveau waar geproduceerde voertuigen aan dienen te voldoen is vastgelegd in Europese richtlijnen. De ontwikkeling van de maximaal toegestane geluidsniveaus voor personenauto's en vrachtauto's in de EG is weergegeven in onderstaande tabel.

¹⁵ Een overschrijding van het geluidsniveau van 80 dB(A) kan al tot gehoorbeschadiging leiden.

Tabel 7 Maximaal toegestane geluidsemissies motorvoertuigen

	1972	1982	1988/90	1995/96
Personenauto's	82 dB(A)	80 dB(A)	77 dB(A)	74 dB(A)
Stadsbus	89 dB(A)	82 dB(A)	80 dB(A)	78 dB(A)
Vrachtauto	91 dB(A)	88 dB(A)	84 dB(A)	80 dB(A)

Dit zijn de maximale geluidsniveaus. Per categorie zal er verschil bestaan tussen de geluidsterkte van de beschouwde aandrijftechnieken. Voor LPG en CNG geldt dat het geluidsniveau van het voertuig ten opzichte van het conventionele diesel of benzinemotor daalt met 2 tot 4 decibellen. Voor elektrische voertuigen is de winst aanzienlijk: 8 tot 10 decibellen.

Het gemiddelde geluidsniveau in een straat geeft een beperkt inzicht in de daadwerkelijke hinder door het geluid. Veel hinder hangt samen met zogenoemde piekgeluiden van zware voertuigen. Ook veranderingen in geluidsniveaus kunnen als hinderlijk worden ervaren.

Het motorgeluid is verder niet de enige bron van de geluidshinder die een voertuig kan veroorzaken. Het laden en lossen van goederen (bijvoorbeeld het legen van een afvalcontainer) kan bijvoorbeeld in bepaalde situaties tot veel meer geluidshinder leiden dan het motorgeluid.

3.2.2 Snelheid en geluid

Het Transport Research Laboratory heeft recent de resultaten gepubliceerd van diverse praktijkproeven die inzicht hebben opgeleverd in de effecten van snelheidsreducerende maatregelen op het geluidsniveau van voertuigen en het verkeer in het algemeen [TRL.1999]¹⁶.

Uit de resultaten blijkt dat maatregelen zoals een drempel de geluidsbelasting door het verkeer op verschillende wijzen kan beïnvloeden:

- een lagere snelheid van een wegvoertuig betekent dat de geluidsbelasting van dit voertuig zal afnemen;
- in aanvulling hierop zal, als gevolg van de maatregel, de verkeersstroom afnemen. Hierdoor zal het totale geluidsniveau verder afnemen;
- het geluidsniveau van een voertuig is echter ook afhankelijk van de rijstijl:
 - een rustige rijstijl, met een lage en constante snelheid, draagt bij aan een lager geluidsniveau;
 - een agressieve rijstijl, waarbij tussen de drempels snel wordt opgetrokken tot een relatief hoge snelheid en vervolgens weer hard wordt afgeremd, veroorzaakt een fluctuatie in geluidsniveaus die als hinderlijk kan worden ervaren door de omgeving;
- de bovenstaande punten gelden vooral voor het motorgeluid. De verkeersdrempel kan ook leiden tot een toename van het geluid van andere onderdelen van de auto ('gerammel').

Hoe werken deze tegengestelde effecten door op het geluidsniveau van voertuigen en het totale verkeer?

¹⁶ Deze proeven zijn uitgevoerd in opdracht van het Britse ministerie (Departement of the Environment, Transport and the Regions).



Geluidsniveau voertuigen

De meting van het geluidsniveau van individuele voertuigen is uitgevoerd volgens de standaard testmethode waarbij op een vast punt langs de weg het maximale geluidsniveau wordt gemeten van een aantal voertuigen die met een bekende snelheid het meetpunt passeren.

Deze metingen zijn uitgevoerd voor een situatie met een drempel en zonder een drempel. In de situatie met drempel is onderscheid gemaakt tussen het geluidsniveau op de drempel en het geluidsniveau tussen de drempels. De veranderingen in geluidsniveau op voertuig- en verkeersniveau zijn weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8 Verandering geluidsniveau als gevolg van drempels

	Verandering t.o.v. situatie zonder drempel		
	Snelheid	voertuiggeluid	in verkeersgeluid ¹⁷
Ter hoogte van de drempel	- 19 km/uur	- 8.2 dB(A)	-3,4 dB(A)
Tussen de drempels	- 13 km/uur	- 3.9 dB(A)	- 1,7 dB(A)

Bron: TRL

Wanneer drempels leiden tot een lagere snelheid, zullen de geluidsniveaus op voertuigniveau en dus ook voor het gehele verkeer duidelijk dalen. De *ervaren* geluidsbelasting door het verkeer zal naar verwachting afnemen met 15 tot 30 procent. Hierbij is overigens geen rekening gehouden met de vermindering van de verkeersintensiteit als gevolg van de drempel.

In de TRL studie wordt aangegeven dat de vermindering van het gemiddelde geluidsniveau van het verkeer een bijdrage zal leveren aan de vermindering van de geluidsoverlast. In aanvulling hierop wordt ook aangegeven dat de drempel wel leidt tot een grotere variatie in geluidsniveaus over het beschouwde traject: de daling in geluidsniveau tussen de drempels is lager dan de daling ter hoogte van de drempels. Deze variatie kan als hinderlijk worden ervaren. Het minimaliseren van variaties in de geluidsniveaus kan worden bereikt door de ruimtes tussen de drempels zodanig te optimaliseren dat snelheidsveranderingen geminimaliseerd worden.

Hoe dragen de verschillende voertuigen bij aan de geluidsbelasting door het verkeer en welke effecten hebben drempels op dit geluidsniveau? Om deze vraag te beantwoorden zijn geluidsmetingen uitgevoerd voor bussen, personenauto's en vrachtvoertuigen. In Tabel 9 zijn de resultaten weergegeven.

¹⁷ Het betreft hier de verandering in het gemiddelde geluidsniveau van het verkeer tussen 06:00 en 24:00 uur, waarvoor geldt dat dit niveau in slechts tien procent van de tijd wordt overschreden.

Tabel 9 Vergelijking voertuigcategorieën

		Rechte weg	Drempel	
			platte top	ronde top
Personenauto's	Snelheid in km/uur	45	22	22
	Geluidsniveau in dB(A)	71.0	60.7	60.9
Bussen	Snelheid in km/uur	38	18	18
	Geluidsniveau in dB(A)	73.7	70.0	69.8
Vrachtoertuigen	Snelheid in km/uur	38	18	18
	Geluidsniveau in dB(A)	79.7	85.8	77.6

Bron: TRL 1999

Uit de bovenstaande resultaten blijkt dat met name voor personenvoertuigen een aanzienlijke daling van het geluidsniveau te verwachten is. De geluidswinst bij zware voertuigen is een stuk geringer.

3.3 Trillingen

In twee artikelen van het Nederlands Instituut Van Register Experts (NIVRE) is ruimschoots aandacht besteed aan de scheuren in gebouwen als gevolg van trillingen door bouwactiviteiten of verkeer¹⁸.

In deze artikelen wordt aangegeven dat op het gebied van de risico's door trillingen de laatste tien jaar veel onderzoek is gedaan. De invloed van verkeerstrillingen op de bebouwing in de omgeving kan bijvoorbeeld met behulp van trillingsmeters worden nagegaan.

Het gewicht van een auto op een weg veroorzaakt een indrukking van grond. Als een auto rijdt, ontstaat een meebewegend patroon van indrukking, dat tot voelbare bewegingen kan leiden. Bij het rijden over oneffenheden in de weg veroorzaakt het stoten van de wielen soms grote bewegingen. Zo kan een door een vrachtwagen getrokken lege aanhanger die over de verkeersdrempel dendert, meer grondbeweging opleveren dan een zwaar belaste aanhanger waarvan de wielen tijdens het rijden over de drempel niet van het wegdek loskomen. Het is niet uitgesloten dat die grondbewegingen schade veroorzaken aan panden die op korte afstand van de "bron" staan.

Verkeersdrempels zijn heel vaak de aanleiding voor meldingen van verontruste woningbezitters bij de gemeente. Al gauw wordt bij een nieuwe bron aangenomen dat er spoedig schade aan het pand zal ontstaan of al is ontstaan. Die verontrusting is dan het gevolg van in huis gevoelde trillingen. Men is echter in staat trillingen met een zeer geringe amplitude waar te nemen. Dat geldt natuurlijk niet alleen voor verkeerstrillingen, maar voor alle soorten trillingen.

Bij oneffenheden in de weg kunnen in een gebouw dat twintig meter van die weg staat, nog trillingen gevoeld worden. Volgens de NIVRE is het vrijwel uitgesloten dat op die afstand schade ontstaat als gevolg van verkeerstrillingen. *Op basis van recent onderzoek kan gesteld worden, dat causaal verband tussen de scheuren en het verkeer niet bij voorbaat uitgesloten is als de afstand tussen de weg en het gebouw kleiner is dan vier meter.*

Onder zeer ongunstige omstandigheden kan door verkeerstrillingen op een afstand van vijf meter hoogstens nog een lichte schade ontstaan.

¹⁸ *Scheuren in gebouwen als gevolg van trillingen door bouwactiviteiten of verkeer (deel 1 en deel 2).* Visser, L. De Register-Expert. 3^e jaargang no. 4. 1995, en 4^e jaargang no. 1. 1996.



4 Conclusies

De doelstelling van de studie is het verkrijgen van meer inzicht in de milieueffecten van infrastructurele aanpassingen, zoals verkeersdrempels, die primair gericht zijn op het remmen van de snelheid.

Om het gewenste inzicht te verkrijgen zijn verschillende analyses en een internationale literatuurstudie uitgevoerd. Dit heeft inzicht opgeleverd in de effecten van een verkeersdrempel op de milieubelasting in de straat waar drempels worden geplaatst. Hierbij is gekeken naar:

- de emissies van schadelijke stoffen;
- de luchtkwaliteit in de straat;
- trillingen nabij de drempel;
- de geluidsbelasting in de straat.

Omdat de drempel ook gevolgen heeft voor verkeersstromen, is bij de analyse van de effecten op de emissies niet alleen naar de gevolgen in de straat gekeken, maar, waar mogelijk, ook naar de totale emissies per voertuig.

De analyses en de literatuurstudie hebben een kwantitatief inzicht opgeleverd in deze milieueffecten. De berekende resultaten zijn echter sterk afhankelijk van de omstandigheden en de gemaakte aannames. De milieueffecten van een drempel zullen per locatie verschillen en het aantal variabelen dat hierbij een rol speelt is groot. De resultaten in deze studie dienen te worden beschouwd als een *indicatie* van de te verwachten effecten.

Op grond van de resultaten in deze studie is wel een aantal kwalitatieve conclusie te trekken (zie Tabel 10). Als referentie voor de scores in deze tabel geldt een situatie zonder drempel waarin met een relatief hoge constante snelheid (bijvoorbeeld 50 kilometer per uur of meer) wordt gereden.

Er zijn twee varianten naast elkaar geplaatst:

- 1 Aanleg van een drempel voor al het verkeer. Dit leidt tot een lagere gemiddelde snelheid (bijvoorbeeld 30 km/uur). De snelheidswisselingen zijn groot en daarmee wordt ook de motor variabel belast.
- 2 Er wordt geen drempel aangelegd, maar al het verkeer rijdt met een relatief lage constante snelheid (bijvoorbeeld 30 km/uur).

Tabel 10 Overzicht milieueffecten

	Varianten	
	3. Drempels voor al het verkeer	4. Constante lagere snelheid voor al het verkeer
CO ₂ -emissies	-	○
Luchtkwaliteit	-	-/○
Geluidsoverlast	○/+	+
Verkeerstrillingen	-/○	+

- : negatief effect; ○ : vrijwel geen effect; + : positief effect.

CO₂-emissies

Bij de bepaling van het effect van drempels op het verbruik en daarmee ook de CO₂-emissies per voertuig is rekening gehouden met:

- de gevolgen voor de emissies per voertuigkilometer;
- de gevolgen voor de lengte van de rit.

Bij de analyse van de gevolgen van de emissies per voertuigkilometer is alleen gekeken naar de straat waar de drempels zijn geplaatst. Op grond van de berekeningen in de voorbeeldsituatie kan de voorzichtige conclusie worden getrokken dat de CO₂-emissies per voertuigkilometer, afhankelijk van het remgedrag, afnemen of gelijk blijven.

Als gevolg van de drempels, en andere maatregelen in het kader van bijvoorbeeld het programma Duurzaam Veilig, zal een deel van het verkeer een andere route kiezen. De verwachting is dat het totaal aantal voertuigkilometers zal toenemen, waardoor de totale emissies, inclusief CO₂, van de voertuigen die in een situatie zonder drempels door de straat zouden rijden naar verwachting zullen toenemen.

Voor de situatie waarin een snelheidsverlaging wordt bereikt zonder drempels, zullen de CO₂-emissies per voertuig in de desbetreffende straat lager worden. De emissies per kilometer van de overige beschouwde stoffen zullen toenemen. Wanneer wordt aangenomen dat het verkeer in deze situatie geen andere route zal kiezen, zijn de veranderingen in emissies in de straat verwaarloosbaar ten opzichte van de emissies over het gehele traject dat het voertuig aflegt.

Luchtkwaliteit in de straat

De emissies in de straat bepalen voor een deel de concentraties van schadelijke stoffen op het trottoir. De emissies per voertuigkilometer van probleemstoffen als NO_x en PM₁₀ zullen als gevolg van de snelheidsreductie toenemen. Deze toename geldt zowel voor een situatie met verkeersdrempels, als voor een situatie met een constant lagere snelheid. De hoogte van de toename verschilt wel tussen deze beide situaties.

Op grond van diverse internationale studies en een aantal indicatieve berekeningen in de voorbeeldsituatie is de schatting gemaakt dat de concentratie NO₂ lokaal met 25 tot 35 procent kan toenemen als gevolg van een snelheidsverlaging door verkeersdrempels. Hierbij is rekening gehouden met een afname van de verkeersintensiteit in de straat doordat een deel van het verkeer, vanwege de drempels, een alternatieve route zal kiezen (de gevolgen voor de milieubelasting langs deze alternatieve routes zijn niet nader beschouwd).

Wanneer in de voorbeeldsituatie uitgegaan wordt van een constante lagere snelheid, dan zal de concentratie van NO₂ lokaal ook kunnen toenemen. Deze toename is naar verwachting minder dan vijf procent.

Geluidsbelasting

Een lagere snelheid leidt tot een lagere geluidsbelasting van voertuigen. Met name bij lichte voertuigen is hier een duidelijk voordeel te behalen. Voor beide situaties geldt dat de gemiddelde snelheid ongeveer gelijk verlaagd wordt. Bij de drempels speelt wel mee dat door de snelheidsverschillen ook meer variatie in geluidsbelasting zal ontstaan. Deze variatie wordt ook als hinderlijk ervaren. De situatie met een constante snelheid heeft daarom een iets hogere score gekregen.

Trillingen

Er bestaat een beperkt risico van schade aan gebouwen als gevolg van trillingen door verkeer. Een verkeersdrempel verhoogt dit risico. Lagere snelheden hebben evenwel ook weer een reducerend effect op trillingen.



Uit de scores in de tabel kan de conclusie worden getrokken dat een verlaging van de snelheden met een verkeersdrempel met name een negatief effect kan hebben op de lokale luchtkwaliteit.

Op basis van de analyses en literatuurstudie kan worden aangenomen dat een constante lagere snelheid door het verkeer positiever doorwerkt op de emissies en luchtkwaliteit dan een lagere snelheid die wordt afgedwongen met verkeersremmende maatregelen als verkeersdrempels.

Vooraf vanuit het perspectief van verkeersveiligheid zijn lagere snelheden in stedelijke gebieden gewenst. Lagere snelheden kunnen echter ook milieubaten meebrengen. Verkeersdrempels leiden echter tot variaties in snelheden die de milieubaten van lagere snelheden beperken of zelfs teniet doen. Vanuit het oogpunt van het milieu gaat de voorkeur uit naar alternatieve snelheidsremmende maatregelen, die wel leiden tot een lagere gemiddelde snelheid, maar snelheidsschommelingen beperken. Bijvoorbeeld door intelligente snelheidsbegrenzers.



Informatiebronnen

CROW
OV-vriendelijke infrastructuur
Ede. 1999

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Emissie en luchtkwaliteit op 2 filelokaties
Delft. 1993

CE
Metz, D. et al.
Optiedocument stedelijke luchtkwaliteit
Delft. 2000

CE
Metz, D. et al.
Een schoner en stiller stads- en streekvervoer via concessieverlening
Delft. 1999

CE
Dings, J. M. W. et al.
Optimale brandstofmix voor het wegverkeer
Delft. 1997

CE, Witteveen+Bos en TNO-MEP
Luchtkwaliteit langs het Nederlandse snelwegennet in 2010
Delft. 2000

NIVRE
Visser, L.
Scheuren in gebouwen als gevolg van trillingen door bouwactiviteiten of
verkeer
De Register-Expert, 3^e jaargang, no. 4. December 1995

NIVRE
Visser, L.
Scheuren in gebouwen als gevolg van trillingen door bouwactiviteiten of
verkeer (2)
De Register-Expert, 4^e jaargang, no. 1. Februari 1996

Transport Research Laboratory
Abbott, P. et al.
The effect of traffic calming measures on vehicle and traffic noise
Traffic Engineering + Control. September 1997

Transport Research Laboratory
Boulter, P. G.
Remote sensing of vehicle emissions near two traffic calming measures in
Gloucester
1999



TNO
Gense, N. L. J.
Driving style, fuel consumption and tail pipe emissions
2000

VITO
Emissie- en verbruiksmetingen aan benzine­wagens in reële omstandighe­den
Vlieger, I de. Et al.
1996



CE

**Oplossingen voor
milieu, economie
en technologie**

Oude Delft 180
2611 HH Delft
tel: 015 2 150 150
fax: 015 2 150 151
e-mail: ce@ce.nl
website: www.ce.n

Een drempel voor het milieu?

Milieueffecten van infrastructurele
maatregelen gericht op verbetering
van de verkeersveiligheid

Bijlagen

Delft, januari 2001

Opgesteld door: ir D. Metz





A Berekening emissies

De totale energie die nodig is om een voertuig met een bepaalde snelheid of versnelling voort te bewegen, is de som van:

- de energie die nodig is om de rolweerstand te overwinnen;
- de energie die nodig is om de luchtweerstand te overwinnen;
- de kinetische energie (de energie om te versnellen).

De formules die zijn gehanteerd voor de berekening van de benodigde energie zijn hieronder weergegeven:

Rolweerstandenergie (E_R)

$$E_R = f_R * m * g * \Delta s \quad (\text{joules})$$

$$f_R = \begin{array}{l} \text{rolweerstandcoëfficiënt licht verkeer} = 0,013 \\ \text{rolweerstandcoëfficiënt zwaar verkeer} = 0,006 \end{array}$$

$$m = \begin{array}{l} \text{massa voertuig (kg)} = \text{gemiddeld licht verkeer: 1.200 kg.} \\ \text{massa voertuig (kg)} = \text{gemiddeld zwaar verkeer: 15.000 kg} \end{array}$$

$$\Delta s = \text{afgelegde afstand (meters)}$$

$$g = 9,807 \text{ m/s}^2$$

Luchtweerstandenergie (E_L)

$$E_L = C_W * A * \frac{1}{2} * \rho * \left[\frac{V_n}{3,6} \right]^2 * \Delta s \quad \text{joules (voor } V_n < 80 \text{ km/uur)}$$

$$\rho = 1,247 \text{ kg/m}^3$$

$$C_W * A = \begin{array}{l} \text{luchtweerstandfactor licht verkeer} = 0,85 \text{ m}^2 \\ \text{luchtweerstandfactor zwaar verkeer} = 4 \text{ m}^2 \end{array}$$

$$\Delta s = \text{afgelegde afstand (meters)}$$

$$V_n = \text{gemiddelde snelheid (km)}$$

Kinetische energie (E_K)

$$E_K = \frac{1}{2} * m * \left[\left(\frac{V_{eind}}{3,6} \right)^2 - \left(\frac{V_{begin}}{3,6} \right)^2 \right] \text{ joules (voor } V_{eind} > V_{begin} \text{)}$$

V_{eind} = snelheid einde beschouwde traject (km/uur)

V_{begin} = snelheid begin beschouwde traject (km/uur)

m = massa voertuig (kg)

Totale benodigde energie ($E_{TOT,ben}$)

$$E_{TOT,ben} = E_R + E_L + E_K \text{ joules}$$

Totaal geleverde energie ($E_{TOT,gel}$)

$$E_{TOT,gel} = \frac{E_{TOT,ben}}{\eta} \text{ joules}$$

η = motorrendement

licht verkeer (constante belasting; 30 km/uur): $\eta = 21 \%$

licht verkeer (constante belasting; 50 km/uur) $\eta = 22 \%$

licht verkeer (variabele belasting; lage snelheden) $\eta = 14 \%$

zwaar verkeer (constante belasting; 30 km/uur): $\eta = 36 \%$

zwaar verkeer (constante belasting; 50 km/uur) $\eta = 37 \%$

zwaar verkeer (variabele belasting; lage snelheden) $\eta = 24 \%$

De bovenstaande percentages zijn aannames die mede gebaseerd zijn op studies van TNO(2000) en VITO(1996) naar de relatie tussen rijgedrag en verbruik.

CO₂-emissies

$$CO_2 = f_{CO_2} * \frac{E_{TOT,gel}}{10^6} \text{ gram per } \Delta s$$

Δs = afgelegde afstand (meters)

f_{CO_2} = emissiefactor CO₂ licht verkeer = 74 g/MJ

= emissiefactor CO₂ zwaar verkeer = 73 g/MJ



B Resultaten berekeningen

In de volgende tabel zijn de resultaten van de CO₂-emissieberekeningen voor de verschillende trajectdelen van de onderscheiden voorbeeldsituaties weergegeven. De trajectdelen zijn zo gekozen dat elk trajectdeel begint of eindigt met een snelheidsverandering (uitgaande van de situatie met drie drempels).

Tabel 11 CO₂-emissies per trajectdeel voorbeeldsituatie

Trajectdeel		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Totaal	Index	
Meters per trajectdeel		14	73	14	15	108	15	14	15	108	15	14	73	14	± 500		
Referenties	Snelheid (km/h)	CO ₂ -emissies (grammen)															
A	Licht	Constant 50	1,19	6,26	1,19	1,31	9,30	1,31	1,19	1,31	9,3	1,31	1,19	6,26	1,19	42	100
	Zwaar	Constant 50	3,60	18,89	3,60	3,96	28,06	3,96	3,60	3,96	28,06	3,96	3,60	18,89	3,60	128	100
B	Licht	Constant 30	0,93	4,88	0,93	1,02	7,25	1,02	0,93	1,02	7,25	1,02	0,93	4,88	0,93	33	78
	Zwaar	Constant 30	2,61	13,70	2,61	2,87	20,36	2,87	2,61	2,87	20,36	2,87	2,61	13,70	2,61	93	73
Beginsnelheid trajectdeel		50	50	25	25	30	30	25	25	30	30	25	25	50			
Eindsnelheid trajectdeel		50	25	25	30	30	25	25	30	30	25	25	50	50			
Duur (seconden)		1	7	2	2	13	2	2	2	13	2	2	7	1			
Drempels	Snelheid (km/h)	CO ₂ -emissies (grammen)															
<i>Rem op de motor</i>		CO ₂ -emissies (grammen)															
	Licht	Gemiddeld ± 30	1,19	0	1,31	1,59	10,87	0	1,31	1,59	10,87	0	1,31	11,46	1,19	43	101
	Zwaar	Gemiddeld ± 30	3,60	0	3,63	4,74	30,53	0	3,63	4,74	30,53	0	4,31	42,59	3,63	132	103
<i>Rem met ontkoppelde motor</i>		CO ₂ -emissies (grammen)															
	Licht	Gemiddeld ± 30	1,19	8,12	1,31	1,59	10,87	1,49	1,31	1,59	10,87	1,49	1,31	11,46	1,19	54	127
	Zwaar	Gemiddeld ± 30	3,60	23,26	3,63	4,74	30,53	4,14	3,63	4,74	30,53	4,14	4,31	42,59	3,63	163	128

