



Rapportage

## **Wegdekcorrectie (*Cwegdek*) van SilentWay voor lichte motorvoertuigen**

# Colofon

Opdrachtnemer

M+P raadgevende ingenieurs BV

Opdrachtgever

Struyk Verwo

Panovenweg 15

4004 JE TIEL

Opdrachtnummer

-

Titel

Wegdekcorrectie ( $C_{weaddek}$ ) van SilentWay voor lichte motorvoertuigen

Rapportnummer

M+P.STRUY.16.01.1

Revisie

0

Datum

27 september 2016

Aantal pagina's

28

Auteurs

ing. R.C.L. van Loon

drs . ing. C.C. Tollenaar

Contactpersoon

ing. R.C.L. van Loon

073-6589050 | vught@mp.nl

M+P

Wolfskamerweg 47 Vught | Postbus 2094, 5260 CB Vught

Visserstraat 50 Aalsmeer | Postbus 344, 1430 AH Aalsmeer

www.mp.nl | onderdeel van de Müller-BBM groep | Lid NLingenieurs |  
ISO 9001 gecertificeerd

Copyright

© M+P raadgevende ingenieurs BV | Niets van deze rapportage mag  
worden gebruikt voor andere doeleinden dan is overeengekomen  
tussen de opdrachtgever en M+P (DNR 2011 Artikel 46).

## Samenvatting

Bij berekeningen aan wegverkeerslawaai bestaat de mogelijkheid om een stiller wegdektype in te voeren. De emissie van het wegverkeersgeluid wordt in dat geval gecorrigeerd met de term  $C_{wegdek}$ , ofwel wegdekcorrectie. Het wegdek kan hiermee opgevoerd worden als geluidmaatregel en eventuele geluidwerende voorzieningen als geluidschermen of gevelisolatie kunnen daarmee geheel of gedeeltelijk achterwege blijven. Van de standaard wegdektypen zijn de wegdekcorrecties onderverdeeld in twaalf wegdekcategorieën en opgenomen tabel 2 en 3 van de CROW-publicatie 316.

Producenten van geluidarme wegdekproducten kunnen voor hun product ook zelf de wegdekcorrectie bepalen volgens de methode uit diezelfde CROW-publicatie. Hiermee is het wegdekproduct toepasbaar in geluidberekeningen. De actuele wegdekcorrecties van de individuele wegdekproducten zijn opgenomen op de website [www.infomil.nl](http://www.infomil.nl).

M+P heeft in opdracht van Struyk Verwo de wegdekcorrectie bepaald van SilentWay. SilentWay is een geluidarme betonstraatsteen.

### De wegdekcorrectie van SilentWay

Dit rapport beschrijft de wegdekcorrectie van SilentWay voor lichte motorvoertuigen en is geldig voor het snelheidsinterval van 40 t/m 50 km/h. De wegdekcorrectie is bepaald aan de hand van SPB-metingen die in de periode van 2006 tot en met 2016 zijn uitgevoerd aan in totaal zeven geografisch gescheiden werken met SilentWay. In tabel I is de wegdekcorrectie van SilentWay weergegeven.

tabel I Wegdekcorrectie ( $C_{wegdek}$ ) van SilentWay voor lichte motorvoertuigen

	40 km/h	50 km/h
$C_{wegdek}$ [dB]	-2,6	-2,9

### Parameters wegdekcorrectie

Voor gebruik in de standaardrekenmethoden van het Reken- en meetvoorschrift geluid is de wegdekcorrectie beschreven met de parameters  $\sigma_m$ ,  $\sigma_{i,m}$  en  $\tau_m$ . Per octaafband  $i$  en voertuigcategorie  $m$  kan de  $C_{wegdek,i,m}$  van SilentWay in berekeningen met Standaardrekenmethode 2 (SRM2) bepaald worden volgens:

$$C_{wegdek,i,m}(v_m) = \sigma_{i,m} + \tau_m \lg\left(\frac{v_m}{v_{0,m}}\right)$$

Bij de eenvoudigere rekenmethode SRM1 wordt geen onderscheid gemaakt tussen de effecten bij de verschillende frequenties en wordt de  $C_{wegdek,m}$  berekend met:

$$C_{wegdek,m}(v_m) = \sigma_m + \tau_m \lg\left(\frac{v_m}{v_{0,m}}\right)$$

De parameters die de  $C_{wegdek}$  voor SilentWay bepalen, zijn weergegeven in tabel II. De  $C_{wegdek}$  is geldig voor de voertuigsnelheden ( $v_m$ ) die binnen het snelheidsinterval liggen. De referentiesnelheid ( $v_0$ ) voor lichte motorvoertuigen ( $m=1$ ) is gelijk aan 80 km/h.

tabel II Parameters  $C_{wegdek}$  van SilentWay voor lichte motorvoertuigen ( $m=1$ ) voor berekeningen met Standaardrekenmethode 1 en 2 (SRM1 en SRM2)

$\sigma_m$	$\sigma_{i,m}$								$\tau_m$	snelheids- interval [km/h]
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz		
-3,6	4,8	4,6	4,5	1,4	-4,0	-6,3	-3,4	-0,7	-3,3	40-50

### De initiële wegdekcorrectie ( $C_{initieel}$ )

De wegdekcorrectie is in het Rmg2012 een gemiddeld geluideffect over de gehele levensduur. De  $C_{wegdek}$  is opgebouwd uit het geluideffect van het nieuwe wegdek ( $C_{initieel}$ ) plus een toeslag voor de akoestische veranderingen in de tijd ( $C_{tijd}$ ). De  $C_{initieel}$  is het verschil tussen de geluidemissie op het nieuwe wegdekproduct ten opzichte van die op het referentiewegdek. De waarden van het referentiewegdek zijn gebaseerd op een groot aantal SPB-metingen aan dicht asfaltbeton (AC surf) van diverse leeftijden. De referentiewaarden representeren dus een gemiddelde akoestische prestatie over de levensduur. In tabel III zijn de parameters  $C_{initieel}$  van SilentWay weergegeven bij de referentiesnelheid van 80 km/h.

tabel III Parameters  $C_{initieel}$  van SilentWay voor lichte motorvoertuigen ( $m=1$ ) bij de referentiesnelheid van 80 km/h

$\Delta L_m$	$\Delta L_{i,m}$								$\tau_m$
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	
-4,8	3,5	3,3	3,2	0,1	-5,3	-7,6	-4,7	-2,0	-3,3

In tabel IV is de initiële wegdekcorrectie weergegeven voor het geldige snelheidsinterval.

tabel IV Initiële wegdekcorrectie ( $C_{initieel}$ ) van SilentWay voor lichte motorvoertuigen

	40 km/h	50 km/h
$C_{initieel}$ [dB]	-3,8	-4,1

### De verouderingscorrectie ( $C_{tijd}$ )

De geluidemissie van het wegverkeer neemt toe naarmate het wegdek ouder wordt. Deze toename in geluidniveau is niet voor alle wegdektypen hetzelfde als de toename die verwerkt is in de waarden van het referentiewegdek. De gemiddelde akoestische prestatie over de technische levensduur van het wegdek is dus mede afhankelijk van de akoestische veranderingen in de tijd. Door de geluidprestatie kort na aanleg ( $C_{initieel}$ ) te vermeerderen met een verouderingscorrectie ( $C_{tijd}$ ) wordt een representatief beeld gegeven van de geluideigenschappen over de levensduur.

Voor SilentWay is een productspecifieke  $C_{tijd}$  bepaald. De verouderingscorrectie die gebruikt is om de  $C_{wegdek}$  te berekenen is gebaseerd op vijf SPB-metingen aan wegvakken die inmiddels meer dan vier jaar onder verkeer zijn. In tabel V zijn de parameters weergegeven.

tabel V *Parameters  $C_{tijd}$  voor lichte motorvoertuigen ( $m=1$ ), gebruikt voor SilentWay*

wegdek	$C_{tijd,i,m}$							
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
SilentWay	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3

## Inhoud

Samenvatting	3	4.2	Vaststellen van de verouderingscorrectie ( $C_{tijd}$ )	19	
De wegdekcorrectie van SilentWay	3	4.2.1	Levensduur	20	
Parameters wegdekcorrectie	3	4.2.2	SPB-resultaten voor de $C_{tijd}$ –bepaling	20	
De initiële wegdekcorrectie ( $C_{initieel}$ )	4	4.2.3	Berekening van de $C_{tijd}$	20	
De verouderingscorrectie ( $C_{tijd}$ )	4	4.3	Vaststellen van de wegdekcorrectie ( $C_{wegdek}$ )	22	
1	Wegdekcorrectie en de wet geluidhinder	7	5	Literatuur	25
1.1	Achtergrond	7	bijlage A	Meetbladen	26
1.2	Wegdekcorrectie	7			
1.2.1	Initiële wegdekcorrectie $C_{initieel}$	7			
1.2.2	De verouderingscorrectie $C_{tijd}$	8			
2	Meetgegevens	9			
2.1	Randvoorwaarden	9			
2.2	SilentWay	9			
3	SPB-metingen	11			
3.1	Meetmethode	11			
3.1.1	Voertuigen	11			
3.1.2	Regressieanalyse	12			
3.1.3	Betrouwbaarheid	12			
3.1.4	Temperatuurcorrectie	12			
3.2	Resultaten	13			
4	BEREKENEN WEGDEKCORRECTIE	14			
4.1	Vaststellen van de initiële wegdekcorrectie ( $C_{initieel}$ )	14			
4.1.1	SPB-resultaten	14			
4.1.2	Middeling van de meetresultaten	15			
4.1.3	Regressieanalyse	16			
4.1.4	Parameters van de initiële wegdekcorrectie $C_{initieel}$	17			

# 1 Wegdekcorrectie en de wet geluidhinder

## 1.1 Achtergrond

In de Wet geluidhinder en de Wet Milieubeheer zijn de normen opgenomen waaraan het geluid van onder andere wegverkeer in allerlei situaties moet voldoen. Om inzicht te krijgen in de geluidbelasting op geluidgevoelige bebouwing kan gemeten of gerekend worden. Dit moet uitgevoerd worden conform de voorschriften die zijn opgenomen in het Reken- en meetvoorschrift geluid 2012 [1] (Rmg2012). Bij de berekeningen volgens het Rmg2012 kan rekening gehouden worden met het effect van een (geluidreducerend) wegdek. De invloed van een wegdek wordt in het rekenvoorschrift meegenomen met een term (de wegdekcorrectie of  $C_{wegdek}$ ) waarmee de geluidemissie van het verkeer op de betreffende weg opgehoogd dient te worden.

De geluidemissie van verkeer op een weg wordt gegeven door de energetische sommatie van de geluidemissie van de afzonderlijke voertuigcategorieën:

$$(1) \quad L_{emissie} = \sum_{m=1}^3 (L_{e,m} + C_{wegdek,m})$$

met:

- $L_{e,m}$  : geluidemissie van motorvoertuigen van type m op het referentiewegdek (afhankelijk van snelheid en intensiteit);
- $m$  : voertuigcategorie (m=1: lichte motorvoertuigen, m=2: middelzware motorvoertuigen en m = 3: zware motorvoertuigen);

$C_{wegdek,m}$  : invloed van een wegdek op de geluidproductie van voertuigcategorie m ten opzichte van het referentiewegdek.

De  $C_{wegdek}$  van een wegdektype wordt bepaald ten opzichte van een referentiewegdek waarvan de geluidproductie vastgelegd is in het Rmg2012. De waarden van het referentiewegdek zijn gebaseerd op metingen op wegdekken van dicht asfaltbeton (AC surf). De methode om de wegdekcorrectie van een wegdektype te bepalen en de gegevens van het referentiewegdek zijn beschreven in het Rmg2012.

## 1.2 Wegdekcorrectie

De  $C_{wegdek}$ -methode 2012 beschrijft de wegdekcorrectie ( $C_{wegdek}$ ) als een levensduurgemiddelde geluidreductie van een wegdek. De  $C_{wegdek}$  is de som van de initiële geluidreductie ( $C_{initieel}$ ) en het tijdgedrag ( $C_{tijd}$ ) van een wegdek.

### 1.2.1 Initiële wegdekcorrectie $C_{initieel}$

De initiële wegdekcorrectie  $C_{initieel}$  legt de initiële geluidreductie van een wegdek vast. Voor het vaststellen van de  $C_{initieel}$  van een wegdek moet op minimaal vijf geografisch gescheiden werken een Statistical Pass-By (SPB)-meting [2] worden uitgevoerd. De metingen worden uitgevoerd aan nieuw aangelegde wegdekken. Uit deze metingen volgt per meetlocatie een lineaire regressielijn van het A-gewogen maximale geluidniveau als functie van de logaritme van de snelheid. Voor het vaststellen van een wegdekcorrectie moeten de SPB-metingen voldoen aan een eis voor de betrouwbaarheid van de regressielijn bij de gemiddelde snelheid. Wanneer er minder dan vijf metingen voldoen aan deze eis kan geen  $C_{wegdek}$  worden opgesteld voor het desbetreffende wegdek.

### 1.2.2 De verouderingscorrectie $C_{tijd}$

De initiële wegdekcorrectie geeft geen goede schatting van de gemiddelde geluidreductie van een wegdek gedurende de levensduur. De slijtage en daarmee de afname van de geluidreductie van een geluidarm wegdek is in het algemeen hoger dan bij een AC surf (het referentiewegdek). Om hiervoor te corrigeren is de verouderingscorrectie  $C_{tijd}$  toegevoegd.

De verouderingscorrectie  $C_{tijd}$  wordt bepaald uit het verschil tussen het gemiddelde resultaat van SPB-metingen op locaties met een nieuw wegdek en het gemiddelde resultaat van SPB-metingen op locaties, waar hetzelfde wegdektype of product langer in gebruik is dan 75% van de verwachte levensduur.

Indien er van het wegdektype geen meetgegevens beschikbaar zijn aan vijf wegvakken ouder dan 75% van de verwachte levensduur, is er de mogelijkheid om de gemiddelde SPB-waarde aan het einde van de levensduur af te leiden uit extrapolatie. Wanneer er helemaal geen metingen beschikbaar zijn aan oudere wegvakken mag de verouderingscorrectie vooralsnog afgeleid worden uit publicatie 316. Hierbij wordt de verouderingscorrectie  $C_{tijd}$  gekozen van de wegdekcategorie waartoe het wegdekproduct behoort.



## 2 Meetgegevens

### 2.1 Randvoorwaarden

De SPB-waarden, die als basis dienen voor de wegdekcorrectie, moeten voldoende betrouwbaar en onder de juiste omstandigheden zijn bepaald. Daarnaast is het wenselijk dat het wegdekproduct in verschillende verkeerssituaties is beproefd zodat de uiteindelijke wegdekcorrectie een representatief gemiddelde is. Om die reden wordt er een aantal randvoorwaarden gesteld aan de set met SPB-metingen:

- Beschrijving van het product  
De civieltechnische eigenschappen die relevant zijn voor het akoestisch presteren van het wegdek moeten beschreven zijn in de  $C_{wegdek}$ -rapportage. De geluideigenschappen van een wegdek worden bepaald door onder andere de steengrootte, de porositeit en de laagdikte van het wegdekproduct. Ook moet duidelijk blijken uit het rapport tot welke wegdekcategorie het product behoort.
- Geografisch gescheiden werken  
De metingen moeten zijn uitgevoerd op geografisch gescheiden werken met hetzelfde product. Dit heeft als doel dat de geluideigenschappen van een product meerdere keren zijn beproefd. Daarnaast is de voertuigpopulatie bij iedere meting verschillend wanneer de meetlocaties geografisch gescheiden zijn.
- Actuele meetgegevens  
Omdat er een geleidelijke verandering is in het voertuigenpark en de daarmee samenhangende verkeersemissie, is de houdbaarheid van een meetresultaat beperkt. De

achterliggende meetgegevens mogen bij de publicatie van de wegdekcorrectie niet ouder zijn dan tien jaar.

- Wegvakken voor de bepaling van de  $C_{tijd}$   
Voor de bepaling van de verouderingscorrectie  $C_{tijd}$  worden metingen aan wegvakken uitgevoerd die minimaal vier jaar in gebruik zijn.
- Betrouwbaarheidstoets  
De SPB-resultaten zijn alleen bruikbaar voor het vaststellen van de wegdekcorrectie indien bij de gemiddelde snelheid de voorgeschreven betrouwbaarheid wordt gehaald (zie par. 4.1.1).
- Meteorologische omstandigheden  
De gemiddelde luchttemperatuur ligt tijdens de metingen tussen de 5 °C en 30 °C.

### 2.2 SilentWay

SilentWay is een geluidarme betonstraatsteen. De steen heeft een fijne oppervlaktetextuur en de toplaag is enigszins poreus. De gemeten wegverhardingen waren allemaal aangebracht in het zogenaamde keperverband. Dit is een aanlegverband waarbij de vellingkanten van de steen onder een hoek van 45° ten opzichte van de rijrichting zijn gelegd. In Nederland worden de meeste wegen met elementenverharding in dit verband aangelegd.

De meetlocaties waar de SPB-metingen zijn uitgevoerd voor de bepaling van de wegdekcorrectie zijn in tabel VI weergegeven. Een aantal locaties komt twee maal voor in het overzicht. Deze zijn gemeten voor de bepaling van zowel de  $C_{initieel}$  en de  $C_{tijd}$ .

tabel VI Overzicht van de meetlocaties met SilentWay

locatie	meetdatum	gemiddelde luchttemperatuur [°C]
<i>meetlocaties ter bepaling van de Cinitieel</i>		
Veghel, Middengaal	29 september 2006	19
Tiel, Grote Burgse Grindweg	11 april 2008	9
Landsmeer, Lisstraat	26 oktober 2010	10
Wormerveer, Zaanweg	17 februari 2011	7
Voorburg, Rodelaan	14 maart 2012	7
Leende, Dorpsstraat	20 september 2016	20
<i>meetlocaties (en jaar van aanleg) ter bepaling van de Ctijd</i>		
Zelhem, Ruurloseweg (2003)	31 augustus 2016	23
Sambeek, Grotestraat (2003)	12 juli 2016	21
Veghel, Middengaal (2006)	12 juli 2016	20
Tiel, Grote Burgse Grindweg (2008)	1 september 2016	22
Voorburg, Rodelaan (2012)	22 juli 2016	22



figuur 1 SilentWay op de Dorpsstraat in Leende

## 3 SPB-metingen

### 3.1 Meetmethode

De Statistical Pass-By (SPB)-methode is een meetmethode waarbij het geluid van passerend verkeer wordt geregistreerd. Deze methode is gestandaardiseerd in de internationale norm ISO 11819-1.

Voor SPB-metingen volgens het Reken- en meetvoorschrift geluid 2012 wordt een microfoon op 7,5 meter uit het hart van de rijstrook geplaatst. Daarnaast is een meethoogte voorgeschreven van 3,0 meter. In het Reken- en meetvoorschrift geluidhinder 2006 [4] was dit 5,0 meter. Wanneer er van het betreffende wegdek oudere meetresultaten op 5,0 meter beschikbaar zijn kunnen die in aanvulling met nieuwe metingen worden gebruikt voor het bepalen van de wegdekcorrectie. Nieuwe metingen moeten dan wel op 3,0 als 5,0 meter hoogte worden uitgevoerd.

Naast de meethoogte is er nog een aantal afwijkingen ten opzichte van de norm ISO 11819-1:

- De in de norm gestelde eisen aan de akoestische eigenschappen van het bodemgebied hoeven niet strikt gevolgd te worden, maar wel wordt aanbevolen om bij de keuze van de meetlocaties zoveel mogelijk met deze eisen rekening te houden;
- Als richtlijn geldt dat op elke locatie metingen aan ten minste honderd lichte en vijftig zware motorvoertuigen uitgevoerd moeten zijn. Het kan voorkomen dat op een locatie deze aantallen niet gehaald worden. Het resultaat van de meting kan wel meegenomen worden in de verdere analyse. Uiteindelijk bepaalt de grootte van het 95%-betrouwbaarheidsinterval van bij de gemiddelde snelheid

of het eindresultaat wordt meegenomen in de verdere analyse.

Bij iedere voertuigpassage worden het maximale A-gewogen geluidniveau  $L_{A,max}$  en de voertuigsnelheid  $v$  geregistreerd. Deze resultaten worden verwerkt in een regressieanalyse. Hierbij wordt de best passende lineaire functie bepaald voor de maximale geluidniveaus van de passages en de logaritme van de bijbehorende snelheid. Bij de passages wordt ook de spectrale verdeling in 1/3-octaaftanden gemeten.



figuur 2 Meetopstelling volgens de SPB-methode

#### 3.1.1 Voertuigen

Bij de metingen wordt onderscheid gemaakt tussen lichte, middelzware en zware motorvoertuigen. Binnen deze categorieën worden bestelwagens met een gewicht lager dan 3,5 ton niet

meegenomen. Door deze voertuigen neemt de spreiding binnen de gehanteerde categorieën onaanvaardbaar toe, zonder dat hier betere inzichten ten aanzien van de eigenschappen van wegdekken tegenover staan. Voertuigen met mankementen en voertuigen met een volgens de ISO-norm niet-representatief rijgedrag zoals optrekken of remmen, worden buiten beschouwing gelaten. Ook voertuigpassages waarbij sprake is van stoorgeluid worden niet meegenomen.

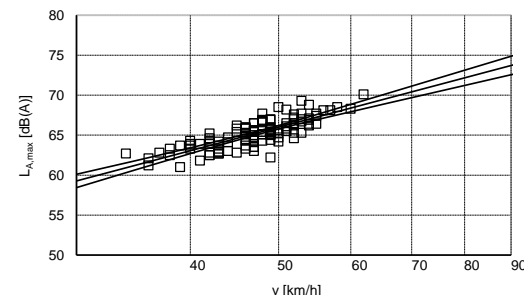
### 3.1.2 Regressieanalyse

Voor de regressieanalyse wordt een spreidingsdiagram gemaakt, waarbij de snelheid logaritmisches wordt weergegeven op de x-as en de geregistreerde geluidniveaus worden weergegeven op de y-as. Door de puntenwolk in het spreidingsdiagram kan de best passende lineaire functie (regressielijn) bepaald worden. Voor deze regressielijn geldt:

$$(2) \quad L_{A,max} = a + b \cdot \lg\left(\frac{v}{v_0}\right)$$

met:

- $L_{A,max}$  : het maximale geluidniveau in dB(A) tijdens een voertuigpassage;
- $a, b$  : de regressieconstanten in dB(A);
- $v$  : de snelheid in km/h;
- $v_0$  : de referentiesnelheid in km/h ( $v_0$  is 80 km/h voor lichte motorvoertuigen en 70 km/h voor (middel)zware motorvoertuigen).



figuur 3 Een spreidingsdiagram met een regressielijn en het 95%-betrouwbaarheidsinterval

### 3.1.3 Betrouwbaarheid

Uit het spreidingsdiagram wordt ook een 95%-betrouwbaarheidsinterval berekend. Binnen dit interval ligt met 95% zekerheid de werkelijke waarde voor de regressielijn. De betrouwbaarheidswaarde  $\Delta 95\%ci$  is gedefinieerd als de helft van het interval.

### 3.1.4 Temperatuurcorrectie

De metingen moeten worden uitgevoerd bij een luchttemperatuur tussen de 5 en 30 °C. In de praktijk zullen hierdoor de geluidmetingen uitgevoerd worden bij verschillende temperaturen. De meetresultaten worden per meting gecorrigeerd naar een temperatuur van 20 °C met de volgende formule:

(3)  $C_{temp} = 0,05 \cdot (T - 20)$  voor lichte motorvoertuigen

met:

$C_{temp}$  : correctie in dB(A);

$T$  : luchttemperatuur tijdens de metingen in °C

## 3.2 Resultaten

Klik [hier](#) voor de resultaten van de afzonderlijke SPB-metingen.

## 4 BEREKENEN WEGDEKCORRECTIE

De methode om de afzonderlijke SPB-resultaten om te rekenen naar een wegdekcorrectie is beschreven in publicatie 316 van CROW [2]. Deze berekening gebeurt in drie stappen:

- Vaststellen van de initiële wegdekcorrectie ( $C_{initieel}$ ) op basis van minimaal vijf SPB-metingen aan het nieuw aangelegde wegdekproduct.
- Vaststellen van de verouderingscorrectie ( $C_{tijd}$ ). Dit gebeurt bij voorkeur op basis van metingen aan oude wegvakken met het betreffende wegvakproduct. Het is niet altijd mogelijk om de  $C_{tijd}$  op basis van metingen vast te stellen. In dat geval mogen voorsnog de  $C_{tijd}$ -waarden van de betreffende standaard wegdekategorie uit publicatie 316 worden overgenomen.
- Vaststellen van de wegdekcorrectie ( $C_{wegdek}$ ) door de  $C_{initieel}$  en de  $C_{tijd}$  bij elkaar op te tellen.

### 4.1 Vaststellen van de initiële wegdekcorrectie ( $C_{initieel}$ )

Op basis van zes SPB-metingen aan SilentWay is de initiële wegdekcorrectie ( $C_{initieel}$ ) vastgesteld. Deze analyse is voor SilentWay aan lichte motorvoertuigen ( $m=1$ ) uitgevoerd.

#### 4.1.1 SPB-resultaten

In de  $C_{wegdek}$ -methode worden eisen gesteld aan de betrouwbaarheid van de SPB-metingen. Bij de gemiddelde snelheid mag de

betrouwbaarheidswaarde ( $\Delta 95\%ci$ ), na afronding op één decimaal niet groter zijn dan:

$$(4) \quad 0,3 \cdot \sqrt{\left(\frac{99}{N_1-1}\right)} \quad \text{voor lichte motorvoertuigen}$$

met:

$N_1$  = het aantal gemeten lichte motorvoertuigen

In tabel VII is per meetlocatie ( $k$ ) de betrouwbaarheidswaarde ( $\Delta 95\%ci_k$ ) bij de gemiddelde snelheid en de eis volgens de  $C_{wegdek}$ -methode gegeven. Bij alle metingen is deze waarde kleiner dan of gelijk aan de eis die volgt uit vergelijking (4). Alle metingen zijn bruikbaar voor verdere analyse.

tabel VII De betrouwbaarheidswaarde bij de gemiddelde snelheid en de eis volgens vergelijking (4)

locatie	aantal metingen	gemiddelde snelheid [km/h]	betrouwbaarheids-waarde ( $\Delta 95\%ci_k$ ) bij gemiddelde snelheid	eis volgens vergelijking (4)
Veghel, Middengaal	106	51	0,2	0,3
Tiel, Grote Burgse Grindweg	107	36	0,3	0,3
Landsmeer, Lisstraat	99	32	0,3	0,3
Wormerveer, Zaanweg	118	37	0,2	0,3
Voorburg, Rodelaan	120	47	0,2	0,3
Leende, Dorpsstraat	259	38	0,2	0,2

In tabel VIII zijn de SPB-niveaus voor lichte motorvoertuigen op de zes meetlocaties afzonderlijk weergegeven. Voor discrete waarden van de snelheid is voor elke locatie het gemiddelde A-gewogen geluidniveau na temperatuurcorrectie gepresenteerd. De waarden zijn bepaald op een meethoogte van 5 meter. Tussen haakjes is de betrouwbaarheidswaarde ( $\Delta 95\%ci_k$ ) weergegeven.

tabel VIII SPB-waarden voor SilentWay en het referentiewegdek (Rmg2012) voor lichte motorvoertuigen

locatie	SPB-waarde [dB(A)]				
	30 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h	70 km/h
Veghel, Middengaal	61,0 (0,8)	63,9 (0,4)	66,1 (0,2)	67,9 (0,3)	69,4 (0,5)
Tiel, Grote Burgse Grindweg	59,3 (0,6)	62,8 (0,4)	65,4 (0,8)	67,6 (1,3)	69,4 (1,7)
Landsmeer, Lisstraat	60,0 (0,3)	63,7 (0,5)	66,5 (0,7)	68,8 (1,0)	70,7 (1,2)
Wormerveer, Zaanweg	60,4 (0,4)	63,6 (0,2)	66,1 (0,6)	68,2 (0,9)	69,9 (1,2)
Voorburg, Rodelaan	58,6 (0,8)	62,4 (0,4)	65,3 (0,2)	67,7 (0,5)	69,8 (0,7)
Leende, Dorpsstraat	58,7 (0,3)	62,2 (0,2)	64,9 (0,4)	67,1 (0,5)	69,0 (0,7)
referentie (Rmg2012) (5m)	63,0	66,7	69,7	72,1	74,1

#### 4.1.2 Middeling van de meetresultaten

Uit de SPB-waarden uit tabel VIII (en bijlage A) volgt een gewogen gemiddeld geluidniveau voor de snelheden van 30 tot 130 km/h (in

stappen van 10 km/h). De weging van het gemiddelde gebeurt op basis van de 95%-betrouwbaarheidsintervallen horend bij de SPB-waarden. De grootte van het betrouwbaarheidsinterval bepaalt in welke mate het resultaat van een meetlocatie in de gemiddelde waarde meetelt. De berekening van het gewogen gemiddelde geluidniveau is als volgt uitgevoerd:

$$(5) \quad L_{gem,m}(v_m) = \frac{\sum_i \frac{L_{k,m}(v_m)}{\Delta 95\%ci_{k,m}(v_m)^2}}{\sum_i \frac{1}{\Delta 95\%ci_{k,m}(v_m)^2}}$$

met:

- $L_{gem}$  : het gewogen gemiddelde geluidniveau in dB(A);
- $L_k$  : het gemiddelde geluidniveau in dB(A) voor locatie  $k$ ;
- $\Delta 95\%ci_k$  : de betrouwbaarheidswaarde voor locatie  $k$ ;
- $v$  : de snelheid in km/h (in stappen van 10 km/h);
- $m$  : de voertuigcategorie ( $m = 1$ : lichte motorvoertuigen,  $m = 2$ : middelzware motorvoertuigen en  $m = 3$ : zware motorvoertuigen).

De bijbehorende gemiddelde betrouwbaarheidswaarde  $\Delta 95\%ci_{gem}$  wordt berekend met:

$$(6) \quad \Delta 95\%ci_{gem,m}(v_m) = \frac{1}{\sqrt{\sum_i \frac{1}{\Delta 95\%ci_{k,m}(v_m)^2}}}$$

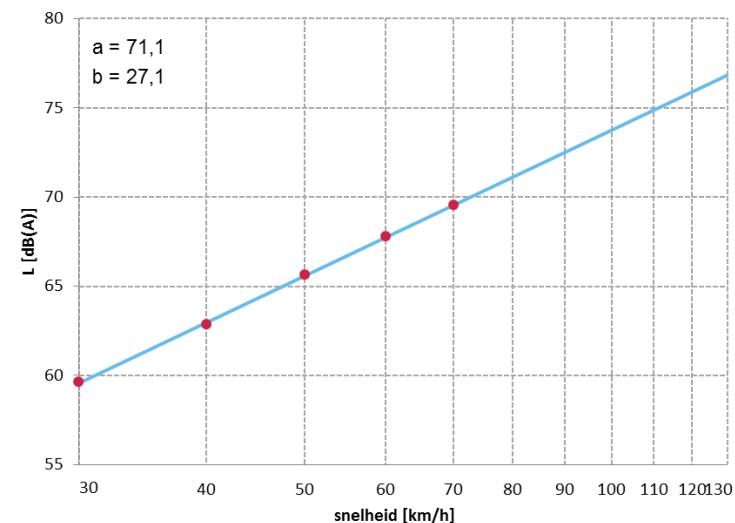
In tabel IX zijn de gewogen gemiddelde geluidsniveaus ( $L_{gem}$ ) en de gemiddelde 95%-betrouwbaarheidswaarde ( $\Delta 95\%ci_{gem}$ ) weergegeven.

tabel IX Gewogen gemiddelde geluidniveaus en tussen haakjes de gemiddelde 95%-betrouwbaarheidswaarde voor lichte motorvoertuigen op SilentWay

	$L_{gem}$ [dB(A)]				
	30 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h	70 km/h
SilentWay	59,6 (0,2)	62,8 (0,1)	65,6 (0,1)	67,8 (0,2)	69,5 (0,3)

#### 4.1.3 Regressieanalyse

Op basis van lineaire regressie wordt een verband afgeleid tussen het gewogen gemiddelde geluidniveau en de logaritme van de snelheid volgens  $a_m + b_m \cdot \lg(v_m/v_{0,m})$ . De regressieanalyse wordt alleen toegepast op de gemiddelde SPB-waarden die een betrouwbaarheidswaarde hebben die niet groter is dan 0,3 dB(A).



figuur 4 Regressieanalyse van de gewogen gemiddelde geluidniveaus die voldoen aan de betrouwbaarheidseis en de logaritme van de snelheid

In tabel X zijn de waarden van  $a_m$  en  $b_m$  van de bepaalde regressielijn weergegeven.

tabel X Waarden van  $a_m$  en  $b_m$  uit de regressieanalyse voor lichte motorvoertuigen ( $m=1$ )

	$a_m$	$b_m$
SilentWay	71,1	27,1



De initiële wegdekcorrectie is alleen geldig voor de snelheden waar de 95%-betrouwbaarheidswaarde in tabel IX kleiner dan of gelijk is aan 0,1 dB(A). Bij de snelheden 40 en 50 km/h wordt aan deze eis voldaan. De wegdekcorrectie van SilentWay is daarmee geldig voor de snelheden van 40 t/m 50 km/h.

#### 4.1.4 Parameters van de initiële wegdekcorrectie $C_{initieel}$

Met de regressiewaarden uit tabel X kan de initiële wegdekcorrectie bepaald worden. Hiervoor worden de regressiewaarden van SilentWay vergeleken met die van het referentiewegdek. De initiële wegdekcorrectie is beschreven met:

$$(7) \quad C_{initieel,m}(v_m) = \Delta L_m + \tau_m \lg\left(\frac{v_m}{v_{0,m}}\right)$$

met:

- $C_{initieel}$  : de initiële wegdekcorrectieterm in dB(A);
- $\Delta L$  : de geluidreductie bij de referentiesnelheid in dB(A);
- $\tau$  : de snelheidsafhankelijke term in dB(A);
- $v$  : de snelheid in km/h;
- $v_0$  : de referentiesnelheid in km/h ( $v_0$  is 80 km/h voor lichte motorvoertuigen en 70 km/h voor (middel)zware motorvoertuigen).

De geluidreductie bij de referentiesnelheid  $\Delta L_m$  en de snelheidsafhankelijke term  $\tau_m$  worden berekend met de volgende formules:

$$(8) \quad \Delta L_m = a_m - a_{ref,m}$$

$$(9) \quad \tau_m = b_m - b_{ref,m}$$

met:

$a_{ref,m} = 75,9$  en  $b_{ref,m} = 30,4$  voor lichte motorvoertuigen ( $m=1$ ) bij metingen op 5,0 meter hoogte

Het resultaat van de berekening volgens bovenstaande formules is gepresenteerd in tabel XI.

tabel XI Parameters van  $C_{initieel}$  voor lichte motorvoertuigen ( $m=1$ ) en de snelheid waarvoor de waarden geldig zijn

	$\Delta L_m$	$\tau_m$	snelheidsinterval [km/h]
SilentWay	-4,8	-3,3	40-50

Bij geluidberekeningen met Standaardrekenmethode 2 (SRM2) wordt onderscheid gemaakt tussen de effecten bij de verschillende frequenties. De geluidreductiewaarde  $\Delta L_m$  in tabel XI beschrijft het effect op het totale geluidniveau. Het wegdekeffect op de geluidemissie is niet voor iedere frequentie hetzelfde en voor een goede bepaling van het wegdekeffect wordt de wegdekcorrectie daarom per octaafband vastgesteld. De geluidreductiewaarde  $\Delta L_m$  en de spectrale verdeling van de geluidniveaus, zoals die bepaald is tijdens de SPB-metingen, resulteren in de  $\Delta L_{i,m}$ , waarbij  $i$  staat voor het nummer van de octaafband.

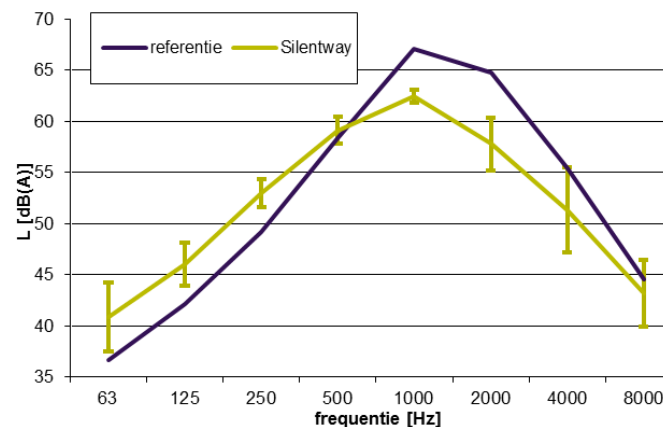
De initiële wegdekcorrectie  $C_{initieel,i,m}$  wordt nu beschreven met:

$$(10) \quad C_{initieel,i,m}(v_m) = \Delta L_{i,m} + \tau_m \lg\left(\frac{v_m}{v_{0,m}}\right)$$

met:

- $C_{initieel}$  : de initiële wegdekcorrectieterm in dB(A);
- $\Delta L$  : de geluidreductie bij de referentiesnelheid in dB(A);
- $\tau_m$  : de snelheidsafhankelijke term in dB(A) (zie tabel XI);
- $v$  : de snelheid in km/h;
- $v_0$  : de referentiesnelheid in km/h ( $v_0$  is 80 km/h voor lichte motorvoertuigen en 70 km/h voor (middel)zware motorvoertuigen),
- $m$  : voertuigcategorie ( $m = 1$ : lichte motorvoertuigen,  $m = 2$ : middelzware motorvoertuigen en  $m = 3$ : zware motorvoertuigen);
- $i$  : de octaafband in Hz van 63 tot 8000 Hz,

Tijdens de SPB-metingen is van iedere gemeten voertuigpassage ook het frequentiespectrum geregistreerd op het moment dat het maximale geluidniveau optreedt. Voor iedere locatie is per voertuigcategorie een gemiddeld frequentiespectrum in octaafbanden (van 63 tot en met 8000 Hz) berekend. Vervolgens is per octaafband een gemiddeld geluidniveau bepaald door de resultaten van de afzonderlijke SPB-metingen rekenkundig te middelen (zonder weging op grond van betrouwbaarheid). In figuur 5 is het gemiddelde octaafbandspectrum van SilentWay gepresenteerd (bij 50 km/h). De spreidingsbalken geven de standaarddeviatie in de geluidniveaus per octaafband weer.



figuur 5 Gemiddelde octaafbandspectrum voor lichte motorvoertuigen van vijf locaties met SilentWay bij 50 km/h

Het gemiddelde spectrum wordt vervolgens zo genormeerd dat de energetische sommatie over de octaafbanden gelijk is aan 0 dB(A). In tabel XII zijn het op nul genormeerde spectrum van SilentWay en het referentiewegdek gegeven.

tabel XII Het op nul genormeerd frequentiespectrum van SilentWay en het referentiewegdek

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
SilentWay	-24,7	-19,5	-12,6	-6,4	-3,1	-7,7	-14,2	-22,3
referentiewegdek	-33,0	-27,6	-20,5	-11,3	-2,6	-4,9	-14,3	-25,1

Door per octaafband het verschil tussen de waarden van SilentWay en het referentiewegdek te vermeerderen met de waarde van  $\Delta L_m$  (tabel XI) worden de coëfficiënten voor de initiële wegdekcorrectie per octaafband verkregen. In tabel XIII zijn de coëfficiënten van de initiële wegdekcorrectie weergegeven bij de referentiesnelheid van 80 km/h.

tabel XIII  $C_{initieel}$  van SilentWay voor lichte motorvoertuigen ( $m=1$ ) bij de referentiesnelheid van 80 km/h

$\Delta L_m$	$\Delta L_{i,m}$							
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
-4,8	3,5	3,3	3,2	0,1	-5,3	-7,6	-4,7	-2,0

In tabel XIV is de initiële wegdekcorrectie weergegeven.

tabel XIV Initiële wegdekcorrectie ( $C_{initieel}$ ) van SilentWay voor lichte motorvoertuigen

	40 km/h	50 km/h
$C_{initieel}$ [dB]	-3,8	-4,1

## 4.2 Vaststellen van de verouderingscorrectie ( $C_{tijd}$ )

De geluidemissie van het wegverkeer neemt toe naarmate het wegdek ouder wordt. Deze toename in geluidniveau is niet voor alle wegdektypen hetzelfde als de toename die verwerkt is in de waarden van het referentiewegdek. De gemiddelde akoestische prestatie over de technische levensduur van het wegdek is dus mede afhankelijk van de akoestische veranderingen in de tijd. Door de geluidprestatie kort na aanleg ( $C_{initieel}$ ) te vermeerderen met een verouderingscorrectie ( $C_{tijd}$ ) wordt een representatief beeld gegeven van de geluideigenschappen over de levensduur. De verouderingscorrectie ( $C_{tijd}$ ) bij voorkeur vastgesteld met behulp van SPB-metingen aan oudere wegvakken met het betreffende wegdekproduct. Voor SilentWay is deze productspecifieke  $C_{tijd}$  bepaald.

De verouderingscorrectie  $C_{tijd}$  volgt uit het resultaat van SPB-metingen op locaties met een nieuw wegdek en het gemiddelde SPB-resultaat van SPB-metingen op locaties waar hetzelfde product langer in gebruik is dan 75% van de verwachte levensduur ( $SPB_{>75\%levensduur}$ ). Is de leeftijd van de gemeten wegvakken nog niet 75% van de levensduur gepasseerd, mag de  $SPB_{>75\%levensduur}$  ook afgeleid worden door middel van extrapolatie van de SPB-resultaten. De SPB-metingen moeten zijn uitgevoerd aan wegvakken die minstens vier jaar in gebruik zijn.

#### 4.2.1 Levensduur

De technische levensduur van een betonstraatsteen als SilentWay is 40 jaar. De technische levensduur van de gehele verharding is doorgaans korter en sterk afhankelijk van omgevingsfactoren als verkeersbelasting en bodemgesteldheid. Bij elementenverhardingen is het gebruikelijk dat de verharding tussentijds wordt opgebroken voor herstel en onderhoud. Door onder andere onvlakheid, ongelijke zettingen en spoorvorming wordt onderhoud gepleegd middels herstraten en verbeteren. De akoestische levensduursverwachting van een elementenverharding met SilentWay is naar verwachting 20 jaar. Op dat moment beschouwen we de akoestische levensduur ten einde en start een nieuwe cyclus.

#### 4.2.2 SPB-resultaten voor de $C_{tijd}$ –bepaling

De verouderingscorrectie wordt vastgelegd bij een vaste waarde van de snelheid. Afhankelijk van de toepassing van het wegdektype is dat 50, 80 of 110 km/h. daarnaast moet het snelheidsbereik van de passerende voertuigen op de oudere wegvakken (metingen voor  $C_{tijd}$ ) zoveel mogelijk overeen komen met het snelheidsbereik van de metingen op de nieuwe wegdekken (metingen voor  $C_{initieel}$ ). Silentway is een wegdektype dat in binnenstedelijke situaties wordt toegepast, vaak op wegen waar de gemiddelde snelheid lager is dan 50 km/h.

In onderstaande tabel zijn de resultaten weergegeven van de SPB-metingen aan de wegvakken die minstens vier jaar in gebruik zijn. Door de vijf SPB-resultaten rekenkundig te middelen wordt  $SPB_{>4jaar,lichte\ mvt}$  bepaald. Randvoorwaarde hierbij is voor de afzonderlijke SPB-resultaten aan de betrouwbaarheidseis volgens (4) voldaan wordt. In het geval van SilentWay is dat bij 40 km/h voor alle vijf de locaties het geval. Omdat de resultaten bij 40 km/h een hogere

betrouwbaarheidswaarde hebben dan bij 50 km/h, is de  $C_{tijd}$  voor SilentWay vastgesteld bij 40 km/h.

Van de vijf wegvakken is tevens de gemiddelde gebruiksduur bepaald ( $T_{ggd}$ ).

tabel XV SPB-resultaten van SilentWay voor lichte motorvoertuigen op wegvakken die minstens vier jaar in gebruik zijn

locatie	SPB-waarde [dB(A)]			
	Gebruiksduur [jaren]	30 km/h	40 km/h	50 km/h
Zelhem, Ruurloseweg	13,4	61,6 (0,4)	65,6 (0,3)	66,6 (0,4)
Sambeek, Grotestraat	13,1	63,2 (0,9)	67,2 (0,3)	70,3 (0,3)
Veghel, Middengaal	9,8	60,7 (0,7)	64,7 (0,3)	67,8 (0,3)
Tiel, Grote Burgse Grindweg	8,4	62,6 (0,3)	66,9 (0,3)	70,2 (0,6)
Voorburg, Rodelaan	4,4	62,1 (1,0)	65,1 (0,3)	67,3 (0,3)
$SPB_{>4jaar,lichte\ mvt}$	9,8 (= $T_{ggd}$ )	62,0	65,8	68,8

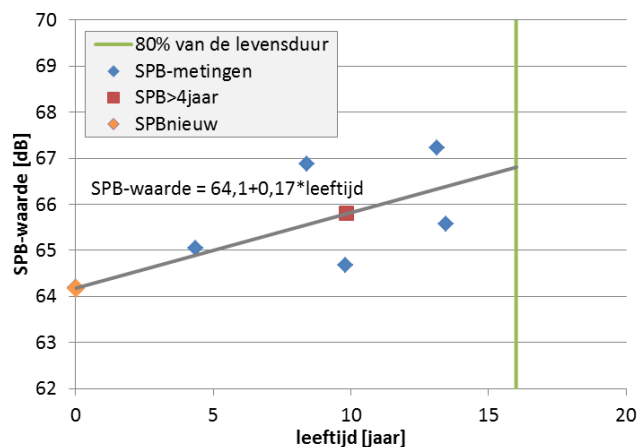
#### 4.2.3 Berekening van de $C_{tijd}$

De waarde van  $SPB_{>75\%levensduur}$  wordt bepaald door het verloop tussen  $SPB_{nieuw,m}$  en  $SPB_{>4jaar,m}$  te extrapoleren van de gemiddelde gebruiksduur  $T_{ggd}$  naar 80% van de verwachte gemiddelde levensduur  $T_{80\%}$ . Dit gebeurt als volgt:

$$(11) \quad SPB_{>75\%levensduur,m} = SPB_{nieuw,m} + (SPB_{>4jaar,m} - SPB_{nieuw,m}) \left( \frac{T_{80\%}}{T_{ggd}} \right)$$

De verwachte gemiddelde akoestische levensduur voor een verharding met SilentWay is 20 jaar. Het gemiddelde resultaat van SPB-metingen op locaties met een nieuw wegdek ( $SPB_{nieuw,m}$ ) wordt berekend aan de hand van de  $C_{initieel}$  bij 40 km/h. Voor Silentway is de  $SPB_{nieuw,lichte\ motorvoertuigen}$  gelijk aan 64,2 dB.

De waarde van  $SPB_{>75\%levensduur}$  is daarmee volgens vergelijking (11) gelijk aan 66,8 dB. In figuur 6 is de berekening nog eens grafisch weergegeven.



figuur 6 Grafische weergave van de extrapolatie van de SPB-resultaten naar 80% van de verwachte levensduur voor SilentWay.

De  $C_{tijd,m}$  wordt vervolgens bepaald met:

$$(12) \quad C_{tijd} = \frac{SPB_{>75\%levensduur,m} - SPB_{nieuw,m}}{2} = 1,3 \text{ dB}$$

Wanneer gebruik gemaakt wordt van de extrapolatiemethode, is de  $C_{tijd}$  voor iedere octaafband gelijk.

In tabel XVI is de verouderingscorrectie voor lichte motorvoertuigen van SilentWay weergegeven.

tabel XVI Verouderingscorrectie  $C_{tijd,m}$  voor lichte motorvoertuigen ( $m=1$ ) van SilentWay

wegdekcategorie	$C_{tijd,i,m}$							
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
SilentWay	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3

#### 4.2.4 Akoestisch gedrag in de tijd

Bij de vaststelling van de verouderingscorrecties voor de standaardcategorieën is in 2010 een grote hoeveelheid meetgegevens aan stille wegdekken geanalyseerd [5]. Van de wegdekcategoriën ZOAB, tweelaags ZOAB, dunne dekklagen B waren veel gegevens beschikbaar om nauwkeurig het akoestisch gedrag in de tijd vast te stellen. De in het onderzoek gehanteerde levensduren, de afname van de geluidreductie in de tijd en de daaruit afgeleide  $C_{tijd}$  zijn in tabel XVII weergegeven. Ter vergelijking zijn daar de gegevens van SilentWay aan toegevoegd.

tabel XVII Akoestisch gedrag in de tijd van verschillende wegdektypen

wegdekcategorie volgens publicatie 316	SPB-waarde [dB(A)]		
	levensduur [jaren]	achteruitgang geluidreductie dB/jaar	$C_{tijd}$ [dB]
cat.1: ZOAB	11	0,4	1,6
cat. 2: tweelaags ZOAB	8	0,6	1,8
cat. 10 stille elementenverh.*	-	-	1,5
cat. 12: dunne deklaag B	9	0,5	1,7
SilentWay	20	0,16	1,3

\*Van stille elementenverharding was geen specifieke informatie beschikbaar over de akoestische ontwikkeling in de tijd. De  $C_{tijd}$  is voor deze categorie bepaald op basis van expert judgement.

Uit bovenstaande tabel valt op te maken dat de verwachte levensduur van een geluidarme elementenverharding significant langer is dan van de geluidarme asfaltverhardingen. De achteruitgang van de geluidreductie per jaar is ook minder dan die van geluidreducerende asfaltverhardingen.

### 4.3 Vaststellen van de wegdekcorrectie ( $C_{wegdek}$ )

De totale wegdekcorrectie voor de toepassing in Standaardrekenmethode 1 en Standaardrekenmethode 2 is te bepalen uit de initiële wegdekcorrectie  $C_{initieel}$  en de verouderingscorrectie  $C_{tijd}$ .

De snelheidsonafhankelijke term van de  $C_{wegdek}$  wordt bepaald uit de som van de initiële wegdekcorrectie en de verouderingscorrectie. Deze snelheidsonafhankelijke term  $\sigma_{i,m}$  wordt berekend met de volgende formule:

$$(13) \quad \sigma_{i,m} = \Delta L_{i,m} + C_{tijd,i,m}$$

met:

- $\sigma$  : de snelheidsonafhankelijke term van de  $C_{wegdek}$  in dB(A);
- $\Delta L$  : de initiële wegdekcorrectie in dB(A);
- $C_{tijd}$  : de verouderingscorrectie in dB(A);
- $i$  : de octaafband in Hz,
- $m$  : voertuigcategorie (m = 1: lichte motorvoertuigen, m = 2: middelzware motorvoertuigen en m = 3: zware motorvoertuigen).

Deze sommatie levert de volgende waarden op voor de snelheidsonafhankelijke term  $\sigma_{i,m}$ .

tabel XVIII De snelheidsonafhankelijke term van de  $C_{wegdek}$  voor lichte motorvoertuigen

$\sigma_{i,m}$							
63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
4,8	4,6	4,5	1,4	-4,0	-6,3	-3,4	-0,7

De wegdekcorrectie voor berekeningen in Standaardrekenmethode 2 worden berekend via:

$$(14) \quad C_{wegdek,i,m} = \sigma_{i,m} + \tau_m \cdot \log\left(\frac{v_m}{v_{0,m}}\right)$$

met:

- $C_{wegdek,i,m}$  : de wegdekcorrectie in dB(A);
- $\sigma_{i,m}$  : de snelheidsafhankelijke term van de  $C_{wegdek}$  in dB(A);
- $\tau_m$  : de snelheidsafhankelijke term in dB(A);
- $v_m$  : de snelheid in km/h;
- $v_{0,m}$  : de referentiesnelheid in km/h ( $v_0$  is 80 km/h voor lichte motorvoertuigen en 70 km/h voor (middel)zware motorvoertuigen);
- $i$  : de octaafband in Hz,
- $m$  : voertuigcategorie ( $m = 1$ : lichte motorvoertuigen,  $m = 2$ : middelzware motorvoertuigen en  $m = 3$ : zware motorvoertuigen).

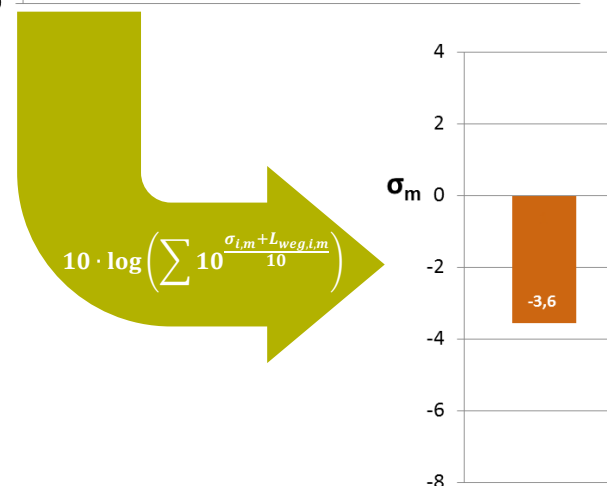
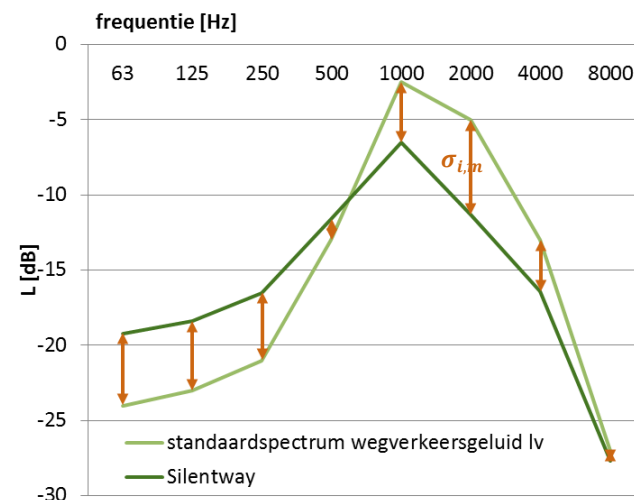
Voor berekeningen met Standaardrekenmethode 1 is de snelheidsafhankelijke term van de  $C_{wegdek}$  gelijk aan  $\sigma_m$ . Om deze vast te stellen wordt de wegdekcorrectie per octaafband toegepast op een standaardspectrum voor wegverkeersgeluid (tabel 6 van de CROW-publicatie 316). De energetische som van de octaafbanden levert het totale geluidniveau van dat wegdek. Het verschil tussen dat geluidniveau en dat van het standaardspectrum voor wegverkeersgeluid is de term  $\sigma_m$ .

$$(15) \quad \sigma_m = 10 \cdot \log\left(\sum 10^{\frac{\sigma_{i,m} + L_{weg,i,m}}{10}}\right)$$

met:

- $L_{weg,i,m}$  = de waarden van het genormeerde standaardspectrum voor wegverkeersgeluid in dB(A) uit publicatie 316;

In figuur 7 is de berekening van  $\sigma_m$  grafisch weergegeven.



figuur 7 Berekening van de  $\sigma_m$  aan de hand van het genormeerde standaardspectrum voor wegverkeersgeluid

Voor SilentWay bedraagt  $\sigma_m$  -3,6 dB.

De uiteindelijke wegdekcorrectie voor de toepassing in de standaardrekenmethode 1 is:

$$(16) \quad C_{wegdek,m} = \sigma_m + \tau_m \cdot \log\left(\frac{v_m}{v_{0,m}}\right)$$

De parameters van de wegdekcorrectie van SilentWay zijn weergegeven in tabel XIX.

tabel XIX De parameters  $C_{wegdek}$  van SilentWay voor lichte motorvoertuigen ( $m=1$ ) voor berekeningen met Standaardrekenmethode 1 en 2

$\sigma_m$	$\sigma_{i,m}$								$\tau_m$	snelheids- interval [km/h]
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz		
-3,6	4,8	4,6	4,5	1,4	-4,0	-6,3	-3,4	-0,7	-3,3	40-50

Met behulp van de coëfficiënten uit tabel XIX kan de  $C_{wegdek}$  als functie van de snelheid berekend worden. De resultaten hiervan staan in tabel XX.

tabel XX  $C_{wegdek}$  van SilentWay bij de snelheid waarvoor deze geldig is voor lichte motorvoertuigen

	40 km/h	50 km/h
$C_{wegdek}$ [dB]	-2,6	-2,9



## 5 Literatuur

- [1] Reken- en meetvoorschrift geluid 2012 (bijlage III), Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Den Haag, Staatscourant nr, 11810, 27 juni 2012;
- [2] ISO 11819-1, "Acoustics - Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise - Part 1: The Statistical Pass-By method", 24-05-1996;
- [3] Publicatie 316 'De wegdekcorrectie voor geluid van wegverkeer 2012', CROW, Ede, september 2012;
- [4] Bijlage III van het Reken- en meetvoorschrift geluidhinder 2006, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag, Staatscourant nr, 249, 21 december 2006;
- [5] M+P.CROW.10.02C, "Wegdekcorrectie 2010, implementatie nieuwe methode Cwegdek, analyse en bepalen wegdekcorrecties", 24 december 2010.



Bijlage A

---

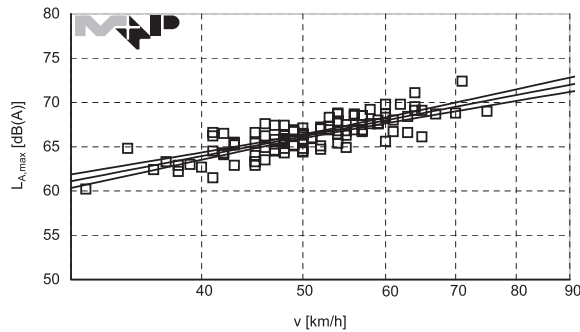
## Meetbladen

## Statistical Pass-By

<b>Locatie</b>	Veghel Middengaal	<b>Datum</b>	29-09-2006
<b>Km.</b>		<b>Temperatuur lucht [°C]</b>	19
<b>Richting</b>	zuid	<b>Temperatuur wegdek [°C]</b>	21
<b>Wegdek</b>	Silent Way	<b>Voertuigcategorie</b>	Lichte motorvoertuigen
		<b>Meethoogte</b>	5 m

### Regressie-analyse

Trendlijn en 95% betrouwbaarheidsinterval



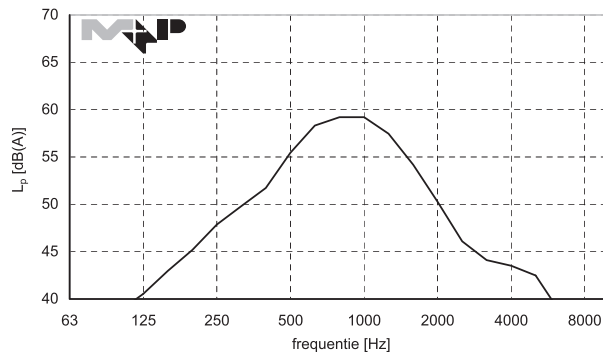
v [km/h]	$L_{A,max}$ [dB(A)]	95%CI [dB(A)]
30	61.1	0.8
40	63.9	0.4
50	66.2	0.2
60	68.0	0.3
70	69.5	0.5
80	70.8	0.7
90	72.0	0.8
100	73.0	0.9
110	74.0	1.1

Trendlijn:  $L_{A,max} = a + b * \log(v/v_o)$

Constante $a$	70.8	Aantal metingen	106
Richtingscoëfficiënt $b$	22.8	Gemiddelde snelheid [km/h]	51.1
Correlatiecoëfficiënt $R$	0.8	Standaarddeviatie snelheid [km/h]	8.6
Residu [dB(A)]	1.2	Gemiddelde $L_{A,max}$ [dB(A)]	66.2
Referentiesnelheid $v_o$ [km/h]	80	Standaarddeviatie $L_{A,max}$ [dB(A)]	2.1

### Frequentie-analyse

1/3 octaafbandspectrum bij 50 km/h



Octaafbandspectrum bij 50 km/h

f [Hz]	$L_p$ [dB(A)]
63	39.5
125	45.9
250	52.8
500	60.7
1000	63.5
2000	56.1
4000	48.2
8000	41.3
tot	66.2

Veghel Middengaal

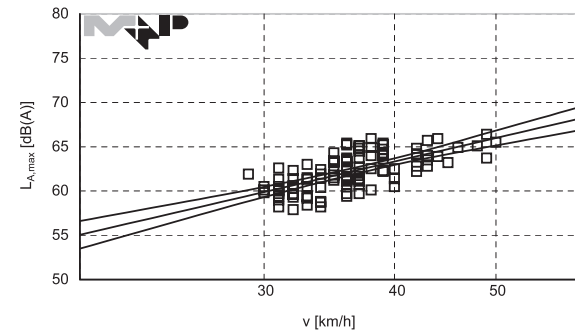
M+P - raadgevende ingenieurs  
Vught 073-6589050

## Statistical Pass-By

<b>Locatie</b>	Tiel Grotebrugse Grintweg	<b>Datum</b>	11-04-2008
<b>Km.</b>		<b>Temperatuur lucht [°C]</b>	9
<b>Richting</b>	noord	<b>Temperatuur wegdek [°C]</b>	15
<b>Wegdek</b>	Silent Way	<b>Voertuigcategorie</b>	Lichte motorvoertuigen
		<b>Meethoogte</b>	5 m

### Regressie-analyse

Trendlijn en 95% betrouwbaarheidsinterval



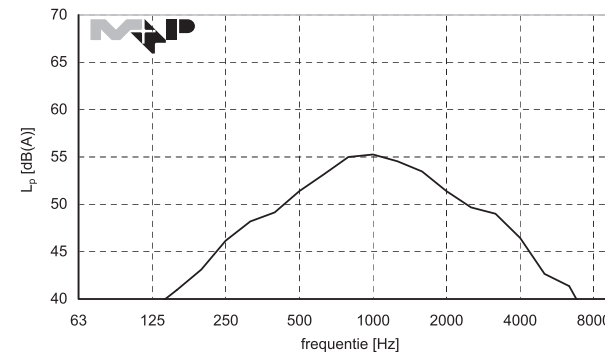
v [km/h]	$L_{A,max}$ [dB(A)]	95%CI [dB(A)]
20	55.1	1.5
30	59.9	0.6
40	63.3	0.4
50	66.0	0.8
60	68.2	1.3
70	70.0	1.7
80	71.6	2.0
90	73.0	2.3
100	74.2	2.6

Trendlijn:  $L_{A,max} = a + b * \log(v/v_o)$

Constante $a$	71.6	Aantal metingen	107
Richtingscoëfficiënt $b$	27.5	Gemiddelde snelheid [km/h]	36.5
Correlatiecoëfficiënt $R$	0.7	Standaarddeviatie snelheid [km/h]	4.5
Residu [dB(A)]	1.5	Gemiddelde $L_{A,max}$ [dB(A)]	62.1
Referentiesnelheid $v_o$ [km/h]	80	Standaarddeviatie $L_{A,max}$ [dB(A)]	2.1

### Frequentie-analyse

1/3 octaafbandspectrum bij 40 km/h



Octaafbandspectrum bij 40 km/h

f [Hz]	$L_p$ [dB(A)]
63	40.5
125	44.3
250	51.1
500	56.3
1000	59.7
2000	56.6
4000	51.5
8000	43.1
tot	63.3

Tiel, Grotebrugse Grintweg

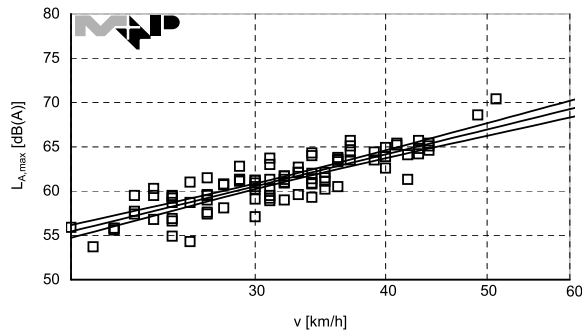
M+P - raadgevende ingenieurs  
Vught 073-6589050

## Statistical Pass-By

<b>Locatie</b>	Landsmeer Lisstraat	<b>Datum</b>	26-10-2010
<b>Km.</b>	-	<b>Temperatuur lucht [°C]</b>	10
<b>Richting</b>	oost en west	<b>Temperatuur wegdek [°C]</b>	5
<b>Wegdek</b>	Silent Way	<b>Voertuigcategorie</b>	Lichte motorvoertuigen
		<b>Meethoogte</b>	5,0 m

### Regressie-analyse

Trendlijn en 95% betrouwbaarheidsinterval



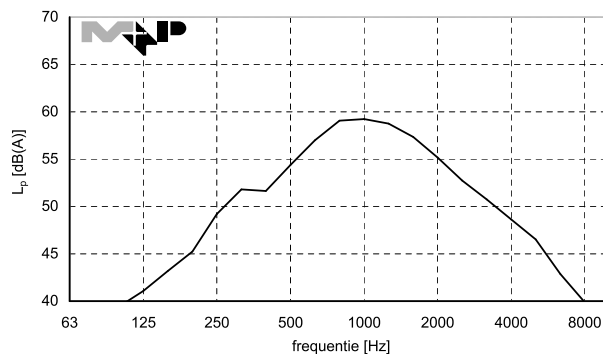
v [km/h]	$L_{A,max}$ [dB(A)]	95%CI [dB(A)]
20	55.4	0.7
30	60.5	0.3
40	64.2	0.5
50	67.0	0.7
60	69.3	1.0
70	71.2	1.2
80	72.9	1.3
90	74.4	1.5
100	75.7	1.6

Trendlijn:  $L_{A,max} = a + b \cdot \log(v/v_o)$

Constante $a$	72.9	Aantal metingen	99
Richtingscoëfficiënt $b$	29.0	Gemiddelde snelheid [km/h]	31.6
Correlatiecoëfficiënt $R$	0.9	Standaarddeviatie snelheid [km/h]	6.8
Residu [dB(A)]	1.5	Gemiddelde $L_{A,max}$ [dB(A)]	60.9
Referentiesnelheid $v_o$ [km/h]	80	Standaarddeviatie $L_{A,max}$ [dB(A)]	3.2

### Frequentie-analyse

1/3 octaafbandspectrum bij 50 km/h



Octaafbandspectrum bij 50 km/h

f [Hz]	$L_p$ [dB(A)]
63	41.8
125	46.3
250	54.3
500	59.6
1000	63.8
2000	60.2
4000	53.7
8000	45.1
tot	67.0

Landsmeer, Lisstraat

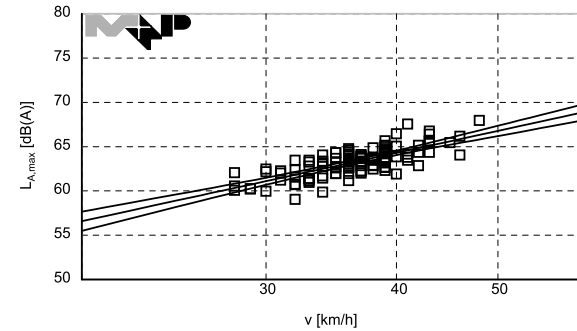
M+P - raadgevende ingenieurs  
Vught 073-6589050

## Statistical Pass-By

<b>Locatie</b>	Wormerveer Zaanweg	<b>Datum</b>	17 februari 2011
<b>Km.</b>	tegenover Zaanweg 114	<b>Temperatuur lucht [°C]</b>	7
<b>Richting</b>	noord	<b>Temperatuur wegdek [°C]</b>	3
<b>Wegdek</b>	Silent Way	<b>Voertuigcategorie</b>	Lichte motorvoertuigen
		<b>Meethoogte</b>	5 m

### Regressie-analyse

Trendlijn en 95% betrouwbaarheidsinterval



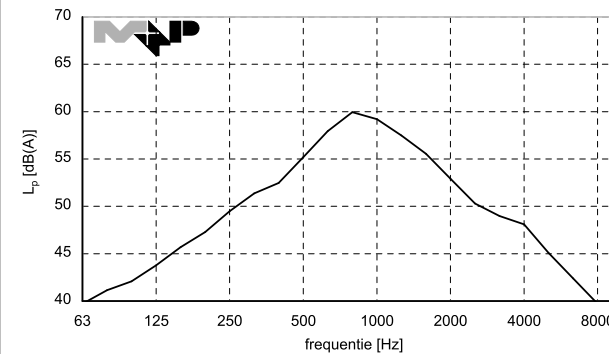
v [km/h]	$L_{A,max}$ [dB(A)]	95%CI [dB(A)]
20	56,6	1,1
30	61,1	0,4
40	64,3	0,2
50	66,8	0,6
60	68,8	0,9
70	70,5	1,2
80	72,0	1,4
90	73,3	1,6
100	74,5	1,8

Trendlijn:  $L_{A,max} = a + b \cdot \log(v/v_o)$

Constante $a$	72,0	Aantal metingen	118
Richtingscoëfficiënt $b$	25,6	Gemiddelde snelheid [km/h]	36,6
Correlatiecoëfficiënt $R$	0,8	Standaarddeviatie snelheid [km/h]	3,9
Residu [dB(A)]	1,0	Gemiddelde $L_{A,max}$ [dB(A)]	63,3
Referentiesnelheid $v_o$ [km/h]	80	Standaarddeviatie $L_{A,max}$ [dB(A)]	1,6

### Frequentie-analyse

1/3 octaafbandspectrum bij 50 km/h



Octaafbandspectrum bij 50 km/h

f [Hz]	$L_p$ [dB(A)]
63	44,2
125	48,9
250	54,5
500	60,5
1000	63,8
2000	58,2
4000	52,5
8000	44,8
tot	66,8

Wormerveer, Zaanweg

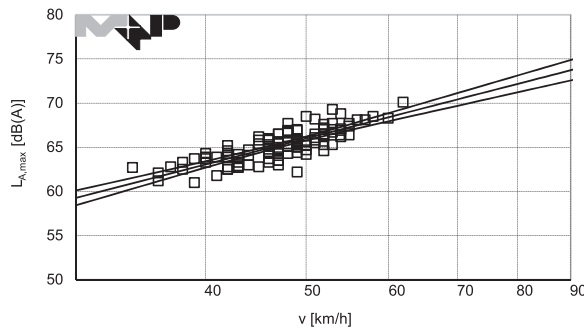
M+P - raadgevende ingenieurs  
Vught 073-6589050

## Statistical Pass-By

<b>Locatie</b>	Voorburg Rodelaan	<b>Datum</b>	14-03-2012
<b>Km.</b>	-	<b>Temperatuur lucht [°C]</b>	7
<b>Richting</b>	noordwest	<b>Temperatuur wegdek [°C]</b>	11
<b>Wegdek</b>	SilentWay	<b>Voertuigcategorie</b>	Lichte motorvoertuigen
		<b>Meethoogte</b>	5 meter

### Regressie-analyse

Trendlijn en 95% betrouwbaarheidsinterval



v [km/h]	$L_{A,max}$ [dB(A)]	95% CI [dB(A)]
30	59,3	0,8
40	63,1	0,4
50	66,0	0,2
60	68,4	0,5
70	70,4	0,7
80	72,2	1,0
90	73,7	1,2
100	75,1	1,3
110	76,4	1,5

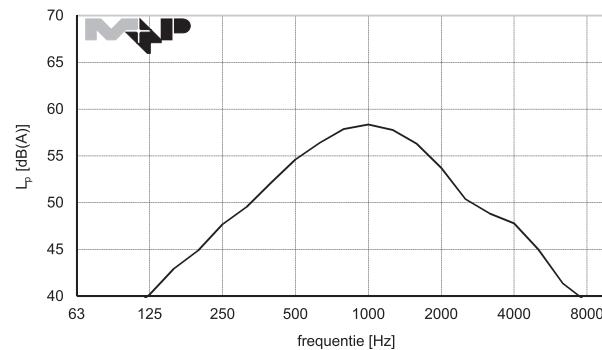
Trendlijn:  $L_{A,max} = a + b \cdot \log(v/v_o)$

Constante $a$	72,2	Aantal metingen	120
Richtingscoëfficiënt $b$	30,3	Gemiddelde snelheid [km/h]	47,4
Correlatiecoëfficiënt $R$	0,8	Standaarddeviatie snelheid [km/h]	5,1
Residu [dB(A)]	1,1	Gemiddelde $L_{A,max}$ [dB(A)]	65,2
Referentiesnelheid $v_o$ [km/h]	80	Standaarddeviatie $L_{A,max}$ [dB(A)]	1,8

### Frequentie-analyse

1/3 octaafbandspectrum bij 50 km/h

Octaafbandspectrum bij 50 km/h

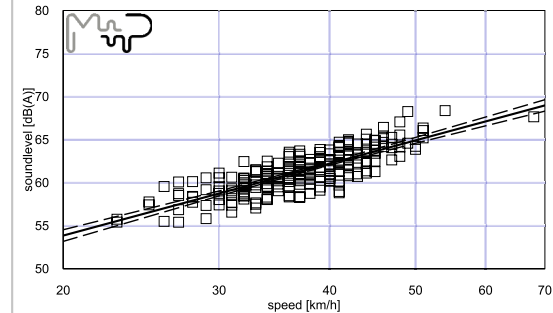


f [Hz]	$L_p$ [dB(A)]
63	39,8
125	45,6
250	52,6
500	59,5
1000	62,8
2000	58,9
4000	52,3
8000	44,0
tot	66,0

## Statistical Pass-By

<b>Location</b>	Leende-Heeze, Dorpsstraat	<b>Vehicle category</b>	light
<b>Position</b>	thv het Postkantoorstraatje		
<b>Direction</b>	north		
<b>Measurement object</b>	Silent Way (Nieuw)		
<b>Number of measurements</b>	259		
<b>Measurement date</b>	31-08-2016	<b>Measurement height</b>	5 meter
<b>Air temperature</b>	20		3 meter
<b>Surface temperature</b>	25		

### Regression analysis

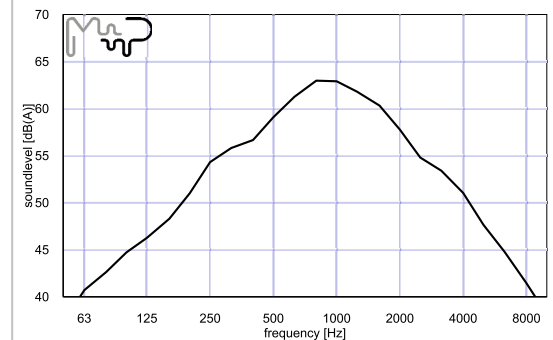


v [km/h]	$L_{A,max}$ [dB(A)]	95% CI [dB(A)]
20	53,9	0,7
30	58,7	0,3
40	62,2	0,2
50	64,9	0,3
60	67,1	0,5
70	69,0	0,7
80	70,6	0,8
90	72,0	0,9
100	73,3	1,0

$L_{A,max} = 70.6 + 27.8 \cdot \log(v/80)$

Mean velocity	$38.1 \pm 6.1$	km/h
Mean $L_{A,max}$	61.5	dB(A)
Correlation coefficient $R^2$	0.7	
Residue	1.4	dB(A)

### Frequency analysis



frequency [Hz]	$L_{A,max}$ [dB(A)]
63	45.5
125	51.4
250	58.9
500	64.2
1000	67.4
2000	63.0
4000	56.1
8000	47.0
total	70.6

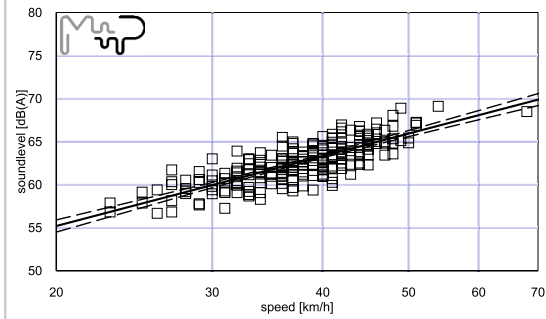
spectrum at 80 km/h



## Statistical Pass-By

Location	Leende-Heeze, Dorpsstraat		
Position	thv het Postkantoorstraatje		
Direction	north		
Measurement object	Silent Way (Nieuw)	Vehicle category	<u>light</u>
Number of measurements	259		
Measurement date	31-08-2016	Measurement height	5 meter
Air temperature	20		<u>3 meter</u>
Surface temperature	25		

### Regression analysis

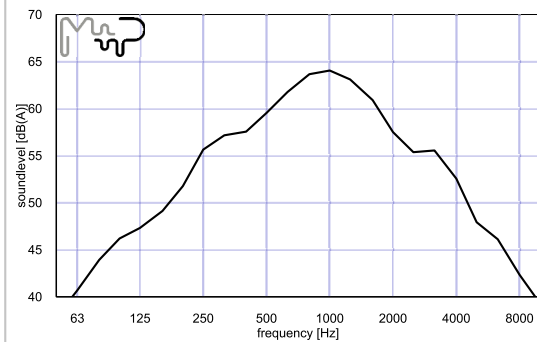


v [km/h]	$L_{A,max}$ [dB(A)]	95% CI [dB(A)]
20	55.2	0.7
30	59.9	0.3
40	63.3	0.2
50	65.9	0.4
60	68.1	0.5
70	69.9	0.7
80	71.4	0.8
90	72.8	1.0
100	74.1	1.1

$$L_{A,max} = 71.4 + 27.0 \cdot \log(v/80)$$

Mean velocity	$38.1 \pm 6.1$	km/h
Mean $L_{A,max}$	62.6	dB(A)
Correlation coefficient $R^2$	0.6	
Residue	1.4	dB(A)

### Frequency analysis



frequency [Hz]	$L_{A,max}$ [dB(A)]
63	46.3
125	52.5
250	60.2
500	64.7
1000	68.4
2000	63.3
4000	57.8
8000	48.2
total	71.4

spectrum at 80 km/h

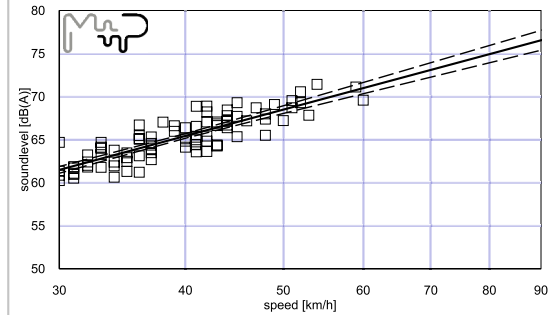


## Statistical Pass-By

Location Zelhem, Ruurloseweg  
 Position south  
 Direction

Measurement object Silent Way      Vehicle category light  
 Number of measurements 105  
 Measurement date 31-08-2016      Measurement height 3 meter  
 Air temperature 23  
 Surface temperature 0

### Regression analysis

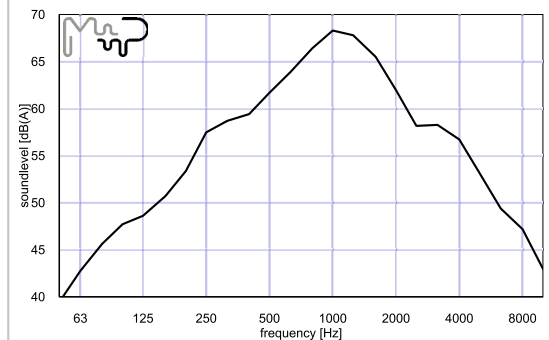


v [km/h]	$L_{A,max}$ [dB(A)]	95% CI [dB(A)]
30	61.5	0.4
40	65.4	0.3
50	68.5	0.4
60	71.0	0.7
70	73.1	0.8
80	74.9	1.0
90	76.5	1.2
100	78.0	1.3
110	79.3	1.4

$$L_{A,max} = 74.9 + 31.6 \cdot \log(v/80)$$

Mean velocity  $38.5 \pm 7.6$  km/h  
 Mean  $L_{A,max}$  64.6 dB(A)  
 Correlation coefficient  $R^2$  0.8  
 Residue 1.3 dB(A)

### Frequency analysis



frequency [Hz]	$L_{A,max}$ [dB(A)]
63	48.1
125	54.0
250	61.8
500	66.8
1000	72.3
2000	67.6
4000	61.3
8000	52.0
total	74.9

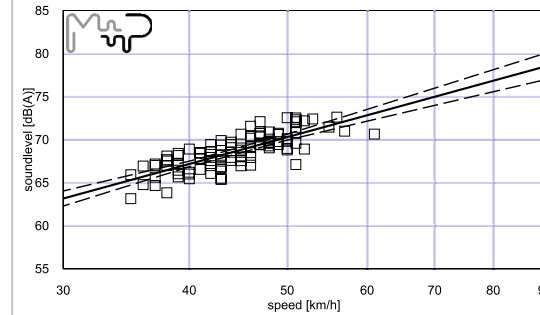
spectrum at 80 km/h

## Statistical Pass-By

Location Sambeek, Grotestraat  
 Position tegenover Gouden Leeuw  
 Direction north

Measurement object Silent Way      Vehicle category light  
 Number of measurements 111  
 Measurement date 12-07-2016      Measurement height 3 meter  
 Air temperature 21  
 Surface temperature 34

### Regression analysis

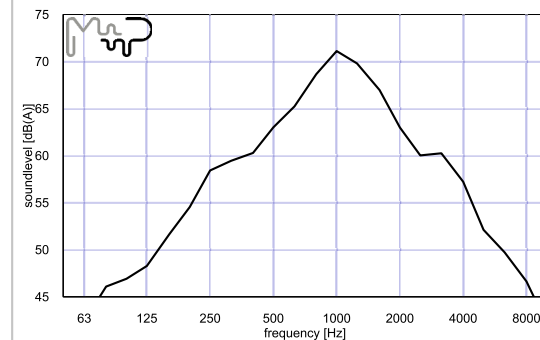


v [km/h]	$L_{A,max}$ [dB(A)]	95% CI [dB(A)]
30	63.2	0.9
40	67.2	0.3
50	70.3	0.3
60	72.8	0.7
70	75.0	1.0
80	76.8	1.3
90	78.5	1.5
100	80.0	1.8
110	81.3	2.0

$$L_{A,max} = 76.8 + 32.1 \cdot \log(v/80)$$

Mean velocity  $44.7 \pm 5.0$  km/h  
 Mean  $L_{A,max}$  68.6 dB(A)  
 Correlation coefficient  $R^2$  0.6  
 Residue 1.2 dB(A)

### Frequency analysis



frequency [Hz]	$L_{A,max}$ [dB(A)]
63	48.3
125	54.2
250	62.7
500	68.1
1000	74.7
2000	69.0
4000	62.4
8000	51.9
total	76.8

spectrum at 80 km/h

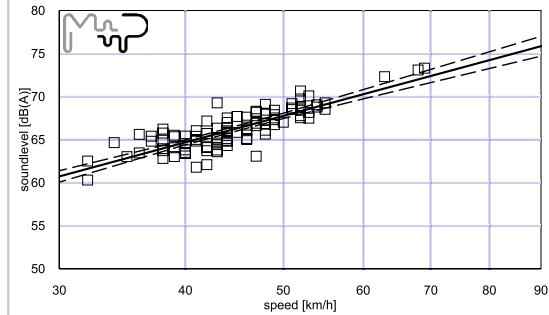


## Statistical Pass-By

Location N606, Veghel, Middengaal  
 Position tegenover huis nr. 20  
 Direction south

Measurement object Silent Way      Vehicle category light  
 Number of measurements 111  
 Measurement date 12-07-2016      Measurement height 3 meter  
 Air temperature 20  
 Surface temperature 25

### Regression analysis

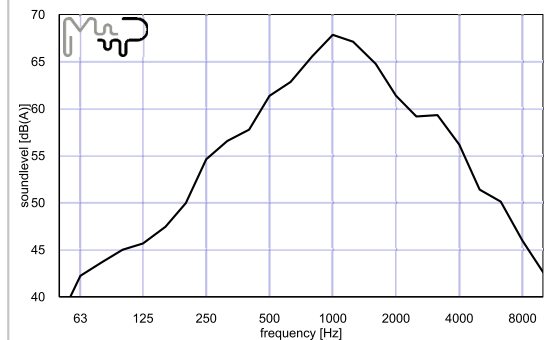


v [km/h]	$L_{A,max}$ [dB(A)]	95% CI [dB(A)]
30	60.7	0.7
40	64.7	0.3
50	67.8	0.3
60	70.3	0.5
70	72.4	0.8
80	74.2	1.0
90	75.9	1.2
100	77.3	1.3
110	78.6	1.5

$$L_{A,max} = 74.2 + 31.7 \cdot \log(v/80)$$

Mean velocity  $44.8 \pm 6.7$  km/h  
 Mean  $L_{A,max}$  66.1 dB(A)  
 Correlation coefficient  $R^2$  0.7  
 Residue 1.3 dB(A)

### Frequency analysis



frequency [Hz]	$L_{A,max}$ [dB(A)]
63	46.6
125	50.9
250	59.3
500	65.9
1000	71.7
2000	67.2
4000	61.5
8000	52.1
total	74.2

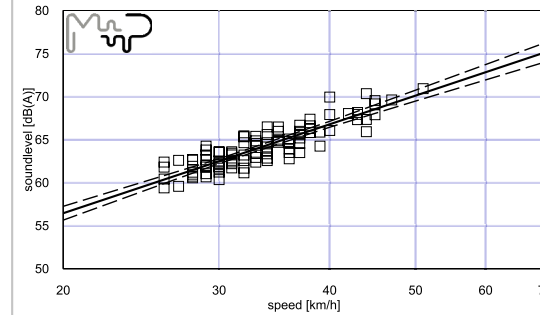
spectrum at 80 km/h

## Statistical Pass-By

Location Tiel, Grote Brugse Grindweg  
 Position south  
 Direction south

Measurement object SilentWay      Vehicle category light  
 Number of measurements 108  
 Measurement date 01-09-2016      Measurement height 3 meter  
 Air temperature 22  
 Surface temperature 0

### Regression analysis

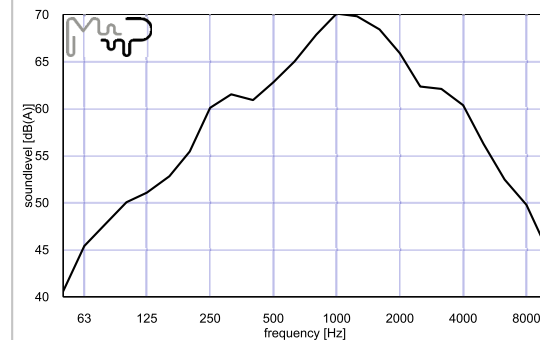


v [km/h]	$L_{A,max}$ [dB(A)]	95% CI [dB(A)]
20	56.4	0.8
30	62.5	0.3
40	66.8	0.3
50	70.1	0.6
60	72.8	0.9
70	75.1	1.1
80	77.1	1.3
90	78.9	1.5
100	80.4	1.6

$$L_{A,max} = 77.1 + 34.3 \cdot \log(v/80)$$

Mean velocity  $33.9 \pm 5.2$  km/h  
 Mean  $L_{A,max}$  64.2 dB(A)  
 Correlation coefficient  $R^2$  0.8  
 Residue 1.1 dB(A)

### Frequency analysis



frequency [Hz]	$L_{A,max}$ [dB(A)]
63	50.3
125	56.2
250	64.5
500	68.0
1000	74.1
2000	71.0
4000	65.0
8000	54.8
total	77.1

spectrum at 80 km/h

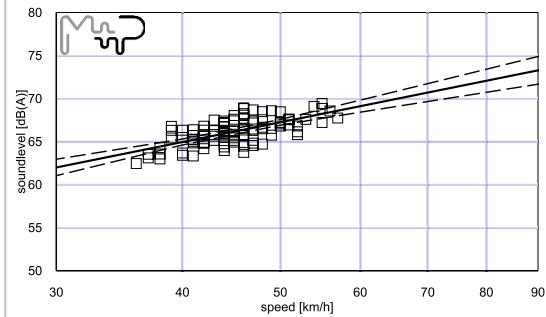




## Statistical Pass-By

Location	Voorburg, Rodelaan		
Position			
Direction	north		
Measurement object	Silent Way	Vehicle category	<u>light</u>
Number of measurements	111		
Measurement date	22-07-2016	Measurement height	<u>3 meter</u>
Air temperature	22		
Surface temperature	23		

### Regression analysis

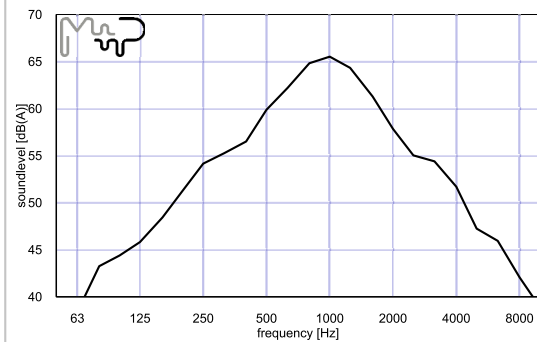


v [km/h]	$L_{A,max}$ [dB(A)]	95% CI [dB(A)]
30	62.0	1.0
40	65.0	0.3
50	67.2	0.3
60	69.1	0.7
70	70.7	1.0
80	72.1	1.3
90	73.3	1.6
100	74.4	1.8
110	75.3	2.1

$$L_{A,max} = 72.1 + 23.6 \cdot \log(v/80)$$

Mean velocity	$45.2 \pm 4.3$	km/h
Mean $L_{A,max}$	66.2	dB(A)
Correlation coefficient $R^2$	0.4	
Residue	1.1	dB(A)

### Frequency analysis



frequency [Hz]	$L_{A,max}$ [dB(A)]
63	45.0
125	51.3
250	58.6
500	64.9
1000	69.7
2000	63.6
4000	56.8
8000	48.0
total	72.1

spectrum at 80 km/h