



M+P | Onderdeel van
Müller-BBM groep
Mensen met oplossingen



Rapport

Geluidmetingen aan twee varianten bamboehaag langs de N245 in de gemeente Langedijk

Colofon

Opdrachtnemer M+P raadgevende ingenieurs BV

Opdrachtgever Gemeente Amsterdam
Postbus 2602
1000 CP AMSTERDAM

Opdrachtnummer 47091

Titel Geluidmetingen aan twee varianten bamboehaag langs de N245 in de gemeente Langedijk

Rapportnummer M+P.GAMS.17.02.1

Revisie 0

Datum 22 augustus 2018

Aantal pagina's 34

Auteurs ing. M.A.J. Mertens
ir. W. Schwanen
ing. W.J. van der Heijden

Contactpersoon ing. Mark Mertens | 073-6589050 | vught@mp.nl

M+P Wolfskamerweg 47 | 5262 ES Vught
Visserstraat 50 | 1431 GJ Aalsmeer

www.mp.nl | onderdeel van de Müller-BBM groep | Lid NLI ingenieurs | 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

In de gemeente Langedijk is in 2015 langs de N245 een pilotproject gestart voor het bamboegeluidscherm. Er zijn over een totale lengte van 150 meter twee bamboehagen geplaatst met verschillende configuraties. De hagen hebben twee groeiseizoenen gehad en zijn nog niet volgroeid. Het projectteam wil graag weten wat de afschermdende werking van beide hagen nu is. Daarom heeft M+P in opdracht van de gemeente Amsterdam geluidmetingen uitgevoerd aan de bamboehagen.

De geluidmetingen zijn uitgevoerd op zes doorsneden: twee doorsneden per configuratie en twee doorsneden op een referentiepositie. Op elke doorsnede is een microfoon voor en een microfoon achter de haag geplaatst. De metingen zijn uitgevoerd aan het passerende verkeer waarbij het equivalente geluidniveau is gemeten. Voor de haag is het geluid gemeten op 2,0 meter hoogte. Achter de haag is het geluid achtereenvolgens op 2,0 en op 1,5 meter gemeten. Gedurende de geluidmetingen is het aantal voertuigpassages geteld en is de snelheid van het passerende verkeer gemeten. Tegelijkertijd is de windsnelheid geregistreerd.

Uit de meetgegevens is de overdracht per doorsnede bepaald. De resultaten bij de hagen zijn vervolgens gecorrigeerd voor de resultaten van de referentieposities zonder haag. Hieruit volgt de afschermdende werking van de bamboehagen.

Omdat de bamboehagen tot een hoogte van ca. 2 meter dichtgegroeid zijn kan het geluid bijna onverstoorde de microfoons aan de achterzijde op 2,0 meter hoogte bereiken. Op deze meethoogte is de afschermdende werking daarom nihil. Op een meethoogte van 1,5 meter is er al wel een bescheiden afschermdend effect van ca. 1 dB(A) waarneembaar.

Omdat de hagen nu nog niet volgroeid zijn is er weinig verschil tussen de twee configuraties. Wij verwachten dat de hagen na nog enkele groeiseizoenen een betere afschermdende werking zullen hebben en dat eventuele verschillen tussen de configuraties dan ook beter zichtbaar zullen zijn.

Inhoud

	Samenvatting	3
1	Inleiding	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doelstelling en aanpak	5
1.3	Leeswijzer	5
2	Locatie	6
3	Meet- en beoordelingsmethode	8
3.1	Equivalente geluidniveaumetingen	8
3.2	Meetposities	8
3.3	Meetapparatuur	9
3.4	Geluidmodelberekeningen	9
4	Meetresultaten en analyse	10
4.1	Meteocondities, verkeer en achtergrondgeluid	10
4.2	Geluidmetingen	11
4.2.1	Referentieposities	12
4.2.2	Microfoonposities achter de schermen	13
4.3	Analyse	15
4.4	Geluidmodelberekeningen	17
5	Evaluatie	19
5.1	Geluidmetingen	19
5.2	Geluidmodelberekeningen	19
5.3	Toekomstige situatie en aanbevelingen	19
6	Literatuur	21

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Om de geluidsoverlast van wegverkeer in de omgeving van de weg te beperken worden vaak geluidschermen toegepast. Dit is een erg effectieve geluidmaatregel in het overdrachtsgebied van het geluid. Toch is er juist vanuit de omgeving regelmatig kritiek op de geluidschermen vanwege hun onaantrekkelijke uitstraling. Met name betonnen geluidschermen worden regelmatig aangeduid als “horizonvervuiling”.

Een natuurlijke onderbreking van het zichtveld wordt als minder hinderlijk ervaren. Deze gedachte bracht het Bamboe InformatieCentrum en het Ingenieursbureau van de gemeente Amsterdam op het idee om een geluidscherm van levend bamboe te ontwikkelen. Na diverse literatuurstudies en (laboratorium-)onderzoeken [1] is in het najaar van 2015 door het projectteam een praktijkproef ingericht [2]. Langs de N245 in de gemeente Langedijk zijn twee bamboehagen geplant. Het verschil in de twee hagen is de configuratie waarin het bamboe geplant is. De verwachting is dat het bamboe na ca. vijf jaar de benodigde hoogte en dichtheid heeft bereikt.

De gemeente Amsterdam heeft M+P opdracht gegeven om na twee groeiseizoenen de afschermende werking van de twee hagen in de praktijk te beoordelen.

1.2 Doelstelling en aanpak

De projectgroep Bamboegeluidscherm streeft naar het valideren van een volgroeide bamboehaag als geluidscherm. Het bamboegeluidscherm zou dan in rekenmodellen en regelgeving opgenomen kunnen worden. Het doel van dit specifieke onderzoek is vaststellen wat de afschermende werking van de bamboehagen is nu ze twee groeiseizoenen gehad hebben. Vanwege de groeimethode van bamboe zal de dichtheid van de hagen aan de onderzijde het eerst toenemen om van daar uit naar boven uit te groeien. Hoewel de afschermende werking nu nog niet optimaal zal zijn, is er wel de verwachting dat er al een afschermende werking is. Door deze afschermende werking nu al vast te stellen is het in de toekomst mogelijk rekening te houden met de eigenschappen van een bamboehaag als deze nog in de groeifase is.

Daarnaast heeft dit onderzoek als doel ervaring op te doen met in-situ geluidmetingen aan een (niet-conventioneel) bamboegeluidscherm.

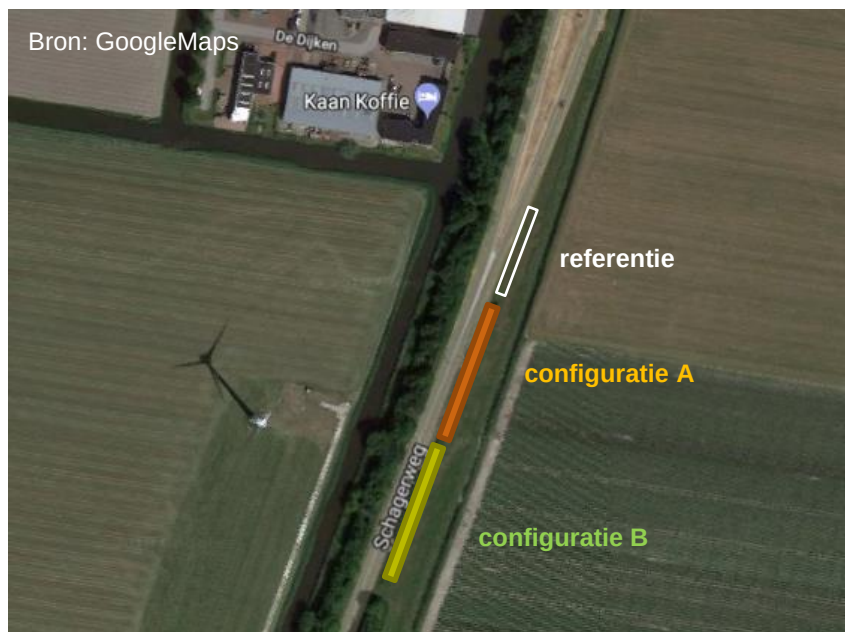
Om de afschermende werking te bepalen zijn aan beide haagconfiguraties geluidmetingen uitgevoerd. Zowel aan de voorzijde als aan de achterzijde van de hagen zijn equivalente geluidniveaus vastgelegd van het passerende verkeer. Dezelfde metingen zijn ook uitgevoerd naast de haag op referentieposities. De afschermende werking volgt uit het verschil tussen de resultaten bij de hagen en bij de referentieposities. Er wordt tot slot een voorzet gemaakt voor het toekomstige modelleren van een bamboegeluidscherm.

1.3 Leeswijzer

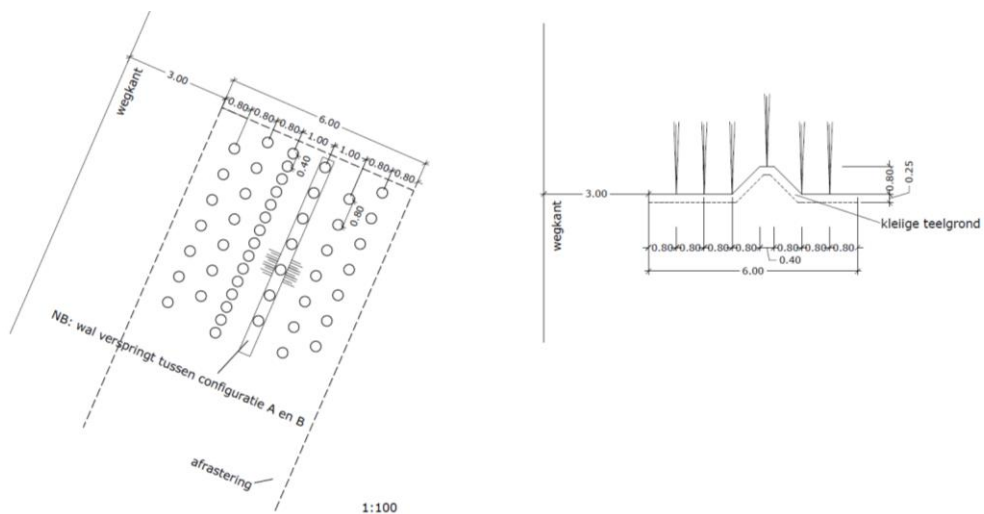
De meetlocatie en situatie rondom de bamboegeluidhagen worden behandeld in hoofdstuk 2. Hoofdstuk 3 beschrijft de toegepaste meetmethode. Hier wordt ook beschreven hoe de gemeten data geanalyseerd en beoordeeld wordt. De gebruikte meetposities komen ook aan bod. De meetresultaten worden gepresenteerd in hoofdstuk 4. Tot slot volgen in hoofdstuk 5 een samenvatting van de resultaten en adviezen voor een eventueel vervolgonderzoek.

2 Locatie

De bamboehagen zijn geplant in de gemeente Langedijk naast de N245 tussen Alkmaar en Schagen ter hoogte van de aansluiting met de Ambachtsdijk. Beide hagen zijn ca. 75 meter lang. Het verschil tussen de twee hagen is de configuratie waarin het bamboe geplant is, deze zijn aangeduid met A en B. In figuur 1 is de locatie van de bamboehagen weergegeven, hierin is tevens aangegeven waar de referentiemetingen uitgevoerd zijn. Figuur 2 en figuur 3 tonen de plant-configuraties van de hagen.



figuur 1 Locatie van de bamboehagen langs de N245



figuur 2 Indeling van de haag met configuratie A, bovenaanzicht (links) en doorsnede (rechts). Bron: provincie Noord-Holland

3 Meet- en beoordelingsmethode

3.1 Equivalente geluidniveaumetingen

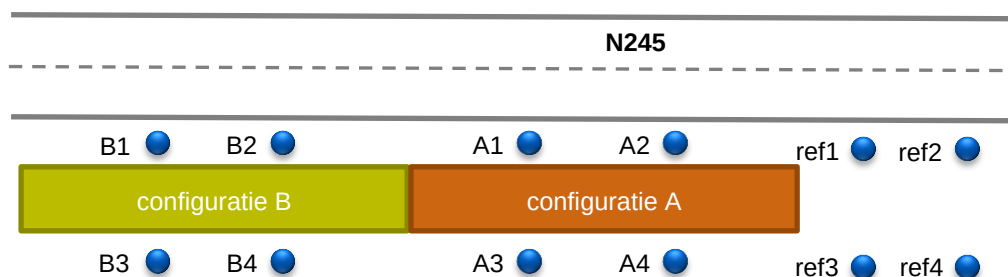
Om de afschermende werking van het bamboe te kunnen bepalen zijn equivalente geluidniveaumetingen uitgevoerd aan het verkeer op de N245. De meetmethode is gebaseerd op ISO 10847 [3]. De geluidniveaus worden hierbij energetisch gemiddeld. Hogere geluidniveaus dragen hiermee sterker bij aan het gemiddelde dan lage niveaus. Een meting duurt vijftien minuten en wordt ten minste drie keer uitgevoerd. Het resultaat van een meting is het equivalente geluidniveau (L_{Aeq}) met de spectrale verdeling van het geluid in 1/3-octaaftanden. Tijdens de geluidmetingen is ook de rijsnelheid van het verkeer gemeten en is het aantal gepasseerde voertuigen geteld. Dit om eventuele verschillen in de resultaten te kunnen verklaren met variaties in voertuigaanbod en/of rijsnelheid.

Voor een goede bepaling van de werking van de haag moet de wind vanaf de weg, via de haag naar de microfoon waaien. Dit wordt ook wel eens beschreven als een “worst case scenario”. Eventuele afbuiging van het geluid door de wind is dan niet mogelijk. Gedurende de geluidmetingen mag het bamboe zelf geen geluid produceren, de windsnelheid mag daarom niet meer dan 6 m/s bedragen. Gedurende de metingen wordt de windsnelheid bij de hagen op 10 meter hoogte gemeten.

De geluidmetingen zijn op alle posities gelijktijdig uitgevoerd. Eventuele kleine variaties ten gevolge van verschillen in verkeersstroom en/of meteo-omstandigheden hebben hierdoor geen invloed op de resultaten van de metingen. Als er op een bepaalde meetpositie toch een verstoring van het meetsignaal zou zijn (die niet opgemerkt is door de aanwezige operators), dan zal die in de analyse herkenbaar zijn.

3.2 Meetposities

De geluidmetingen zijn uitgevoerd op zes doorsnedes langs de N245: twee doorsnedes bij configuratie B, twee doorsnedes bij configuratie A en twee doorsnedes zonder haag (referentie). Door twee doorsnedes te meten kan de homogeniteit van de haag ook worden beoordeeld. De meetposities zijn schematisch weergegeven in figuur 4.



figuur 4 Meetposities voor de equivalente geluidniveaumetingen

De microfoons aan de zijde van de weg staan op 2,0 meter vanaf de verharding. Achter de haag wordt op 3,0 meter afstand van de haag gemeten. De microfoons op de referentieposities zijn op dezelfde lijn geplaatst als de microfoons bij de hagen. De afstand tussen de dwarsdoorsnedes

bedraagt 25 +/- 5 meter. Dit geldt ook voor de afstand van de dwarsdoorsnedes tot begin en eind van de hagen. Op de referentiedoorsnedes zijn deze afstanden kleiner gekozen om reflecties van grote objecten in de buurt van de microfoons te voorkomen. De meethoogte voor alle microfoons bedraagt 2,0 meter ten opzichte van de weg.

3.3 Meetapparatuur

Voor de geluidmetingen wordt gebruik gemaakt van de in tabel I vermelde meetapparatuur.

tabel I *Meetapparatuur gebruikt tijdens de geluidmetingen*

omschrijving	fabrikant	type	aantal
½" microfoon	B&K	4189	12
½" microfoonvoorversterker	B&K	2671	12
radar snelheidsmeter	Gatso	Junior	1
data-acquisitiesysteem	Müller-BBM VAS	PAK Mobile MKII	2
ijkbron	B&K	4231	1
weerstation	Vaisala	WXT520	1

*) Daarnaast is een videocamera gebruikt voor de verkeerstellingen

3.4 Geluidmodelberekeningen

Om in de toekomst ook geluidberekeningen uit te kunnen voeren is er ook een rekenmodel opgesteld. Dit is gedaan conform standaard rekenmethode 2 (SRM2) uit het Reken- en meetvoorschrift geluid 2012 [4]. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van het softwareprogramma Geomilieu (v. 4.30).

Het is nu nog niet mogelijk om een geluidscherm van levend bamboe te modelleren. Het is ook ongebruikelijk om over dergelijke korte afstanden geluidberekeningen te doen. Het doel is met name nagaan of in de toekomst de gemeten waarden als input voor een model van een bamboescherm kunnen dienen. In dit onderzoek worden de resultaten van de metingen bij de referentieposities vergeleken met de berekende waarden.

4 Meetresultaten en analyse

De geluidmetingen aan de bamboehagen zijn uitgevoerd op donderdag 3 mei 2018. De totale hoogte van de bamboehagen bedroeg ca. 3,5 meter. Ter plaatse bleek dat de hoogte tot waar de haag behoorlijk dicht is, slechts ca. 2 meter bedroeg.

Er is zeven keer vijftien minuten gemeten. Tijdens de derde meting werd door een personenwagen en bus geclaxonneerd, daarom is een extra meting uitgevoerd. Vanwege de geringe dichtgegroeide hoogte van de hagen is besloten drie extra metingen uit te voeren waarbij de microfoons aan de achterzijde van de hagen een halve meter verlaagd werden. Op de referentieposities werden de microfoons (op dezelfde lijn achter de hagen) ook verlaagd naar 1,5 m. Figuur 5 toont een deel van de meetopstelling aan de voorzijde van de hagen.



figuur 5 Enkele van de microfoons bij de bamboehagen

4.1 Meteorcondities, verkeer en achtergrondgeluid

Gedurende de metingen was het wegdek van de N245 droog, er stond een zwakke wind die van westnoordwest naar west draaide. De metingen zijn uitgevoerd tussen 12:00 en 14:45 uur. De gemiddelde luchttemperatuur gedurende de metingen bedroeg 11 °C. In tabel II zijn de overige omstandigheden tijdens de zeven metingen weergegeven.

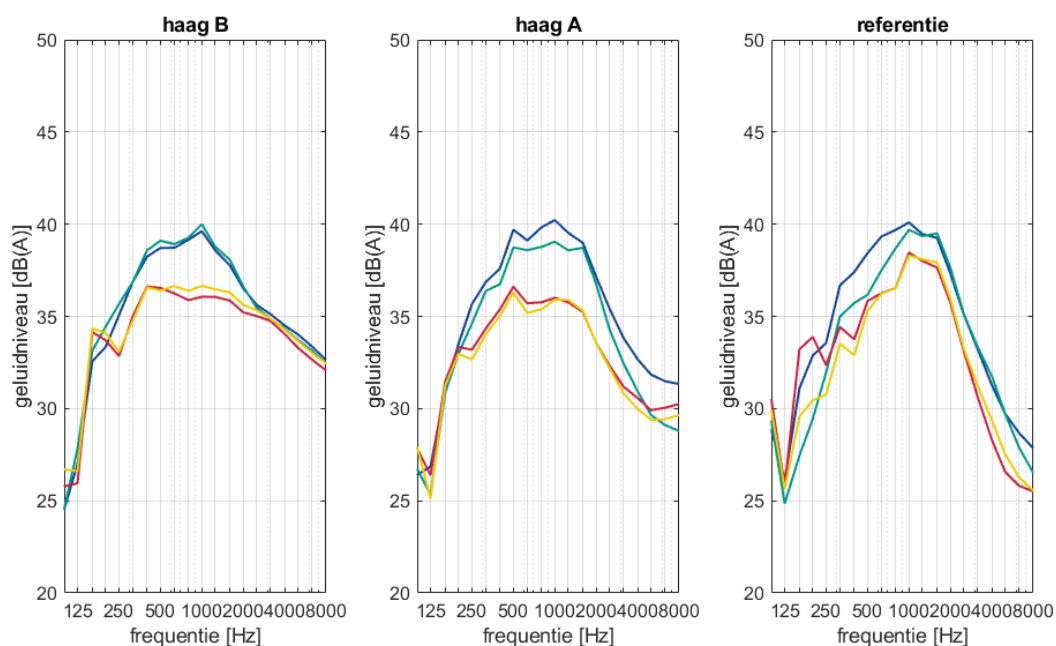
tabel II Meteor- en verkeerssituatie gedurende de geluidmetingen

nr.	gemiddelde windsnelheid [m/s]	maximale windsnelheid [m/s]	aantal lichte motorvoertuigen	aantal vrachtwagens	gemiddelde rijnsnelheid [km/h]
1	2,5	4,1	199	16	68,2
2	2,6	4,3	214	6	68,0
3	2,6	4,9	249	11	66,2

nr.	gemiddelde windsnelheid [m/s]	maximale windsnelheid [m/s]	aantal lichte motorvoertuigen	aantal vrachtwagens	gemiddelde rijnsnelheid [km/h]
4	2,3	3,8	238	16	66,8
5	2,1	4,0	246	16	64,3
6 ^{*)}	2,0	3,3	164 ^{*)}	7 ^{*)}	66,0
7	1,8	4,1	267	7	66,6

*) meting nr. 6 is na ca. 10 minuten gestopt omdat in de verte sirenes van hulpdiensten hoorbaar waren die naar de meetlocatie toe kwamen.

Vanwege de behoorlijk continue verkeersstroom op de N245 was het niet mogelijk een langdurige achtergrondgeluidmeting uit te voeren. Op stille momenten lopen de geluidniveaus op alle microfoonposities terug tot onder 50 dB(A). Er zijn geen versturende bronnen waargenomen die de resultaten zouden kunnen beïnvloeden. In figuur 6 is van een typische stille periode het geluidsspectrum gegeven voor alle microfoonposities.



figuur 6 *Frequentiespectrum van achtergrondgeluid. De blauwe en groene lijnen zijn gemeten dichtbij de weg. De rode en de gele lijnen corresponderen met de geluidniveaus achter de hagen*

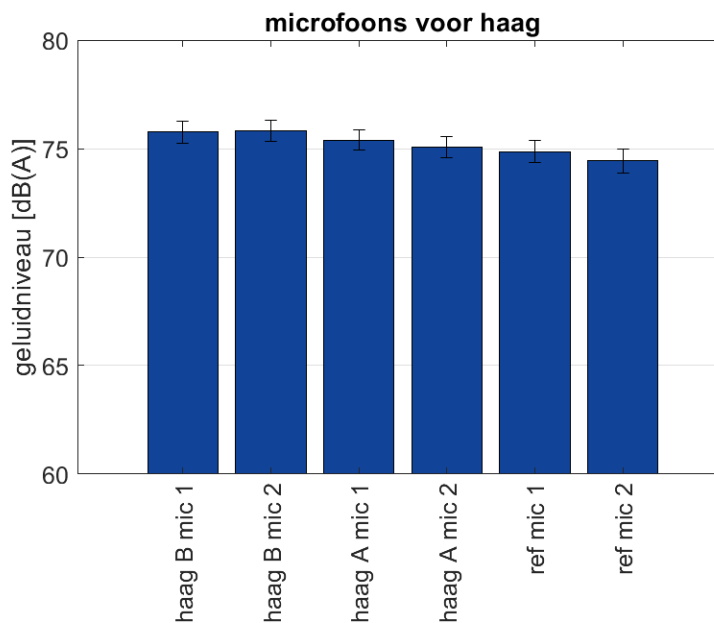
4.2 Geluidmetingen

De meetresultaten van de afzonderlijke zijn gepresenteerd in Bijlage A. in de volgende hoofdstukken volgen de resultaten van de daarop gebaseerde analyses. De getoonde onzekerheid betreft telkens plus en min één keer de standaarddeviatie.

4.2.1

Referentieposities

De microfoonposities tussen de weg en de haag zijn niet gewijzigd gedurende de zeven metingen. Als eerste is daarom gekeken wat de geluinniveaus op deze posities zijn en of daartussen verschillen optreden. In figuur 7 zijn de geluidsniveaus weergegeven. De margebalkjes in de grafiek geven de spreiding aan (standaarddeviatie) tussen de zeven metingen. Deze spreiding wordt onder andere veroorzaakt door het verschil in verkeersaanbod gedurende de metingen (zie tabel II).



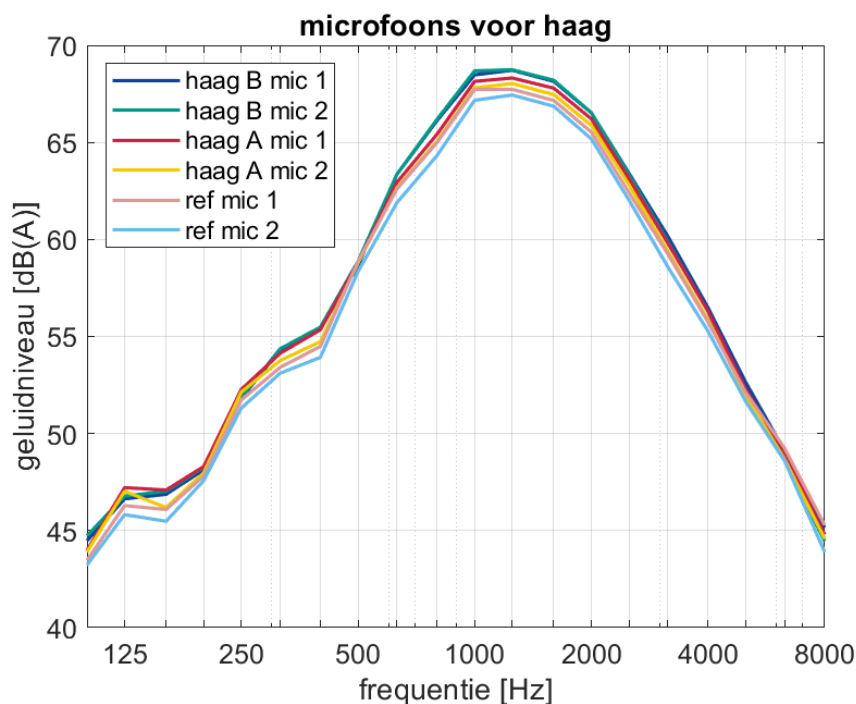
figuur 7

Equivalente geluidsniveaus op de microfoonposities tussen weg en haag

De spreiding in de resultaten per microfoonpositie is erg beperkt wat gebruikelijk is als de verkeersstroom behoorlijk constant is en de snelheid niet veel varieert tussen de metingen. Wat opvalt is dat de geluidsniveaus geleidelijk afnemen voor de noordelijker gelegen microfoonposities. Dit is hoogstwaarschijnlijk met name het gevolg van afnemende snelheid van de passerende voertuigen. Het rolgeluidsniveaus van een voertuig neemt immers af met afnemende rijnsnelheid.

Iets ten noorden van de referentieposities staan bij de aansluiting met de Ambachtsdijk verkeerslichten. Het verkeer in noordelijke rijrichting verlaagt daardoor waarschijnlijk (rustig) de snelheid voor de verkeerslichten en het verkeer in zuidelijke rijrichting is waarschijnlijk nog (een beetje) aan het versnellen. Daarnaast scheiden de rijstroken ter hoogte van het noordelijkste punt van de hagen. Bij de referentiedoorsnedes liggen de rijstroken daardoor niet meer tegen elkaar aan. De grotere afstand van de rijstrook in zuidelijke rijrichting zorgt ook voor een afname van de geluidsniveaus ter hoogte van de referentiemicrofoons.

De spectrale resultaten bevestigen bovenstaande aannames, deze zijn getoond in figuur 8. De optredende verschillen tussen de doorsnedes zijn breedbandig. Er zijn geen specifieke frequentiebanden waarin opvallende verschillen optreden. Dit betekent dat er aan de bronzijde geen significante verschillen zijn die daarmee de berekening van de afschermende werking zouden kunnen beïnvloeden.



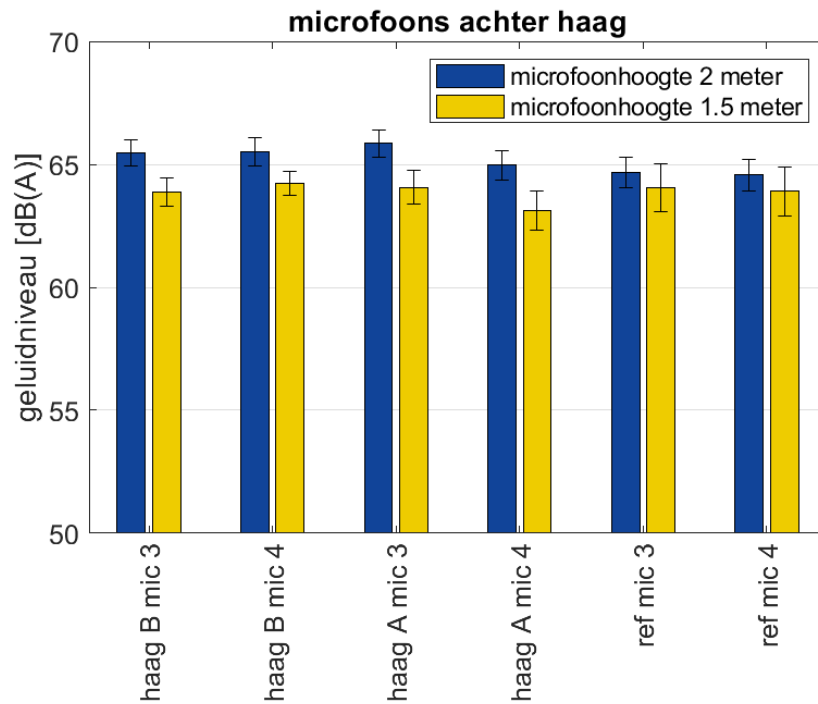
figuur 8 Spectrale resultaten van de microfoonposities tussen weg en haag

4.2.2 Microfoonposities achter de hagen

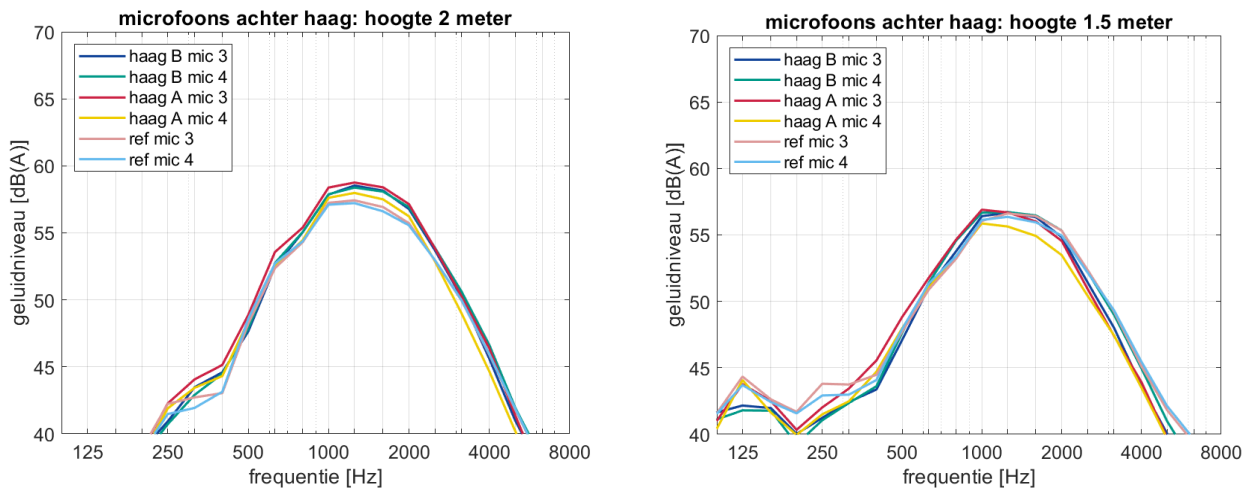
Voor de microfoonposities achter de hagen, en de referenties op dezelfde lijn, is ook eerst nagegaan of de resultaten betrouwbaar zijn. Bij de beoordeling van de resultaten wordt onderscheid gemaakt tussen de verschillende meethoogtes.

Figuur 9 toont de gemiddelde geluidsniveaus voor de microfoonposities achter de hagen. Ook hier is weer de spreiding tussen de metingen weergegeven. Aansluitend toont figuur 10 de spectrale resultaten van de verschillende meethoogtes.

Op 2,0 meter wordt vanwege de dichtgegroeide hoogte weinig tot geen afschermende werking verwacht. De geluidspectra zouden daarom vergelijkbaar moeten zijn. Dit is het geval. Op 1,5 meter hoogte wordt meer afschermende werking verwacht.



figuur 9 *Equivalente geluidniveaus op de microfoonposities achter de haag*



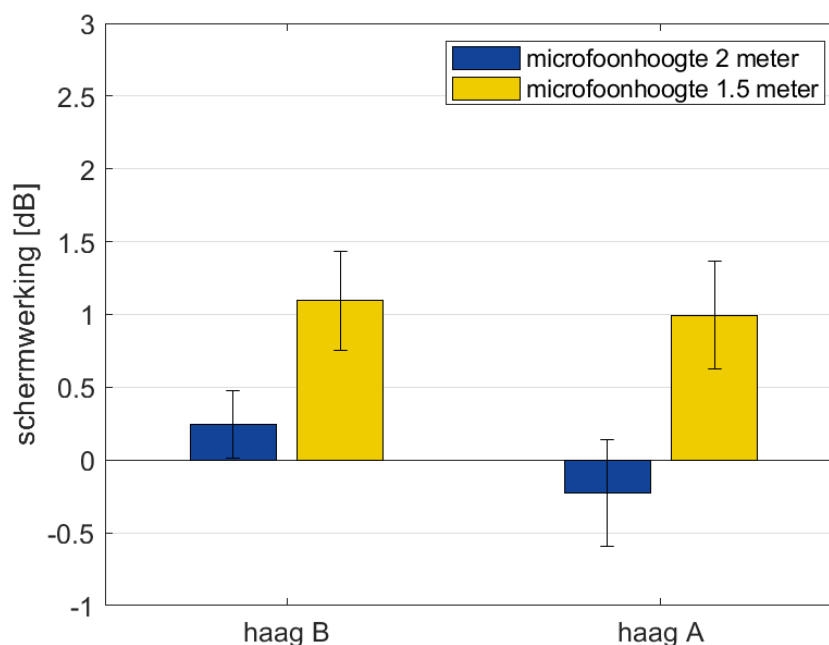
figuur 10 *Spectrale resultaten van de microfoonposities achter de haag, gemeten op 2,0 m hoogte (links) en 1,5 m hoogte (rechts)*

4.3 Analyse

De volgende stappen zijn genomen om de afschermende werking van de twee haagconfiguraties te bepalen:

- Per doorsnede is de overdracht van de microfoon aan de wegzijde naar de microfoon achter de haag bepaald. Eventuele verschillen in rijnsnelheid of afstand tot de rijbaan in zuidelijke rijrichting hebben hierdoor zo min mogelijk invloed op de resultaten van de hagen;
- Per haagconfiguratie zijn de resultaten van de twee doorsnedes gemiddeld;
- De afschermende werking volgt uit het verschil in de overdracht bij de hagen en de overdracht bij de referentiedoorsnedes. De afname door de afstand tussen de microfoonposities en eventuele bodemeffecten die niet bij de hagen horen worden hiermee verdisconteerd;
- Bovenstaande analyse is apart uitgevoerd voor de twee verschillende meethoogtes achter de haag.

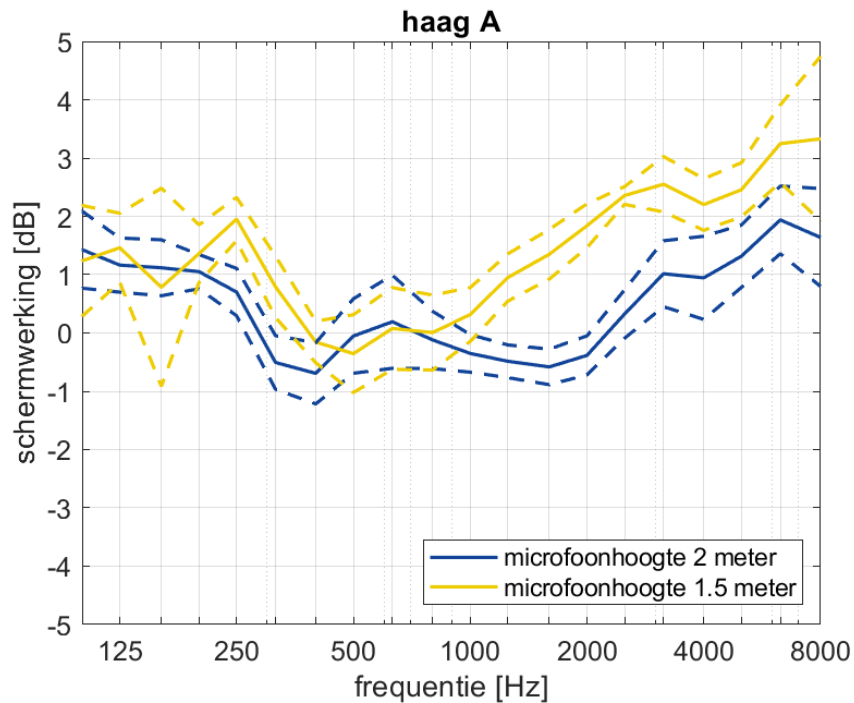
Uit de analyse volgen de afschermende werking op basis van het gemiddelde, equivalente, geluidniveau en per 1/3-octaaftand. De afschermende werking op basis van het gemiddelde geluidniveau is getoond in figuur 11.



figuur 11 Afschermende werking van de bamboehagen per configuratie voor twee meethoogtes achter de haag

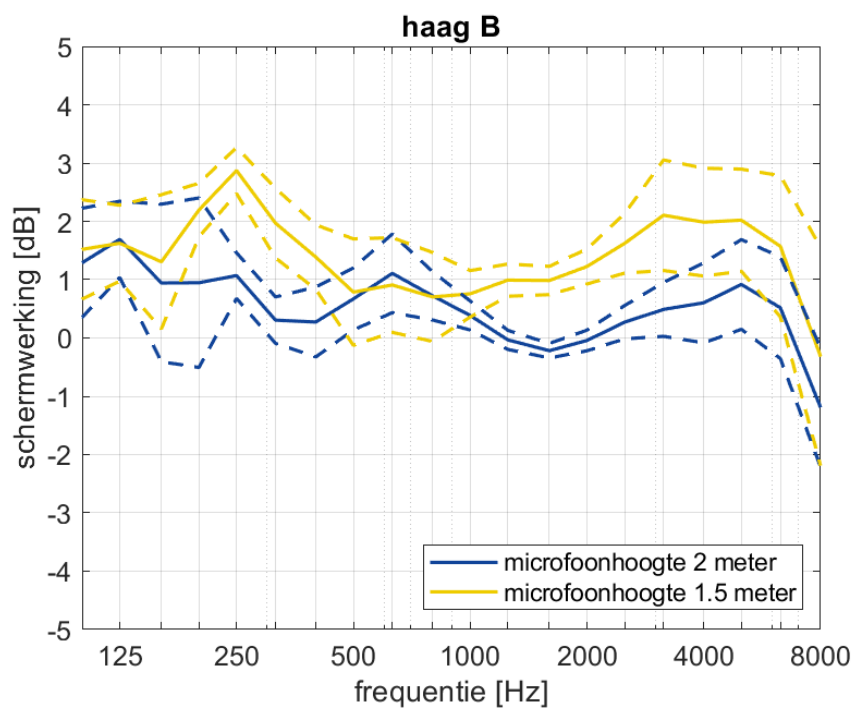
Zoals verwacht is de afschermende werking op een meethoogte van 2 meter verwaarloosbaar klein. Door de beperkte dichtgegroeide hoogte van de haag kan het geluid op die hoogte bijna onverstoorde verder. De metingen met de microfoons achter de haag op 1,5 meter hoogte tonen aan dat de bamboehagen wel degelijk een afschermende werking hebben.

De resultaten per 1/3-octaaftband staan in de volgende figuren. Ook hierbij is weer onderscheid gemaakt tussen de verschillende meethoogtes achter de hagen.



figuur 12

Afschermende werking per frequentieband van de bamboehaag met configuratie A voor twee meethoogtes achter de haag



figuur 13

Afschermende werking per frequentieband van de bamboehaag met configuratie B voor twee meethoogtes achter de haag

Op basis van het gemiddelde geluidniveau presteren beide haagconfiguraties soortgelijk. Uit de spectrale resultaten blijkt dat de afschermende werking per frequentieband niet overal hetzelfde is voor beide configuraties.

4.4 Geluidmodelberekeningen

Op basis van de verkeerstellingen die tijdens de metingen zijn uitgevoerd (tabel II) is een voertuigverdeling gemaakt. Daarnaast is met behulp van de VI-lucht en geluid van Infomill [5] de etmaalintensiteit en een verdeling over de dag-, avond- en nachtperiode gemaakt. Voor de etmaalintensiteit is uitgegaan van 16.329 motorvoertuigen per etmaal. In tabel III is de voertuigverdeling weergegeven zoals deze is toegepast in het rekenmodel. Het bodemmodel is gemaakt aan de hand van het actueel hoogtebestand Nederland (AHN3).

tabel III Toegepaste verkeersverdeling in het rekenmodel

categorie	dag [%]	avond [%]	nacht [%]
uur-intensiteit per etmaalperiode	6,45	3,24	1,18
motorrijwielen	-	-	-
lichte motorvoertuigen	95	95	95
middelzware motorvoertuigen	2	2	2
zware motorvoertuigen	3	3	3

Met een geluidmodel kan een inschatting gemaakt worden van de geluidoverdracht tussen de meetpunten voor en achter de haag. In tabel IV is de berekende overdracht weergegeven voor de verschillende doorsnedes en de verschillende microfoonhoogtes achter de hagen. De verschillen tussen de doorsnedes zijn niet significant verschillend.

tabel IV Berekende overdracht op de verschillende doorsnedes

haag	doorsnede	overdracht op 1,5m hoogte [dB]	overdracht op 2m hoogte [dB]
haag B	1	-7,3	-7,0
	2	-7,5	-7,1
haag A	1	-7,3	-7,0
	2	-7,3	-7,0
referentie	1	-7,4	-7,0
	2	-7,2	-7,2

De resultaten van de berekeningen kunnen vergeleken worden met de resultaten van de metingen. Hierbij moet bedacht worden dat er verschillen zijn tussen de metingen en de berekeningen:

- De metingen zijn uitgevoerd over een korte tijd, terwijl in de berekeningen wordt uitgegaan van langere periodes. De absolute niveaus kunnen hierdoor behoorlijk verschillen;
- De metingen zijn uitgevoerd bij meewindcondities, in het model wordt echter uitgegaan van meteorologisch gemiddelde omstandigheden. Meewindcondities zorgen doorgaans voor verhoogde geluidsniveaus;
- In werkelijkheid zijn de fysische eigenschappen van de bodem complexer dan in het model. Met name begroeiing in het overdrachtsgebied is erg lastig te modelleren;
- In een geluidmodelberekening is het lastig kleine afstanden in te stellen. Rijstroken worden bijvoorbeeld gemiddeld tot een enkele rijlijn, relatieve afstanden tot aan de weg zijn dan erg lastig uit te meten;
- Voor dit onderzoek is een enkele variant doorgerekend, de onzekerheid is daardoor onbekend. In een vervolgonderzoek zouden variaties toegepast kunnen worden om de berekende waarden te fitten op de gemeten resultaten.

De overdrachtswaardes die uit de geluidmetingen volgen staan gepresenteerd in tabel V.

tabel V

Gemeten overdracht op de verschillende doorsnedes

haag	doorsnede	overdracht op 1,5m hoogte [dB]	overdracht op 2m hoogte [dB]
haag B	1	-12,0	-10,2
	2	-11,8	-10,2
haag A	1	-11,5	-9,4
	2	-12,1	-10,0
referentie	1	-11,0	-10,1
	2	-10,7	-9,7

Er zit een systematisch verschil tussen de overdrachtswaardes van de metingen en berekeningen. Gezien de beperkingen van de modelberekeningen over korte afstand is dit zeker niet vreemd. Dat het een systematisch verschil is geeft wel aan dat in langsrichting het model constant is en dat eventuele afschermende werking hierin later wel te verwerken is.

5 Evaluatie

5.1 Geluidmetingen

De hoogte van de twee bamboehagen is ca. 3,5 meter. De hoogte tot waar de hagen behoorlijk dichtgegroeid zijn is ca. 2 meter. Tijdens de uitvoering van de geluidmetingen ontstond al snel het vermoeden dat de afscherpende werking tegen zou vallen op een meethoogte van 2,0 meter. Het geluid kan op die hoogte immers bijna onverstoord voortbewegen. Ook op lagere hoogte bleek de haag niet overal goed dicht.

Dit vermoeden is bevestigd door de resultaten van de geluidmetingen. Op 2,0 meter hoogte gemeten is het effect van de hagen verwaarloosbaar klein. Als achter de hagen op een lagere meethoogte gemeten wordt is er al wel een effect van de hagen waarneembaar.

De afscherpende werking van de twee verschillende configuraties lijken in grote lijnen behoorlijk op elkaar. Omdat het gras in de berm behoorlijk lang was hebben we het vermoeden dat het effect rond de 250 Hz tertsband eerder een bodemeffect is dan een effect van het bamboe. Het kleine walletje midden in de haag heeft hier mogelijk wel nog een bijdrage aan. Beide hagen hebben boven 1000 Hz een oplopende afscherpende werking, we verwachten dat dit door het bamboe zelf veroorzaakt wordt.

5.2 Geluidmodelberekeningen

Een geluidmodel op basis van Standaard RekenMethode 2 is bedoeld om de geluidverdeling over een groot gebied te berekenen. In het huidige model van de bamboehagen zijn de afstanden relatief klein, dit resulteert in een grote onzekerheid in de berekeningen. Wij verwachten dat het toch mogelijk moet zijn om een model op te stellen voor een levend bamboegeluidsschermband. Met name zodra het mogelijk is om op grotere afstand achter de hagen te meten en modelleren, zullen berekening en meting dicht bij elkaar liggen. Op basis hiervan kan dan bepaald worden dat een volgroeid bamboegeluidsschermband akoestisch gelijkwaardig is aan een 'conventioneel' geluidsschermband van een nader te bepalen hoogte.

5.3 Toekomstige situatie en aanbevelingen

Tijdens de metingen bleek dat de dichtbegroeide hoogte van de hagen beperkt was tot ca. 1,5 tot 2 meter. Wij verwachten dat de dichtbegroeide hoogte toe zal nemen in de komende groeiseizoenen waarmee de afscherpende werking ook toe zal nemen. Daarnaast zullen eventuele verschillen in afscherpende werking tussen beide configuraties beter tot uiting komen wanneer deze groter is.

Bij een eventueel vervolgonderzoek zal er goed gekeken moeten worden tot welke hoogte de hagen goed dichtgegroeid zijn. Meten op een te grote hoogte kan de afscherpende eigenschappen behoorlijk onderschatten. Het is daarom aan te bevelen om bij een volgroeide haag per dwarsdoorsnede op meerdere hoogtes te meten. Ook metingen op grotere afstand achter de hagen zijn aan te bevelen, grotere afstanden zijn immers beter te modelleren.

In het gebied rond de hagen en bij de referentieposities stond het gras behoorlijk hoog. Dit heeft mogelijk invloed gehad bij de bepaling van de eigenschappen van de hagen. Bij een vervolgonderzoek is het aan te bevelen om voor een uniformer overdrachtsgebied te zorgen door kort voor de metingen het gebied rond de meetopstelling te maaien.

Bij een vervolgonderzoek zou er ook meer aandacht besteed kunnen worden aan de modelberekeningen. Door op grotere afstanden te meten zijn de modelberekeningen beter te fitten op de gemeten waarden voor de overdracht bij de referentieposities. Door diverse variaties door te rekenen is een nauwkeuriger model op te stellen voor de omgeving en kunnen de eigenschappen van de hagen vervolgens ook beter gemodelleerd worden.

Zodra de haag volgroeid is en de daarbij horende eigenschappen vastgelegd gaan worden stellen we voor om enkele aanvullende metingen uit te laten voeren:

- Door middel van een Close-Proximity (CPX)-meting [6] kunnen de akoestische eigenschappen van de haag vastgelegd worden. Eventuele variaties in geluidemissie van de haag kunnen dan ook meegenomen worden in de analyse voor de meetposities aan de haagzijde;
- Om een vergelijking te maken met 'conventionele' schermen is het aan te bevelen om de isolerende en absorberende eigenschappen van de haag te bepalen. Hiervoor zijn twee meetmethoden ontwikkeld:
 - NEN-EN 1793-5: 2016 [7] beschrijft de meetmethode om de reflectie-index te bepalen;
 - NEN-EN 1793-6: 2012 [8] beschrijft de methode om de geluidisolatie in-situ te meten.

6 Literatuur

- [1] “Onderzoek naar akoestische aspecten voor de toepassing van een bamboebossage als geluidsschermb”, V.2012.0460.00.R002, 30 november 2012;
- [2] <http://www.bamboegeluidsschermb.nl/>;
- [3] ISO 10847, “Acoustics -- In-situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types”, 1997;
- [4] Reken- en meetvoorschrift geluid 2012, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Den Haag, 27 juni 2012;
- [5] <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/luchtkwaliteit/slag/hulpmiddelen/inschatten/>, versie 18 mei 2018;
- [6] ISO 11819-2:2017, “Acoustics -- Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise -- Part 2: The close-proximity method”, maart 2017;
- [7] NEN-EN 1793-5: 2016, “Verkeersgeluidbeperkende constructies langs wegen - Beproevingsmethode voor de bepaling van de akoestische prestatie - Deel 5: Intrinsieke kenmerken - In-situ waarden voor geluidsreflectie in vrije veld condities”, april 2016;
- [8] NEN-EN1793-6: 2012, “Verkeersgeluidbeperkende constructies - Beproevingsmethode voor de bepaling van de akoestische prestatie - Deel 6: Intrinsieke eigenschappen - In-situ waarden van luchtgeluidisolatie onder directe geluidsveldcondities”, november 2012.

Bijlage A

Meetresultaten

tabel VI

Equivalent geluidniveau en geluidspectrum per meting voor microfoon B1

	meting 1	meting 2	meting 3	meting 4	meting 5	meting 6	meting 7
LAeq	76.0	74.7	75.8	76.1	75.8	76.2	75.7
12.5	2.3	-1.1	-0.3	-0.7	-2.7	-1.0	0.6
16	8.4	4.4	5.7	5.1	5.4	8.2	6.4
20	11.8	9.3	10.0	9.4	10.7	15.6	13.1
25	16.5	15.5	15.6	16.1	14.4	14.8	14.8
31.5	22.3	18.5	20.5	20.0	18.9	20.5	21.5
40	26.8	24.3	26.1	25.6	26.4	29.9	28.7
50	36.3	33.7	35.7	35.2	34.9	37.6	34.9
63	41.7	38.8	40.9	41.3	42.4	39.9	40.5
80	43.0	38.7	43.1	44.5	43.4	45.0	43.1
100	42.7	39.6	42.5	45.2	44.5	50.7	46.1
125	49.2	41.6	45.0	46.4	48.1	48.1	48.1
160	44.6	43.3	47.9	45.4	48.2	46.8	51.9
200	47.5	45.3	47.4	48.0	50.0	51.0	47.7
250	50.3	49.5	50.4	54.0	52.2	52.9	53.3
315	54.9	50.7	54.3	56.0	57.0	55.1	52.4
400	57.8	51.8	54.3	56.2	56.2	57.0	54.6
500	59.6	56.4	58.6	59.5	58.9	60.1	57.4
630	65.1	60.8	64.2	64.2	63.9	63.2	61.9
800	67.0	64.4	65.9	67.4	66.0	66.2	66.0
1000	68.7	67.5	68.6	68.6	68.6	68.8	68.5
1250	68.6	67.9	69.0	68.9	68.7	69.3	68.7
1600	68.0	67.5	68.2	68.3	68.1	68.7	68.3
2000	66.3	65.9	66.6	66.7	66.5	67.2	66.6
2500	63.2	62.8	63.5	63.5	63.3	64.1	63.4
3150	59.7	59.2	60.0	60.0	60.0	60.7	61.6
4000	56.2	55.5	56.5	56.4	56.7	57.4	56.7
5000	52.3	51.4	52.4	52.6	53.5	53.8	52.6
6300	48.9	47.6	48.7	48.9	49.9	50.9	49.0
8000	44.7	43.4	44.8	44.8	45.8	47.5	45.0

tabel VII

Equivalent geluidniveau en geluidspectrum per meting voor microfoon B2

	meting 1	meting 2	meting 3	meting 4	meting 5	meting 6	meting 7
LAeq	75.9	74.8	75.9	76.2	76.0	76.3	75.8
12.5	-1.6	-4.1	-1.4	-3.2	-2.9	0.6	0.3
16	5.2	2.9	3.8	3.0	5.6	8.8	5.7
20	8.6	8.8	9.1	8.3	10.6	15.2	9.9
25	14.8	14.9	14.7	16.0	14.1	15.5	12.9
31.5	21.7	18.5	20.2	19.6	19.6	20.5	20.3
40	26.1	24.8	26.6	25.5	26.8	30.1	28.0
50	35.4	34.0	35.8	35.7	35.0	38.0	34.4
63	42.0	39.0	41.2	42.4	43.0	40.3	41.1
80	42.4	38.9	42.9	44.6	43.9	45.0	43.0
100	42.5	39.9	42.6	45.2	45.0	51.7	46.2
125	49.0	41.2	45.0	46.4	48.9	48.7	48.4
160	44.2	43.3	48.3	45.9	49.3	47.4	50.8
200	47.6	45.7	47.7	48.2	50.0	50.7	47.8
250	50.3	49.5	50.8	53.8	53.7	52.5	52.4
315	54.2	50.8	54.3	55.5	57.9	55.3	52.6
400	57.3	51.9	54.5	55.8	56.7	56.8	55.5
500	59.2	56.7	58.9	59.4	60.0	60.0	58.0
630	64.9	60.5	64.1	64.9	64.0	62.9	62.2
800	66.7	64.5	66.0	67.4	66.1	66.3	66.4
1000	68.8	67.8	68.8	68.9	68.8	68.9	68.9
1250	68.6	67.9	68.9	68.9	68.8	69.3	68.7
1600	67.9	67.5	68.3	68.4	68.2	68.8	68.3
2000	66.3	66.0	66.6	66.7	66.5	67.2	66.5
2500	63.1	62.8	63.4	63.4	63.3	64.1	63.2
3150	59.5	59.1	60.0	59.9	60.1	60.7	59.8
4000	55.9	55.2	56.6	56.2	56.7	57.2	56.3
5000	51.7	50.9	52.2	52.1	53.1	53.5	52.1
6300	48.2	47.1	48.4	48.4	49.5	50.7	48.6
8000	43.7	42.6	44.3	43.9	45.1	47.0	44.5

tabel VIII

Equivalent geluidniveau en geluidspectrum per meting voor microfoon B3

	meting 1	meting 2	meting 3	meting 4	meting 5	meting 6	meting 7
LAeq	65.9	64.7	65.4	65.8	63.9	64.5	63.3
12.5	-9.0	-8.8	-8.4	-11.4	-11.1	-11.3	-12.3
16	-1.0	-1.4	-1.4	-3.8	-1.0	4.6	-4.1
20	5.1	4.8	5.0	3.5	5.6	13.7	4.2
25	10.3	12.1	11.6	11.6	10.9	10.7	8.7
31.5	17.9	15.3	16.5	16.5	15.6	17.4	16.5
40	22.2	20.9	22.2	21.5	22.9	28.3	23.6
50	32.0	31.4	31.3	31.4	31.0	33.4	30.7
63	37.7	34.4	35.9	36.3	38.7	36.7	36.4
80	37.2	33.3	37.2	39.4	38.9	40.7	38.4
100	38.1	35.8	36.5	38.7	39.1	46.1	39.7
125	42.5	35.7	37.6	39.3	42.4	42.6	41.5
160	36.6	39.4	39.7	37.7	40.9	40.0	45.0
200	38.2	40.4	38.0	38.5	40.5	41.5	38.1
250	40.6	39.9	40.0	43.3	40.9	41.5	41.4
315	44.2	41.2	43.4	45.1	44.6	43.1	39.5
400	47.4	42.2	43.2	45.6	43.5	45.5	41.1
500	48.5	46.2	47.3	48.6	47.0	49.3	44.9
630	53.4	50.3	52.6	53.6	51.9	52.1	49.1
800	55.8	53.5	54.5	56.4	53.7	54.4	53.2
1000	58.4	57.2	57.8	58.0	56.5	56.5	56.2
1250	58.9	57.9	58.6	58.7	56.8	57.1	56.2
1600	58.4	57.6	58.2	58.4	56.2	56.9	55.8
2000	57.0	56.3	56.9	57.0	54.7	55.5	54.3
2500	54.0	53.3	53.8	53.7	51.4	52.1	50.9
3150	50.5	50.0	50.2	50.1	47.8	48.3	48.0
4000	45.8	45.4	45.6	45.6	43.6	44.2	43.0
5000	41.3	40.5	41.0	41.2	40.3	40.8	39.0
6300	37.5	36.9	37.1	37.3	36.9	38.1	36.2
8000	35.2	35.0	35.1	35.1	35.0	35.7	34.9

tabel IX

Equivalent geluidniveau en geluidspectrum per meting voor microfoon B4

	meting 1	meting 2	meting 3	meting 4	meting 5	meting 6	meting 7
LAeq	65.9	64.7	65.5	65.9	64.3	64.7	63.7
12.5	-9.7	-9.2	-9.0	-12.4	-11.9	-10.5	-13.8
16	-1.9	-2.0	-2.1	-4.5	-1.1	4.6	-4.5
20	3.9	4.3	4.5	2.6	4.6	13.5	4.6
25	10.5	11.5	10.9	10.9	10.0	10.0	7.9
31.5	17.8	15.1	16.1	15.9	15.5	17.0	16.2
40	21.6	20.5	22.3	21.2	22.5	27.9	23.3
50	31.5	30.8	31.0	30.9	30.7	33.2	30.3
63	37.1	34.1	35.7	36.8	38.6	36.3	36.3
80	36.4	32.8	36.6	38.8	38.9	40.9	38.0
100	37.6	35.1	36.2	38.0	38.9	45.1	39.3
125	41.9	34.9	37.1	38.8	42.3	41.3	41.8
160	36.0	38.0	39.3	37.5	41.1	40.3	44.0
200	37.9	38.9	37.8	38.4	40.0	40.3	37.6
250	40.3	39.4	40.2	43.0	41.6	40.8	40.9
315	43.3	40.7	43.3	44.4	44.7	43.2	39.2
400	46.9	41.9	43.4	45.7	44.0	45.2	41.7
500	48.5	46.3	47.8	48.8	48.3	49.4	45.2
630	54.0	49.9	52.7	54.4	52.6	52.1	49.5
800	55.7	53.5	54.6	56.5	54.3	54.6	54.8
1000	58.4	57.2	57.9	58.1	56.7	56.6	56.7
1250	58.7	57.7	58.6	58.5	57.1	57.0	56.1
1600	58.3	57.5	58.2	58.3	56.5	57.1	55.8
2000	57.1	56.4	57.0	57.1	55.2	56.1	54.7
2500	54.1	53.5	54.1	54.0	52.3	52.9	51.6
3150	50.8	50.3	50.8	50.5	49.1	49.6	48.4
4000	46.8	46.2	47.0	46.5	45.3	45.6	44.1
5000	42.1	41.4	42.2	42.1	41.4	41.7	39.9
6300	38.3	37.7	38.1	38.1	37.7	38.7	36.8
8000	35.5	35.3	35.5	35.5	35.4	36.1	35.2

tabel X

Equivalent geluidniveau en geluidspectrum per meting voor microfoon A1

	meting 1	meting 2	meting 3	meting 4	meting 5	meting 6	meting 7
LAeq	75.5	74.4	75.5	75.6	75.4	76.0	75.4
12.5	2.0	-4.1	-1.6	-4.4	-0.6	0.6	-0.4
16	8.0	2.3	4.3	1.3	6.6	7.0	4.5
20	10.9	9.3	9.9	7.2	10.3	15.4	11.0
25	17.6	15.1	15.2	16.0	14.6	15.2	15.7
31.5	22.5	18.7	20.5	18.9	19.9	21.4	21.4
40	26.6	24.2	28.0	27.3	27.7	30.6	27.8
50	37.4	34.5	36.0	36.5	36.0	37.5	35.7
63	42.1	40.1	40.7	43.1	43.6	41.0	41.4
80	42.0	38.6	41.4	42.1	43.6	45.2	43.1
100	42.8	39.4	42.3	44.0	44.8	47.4	47.3
125	49.6	41.2	44.1	46.1	50.8	49.1	49.5
160	44.8	43.0	47.8	46.5	48.9	47.9	50.8
200	48.3	46.0	47.5	48.4	50.2	49.4	48.3
250	51.1	49.8	52.5	54.9	52.7	53.2	51.7
315	54.3	51.0	54.3	55.7	55.3	55.2	53.2
400	57.2	51.5	54.0	54.8	57.5	56.4	56.1
500	59.5	56.8	58.7	59.3	59.3	59.9	58.2
630	63.8	60.9	63.6	64.8	62.9	62.8	61.8
800	66.4	63.9	65.3	65.7	65.5	65.6	65.6
1000	68.2	67.3	68.4	68.2	68.2	68.4	68.3
1250	68.2	67.5	68.6	68.4	68.2	68.9	68.4
1600	67.6	67.1	67.9	67.9	67.6	68.4	68.0
2000	66.0	65.6	66.3	66.3	66.0	67.0	66.3
2500	62.9	62.5	63.3	63.2	62.9	63.9	63.1
3150	59.5	58.9	60.4	59.8	59.5	60.9	59.7
4000	55.9	55.3	56.5	56.4	56.1	57.6	56.3
5000	51.9	51.1	52.1	52.3	52.4	54.1	52.2
6300	48.6	47.4	48.6	48.9	49.2	51.6	48.9
8000	44.1	42.8	44.3	44.4	45.0	48.3	44.7

tabel XI

Equivalent geluidniveau en geluidspectrum per meting voor microfoon A2

	meting 1	meting 2	meting 3	meting 4	meting 5	meting 6	meting 7
LAeq	75.3	74.1	75.1	75.3	75.0	75.7	75.0
12.5	2.0	-3.3	3.4	1.6	1.9	-1.5	4.9
16	10.2	3.7	6.4	6.7	6.9	7.4	10.8
20	15.3	10.5	10.8	12.4	12.2	17.7	13.9
25	17.5	15.1	16.3	17.8	15.8	17.1	17.8
31.5	22.3	18.7	20.8	23.5	20.9	22.0	23.3
40	27.4	24.9	28.5	31.1	28.5	30.4	29.8
50	37.2	35.5	36.2	36.2	36.7	37.3	35.8
63	41.1	40.4	40.5	43.1	43.9	40.9	41.6
80	41.5	38.5	41.0	41.7	43.8	45.3	43.2
100	43.1	38.9	41.9	44.3	44.8	47.2	47.2
125	49.0	40.7	42.9	45.0	50.9	49.7	51.0
160	44.1	42.6	45.9	45.8	47.7	47.3	49.8
200	47.8	45.7	46.8	48.3	50.0	49.1	48.2
250	50.9	49.5	52.2	54.8	52.6	53.7	51.3
315	54.3	50.3	53.6	55.2	55.0	54.9	53.1
400	56.7	51.2	53.3	54.7	57.0	56.4	53.9
500	60.4	56.8	58.6	59.5	59.2	59.9	57.2
630	63.8	60.4	63.0	64.5	62.6	62.7	61.4
800	66.0	63.6	65.1	65.5	65.2	65.3	64.9
1000	68.0	66.9	68.0	67.8	67.9	68.1	67.9
1250	68.0	67.3	68.3	68.1	67.9	68.6	68.1
1600	67.4	66.8	67.5	67.6	67.3	68.1	67.6
2000	65.8	65.3	65.9	65.9	65.7	66.7	66.0
2500	62.8	62.2	62.9	62.8	62.5	63.7	62.8
3150	59.3	58.6	59.4	59.4	59.1	60.5	59.4
4000	55.7	54.9	55.8	55.9	55.6	57.3	55.9
5000	51.9	50.7	51.6	51.9	52.0	53.9	51.9
6300	48.7	46.9	47.9	48.4	48.9	51.5	48.6
8000	44.6	42.4	43.6	43.9	44.8	48.2	44.7

tabel XII

Equivalent geluidniveau en geluidspectrum per meting voor microfoon A3

	meting 1	meting 2	meting 3	meting 4	meting 5	meting 6	meting 7
LAeq	66.2	65.1	65.9	66.2	63.9	64.8	63.5
12.5	-8.1	-9.9	-9.2	-12.8	-12.5	-6.3	-14.3
16	-2.3	-2.3	-2.6	-5.4	-1.9	3.7	-4.6
20	3.3	4.5	4.1	1.4	3.9	14.2	3.2
25	11.1	11.5	10.7	11.0	9.5	11.1	8.3
31.5	17.2	14.9	16.1	15.5	15.3	17.5	16.1
40	21.9	20.5	23.3	22.9	22.9	28.5	23.2
50	32.7	30.7	31.2	31.7	31.4	33.1	30.9
63	37.2	35.3	35.6	37.9	39.2	36.6	36.6
80	36.2	33.1	36.2	36.6	39.6	41.1	38.4
100	38.4	34.2	36.2	37.9	39.6	43.0	40.5
125	43.1	35.0	37.5	39.2	44.5	42.8	44.0
160	37.1	36.6	39.5	38.4	42.2	41.5	43.9
200	39.1	38.2	38.3	39.4	41.2	40.9	38.9
250	41.3	40.7	41.8	45.3	42.0	42.8	41.3
315	44.5	41.8	44.2	45.8	44.5	44.7	41.1
400	48.0	42.4	44.2	46.0	46.5	47.0	43.1
500	49.7	47.6	48.8	49.4	48.7	51.1	46.7
630	53.9	51.5	53.0	56.0	52.0	53.1	50.3
800	56.3	54.2	55.3	55.8	54.3	55.3	54.4
1000	58.8	57.7	58.6	58.4	56.9	57.2	56.7
1250	59.0	58.2	59.0	58.8	56.6	57.2	56.2
1600	58.7	57.8	58.5	58.6	55.7	56.8	55.6
2000	57.4	56.6	57.3	57.3	54.1	55.6	54.0
2500	54.1	53.3	54.1	53.9	50.6	52.0	50.3
3150	50.5	49.6	50.7	50.2	46.9	48.7	46.6
4000	46.7	45.7	46.7	46.4	43.3	45.4	43.1
5000	41.8	40.6	41.5	41.6	39.2	41.5	38.6
6300	37.1	35.7	36.6	36.8	35.3	38.2	34.3
8000	33.1	32.0	32.5	32.3	31.3	33.9	30.9

tabel XIII

Equivalent geluidniveau en geluidspectrum per meting voor microfoon A4

	meting 1	meting 2	meting 3	meting 4	meting 5	meting 6	meting 7
LAeq	65.5	64.1	65.0	65.2	62.9	64.0	62.5
12.5	-8.5	-9.0	-8.3	-12.9	-12.3	-7.0	-13.9
16	-2.1	-1.7	-2.0	-5.0	-2.3	4.1	-5.0
20	3.6	4.9	3.9	1.3	3.7	14.7	3.8
25	10.9	11.3	10.4	10.7	9.2	11.8	8.2
31.5	17.1	14.7	15.9	15.8	15.3	18.0	16.3
40	22.0	20.6	23.1	22.8	23.0	28.4	22.8
50	33.1	30.9	30.7	31.4	31.6	32.9	30.5
63	36.0	35.0	35.2	37.4	39.3	36.3	36.4
80	35.8	32.8	35.5	35.9	39.8	40.8	37.8
100	38.2	33.5	35.6	37.5	39.2	42.1	39.9
125	42.7	34.5	36.8	38.2	44.3	43.4	44.6
160	36.5	36.0	38.7	37.6	41.7	40.6	42.7
200	39.0	37.6	37.7	39.0	41.0	40.1	38.8
250	41.2	40.2	41.4	44.8	41.5	42.8	40.2
315	44.7	40.8	43.4	44.9	43.5	43.9	40.1
400	46.9	41.8	43.3	45.2	45.5	47.1	41.5
500	49.7	47.2	47.7	49.0	47.9	50.6	45.4
630	53.3	50.4	51.9	54.4	51.0	52.8	49.4
800	55.5	53.2	54.3	54.8	53.1	54.4	52.8
1000	58.1	56.9	57.7	57.7	55.8	56.2	55.6
1250	58.4	57.3	58.2	58.1	55.5	56.3	55.2
1600	57.9	56.9	57.6	57.6	54.5	55.8	54.5
2000	56.6	55.7	56.3	56.3	53.0	54.5	53.0
2500	53.3	52.3	53.1	52.9	50.0	51.5	49.8
3150	49.5	48.3	49.2	49.0	47.1	48.6	46.7
4000	45.2	43.9	44.8	44.7	43.1	44.7	42.8
5000	41.0	39.3	40.1	40.4	39.3	41.3	38.5
6300	36.7	34.7	35.4	35.8	34.9	37.9	33.8
8000	32.9	31.3	31.6	31.7	30.9	33.6	30.4

tabel XIV

Equivalent geluidniveau en geluidspectrum per meting voor microfoon ref1

	meting 1	meting 2	meting 3	meting 4	meting 5	meting 6	meting 7
LAeq	75.1	73.9	75.0	75.2	74.8	75.5	74.8
12.5	1.6	-3.1	0.8	0.0	-1.4	2.4	-4.0
16	5.6	3.5	5.6	5.0	4.4	9.3	2.5
20	9.5	9.0	9.7	9.8	10.3	16.1	10.9
25	16.5	15.5	14.8	15.4	14.6	16.1	13.8
31.5	21.9	18.6	21.3	23.1	20.7	23.1	21.8
40	26.8	25.2	29.0	28.1	28.3	30.6	27.8
50	38.5	35.9	36.1	35.8	37.5	37.8	36.8
63	40.3	40.3	40.5	42.7	44.4	41.3	41.2
80	41.3	38.7	41.6	41.8	46.7	44.7	43.1
100	43.6	38.1	41.5	41.9	47.4	47.2	44.6
125	48.6	40.8	43.5	43.4	48.9	49.3	49.6
160	43.8	42.3	45.4	44.5	53.5	47.2	45.8
200	47.7	45.1	46.2	47.6	50.8	49.4	47.9
250	50.6	48.7	51.2	54.1	52.8	53.6	50.9
315	54.8	49.6	53.3	53.8	55.0	54.9	52.5
400	55.7	51.1	53.2	54.2	56.6	57.2	53.3
500	59.5	57.0	59.0	59.7	60.0	59.7	57.1
630	63.3	60.1	62.8	64.8	63.0	62.7	61.4
800	66.1	63.6	65.1	65.4	64.9	65.3	64.7
1000	67.9	66.9	67.9	67.9	67.6	68.1	67.7
1250	67.8	67.0	67.9	67.9	67.5	68.3	67.8
1600	67.1	66.5	67.3	67.3	66.8	67.7	67.3
2000	65.5	64.9	65.5	65.6	65.2	66.3	65.7
2500	62.5	61.7	62.4	62.6	62.0	63.3	62.4
3150	59.2	58.4	59.3	59.4	58.9	60.4	59.2
4000	55.8	54.6	55.7	55.9	55.4	57.1	55.7
5000	52.1	50.7	51.8	52.2	52.0	54.1	52.1
6300	49.0	47.3	48.4	48.9	49.9	52.2	49.2
8000	45.2	43.0	44.4	44.7	45.1	49.1	45.6

tabel XV

Equivalent geluidniveau en geluidspectrum per meting voor microfoon ref2

	meting 1	meting 2	meting 3	meting 4	meting 5	meting 6	meting 7
LAeq	74.7	73.4	74.4	74.8	74.3	75.1	74.3
12.5	-0.6	-2.1	-3.3	-7.7	-1.3	0.6	-6.1
16	2.6	2.6	2.2	-0.8	3.9	5.0	0.2
20	7.7	8.7	7.9	5.7	11.1	15.7	8.5
25	14.3	14.2	13.9	13.7	15.9	13.9	12.1
31.5	20.4	17.9	20.3	21.8	19.9	22.3	20.3
40	25.7	24.8	28.0	27.1	27.4	30.4	27.3
50	37.2	35.1	35.5	35.3	37.4	36.6	36.2
63	40.1	40.2	41.0	42.5	43.6	41.1	40.3
80	40.9	37.6	41.8	41.1	45.4	44.2	41.9
100	43.9	37.3	43.4	40.9	45.8	47.0	44.4
125	47.6	40.2	45.1	43.0	47.5	49.0	48.5
160	43.3	41.9	45.2	44.0	51.9	47.1	44.9
200	47.1	44.6	46.3	47.3	50.1	49.7	48.0
250	50.0	48.3	50.7	54.5	52.3	53.1	50.3
315	54.6	49.0	53.2	53.1	54.6	54.8	52.6
400	54.8	50.4	52.8	53.5	56.2	56.9	52.8
500	59.5	56.3	58.2	59.0	59.4	59.4	56.7
630	62.8	59.2	62.1	64.3	62.0	62.1	60.8
800	65.8	62.9	64.2	64.8	64.2	64.6	64.0
1000	67.4	66.3	67.3	67.4	67.2	67.5	67.2
1250	67.5	66.6	67.5	67.6	67.2	68.1	67.5
1600	66.8	66.1	66.9	67.0	66.5	67.8	67.0
2000	65.2	64.5	65.1	65.3	64.8	66.0	65.4
2500	62.1	61.4	62.0	62.2	61.7	62.9	62.1
3150	58.7	57.8	58.6	58.7	58.2	59.8	58.5
4000	55.2	54.2	55.2	55.5	55.0	56.7	55.2
5000	51.6	50.2	51.2	51.6	52.2	53.5	51.3
6300	48.1	46.2	47.4	47.9	51.7	51.2	47.8
8000	43.5	41.6	43.1	43.3	44.0	47.9	43.9

tabel XVI

Equivalent geluidniveau en geluidspectrum per meting voor microfoon ref3

	meting 1	meting 2	meting 3	meting 4	meting 5	meting 6	meting 7
LAeq	65.1	63.8	64.7	65.0	63.8	65.1	63.3
12.5	-6.0	-8.6	-8.8	-11.7	-11.2	-4.4	-13.3
16	-1.4	-1.2	-1.9	-5.0	-2.7	3.9	-4.2
20	3.7	4.7	3.9	1.8	4.0	14.5	4.1
25	10.7	11.2	9.8	10.1	9.1	10.4	8.7
31.5	17.3	14.7	16.4	17.3	15.6	18.9	16.7
40	22.1	21.2	23.7	23.3	23.6	28.7	23.3
50	34.3	31.8	30.9	31.1	32.6	32.9	31.6
63	35.4	35.2	35.9	37.9	39.8	36.5	36.5
80	36.2	33.7	36.7	36.7	40.5	41.4	37.8
100	39.6	33.9	37.3	37.1	42.0	43.1	39.7
125	43.2	35.2	38.1	38.0	44.2	44.5	44.4
160	37.2	36.4	38.5	37.8	45.1	42.0	40.8
200	39.6	37.8	38.3	39.8	42.8	41.7	40.6
250	41.8	40.1	41.7	45.3	43.9	44.9	42.6
315	44.1	40.1	42.8	43.9	44.8	45.3	41.1
400	45.0	40.5	42.0	44.6	44.9	47.9	40.7
500	48.8	46.8	47.9	49.4	48.1	50.7	44.3
630	52.7	49.6	52.2	55.1	50.9	52.9	48.9
800	55.4	53.0	54.2	54.6	52.9	54.4	52.4
1000	57.8	56.5	57.3	57.4	56.0	56.5	55.6
1250	57.8	56.8	57.7	57.5	56.3	57.5	56.1
1600	57.2	56.3	57.2	57.0	55.9	57.4	55.9
2000	56.0	55.2	55.9	55.8	54.8	56.4	54.8
2500	53.3	52.4	53.1	53.0	51.9	53.6	51.7
3150	50.3	49.4	50.1	50.0	48.6	50.8	48.3
4000	46.4	45.2	46.0	46.1	44.5	46.7	44.1
5000	42.4	41.0	41.7	42.1	41.2	44.0	40.2
6300	38.5	36.9	37.6	38.1	39.8	41.8	36.4
8000	34.4	32.7	33.4	33.8	33.6	39.0	32.8

tabel XVII

Equivalent geluidniveau en geluidspectrum per meting voor microfoon ref4

	meting 1	meting 2	meting 3	meting 4	meting 5	meting 6	meting 7
LAeq	65.1	63.6	64.7	64.9	63.6	65.0	63.1
12.5	-6.9	-10.0	-9.3	-12.3	-12.5	-3.7	-13.7
16	-2.0	-0.9	-1.8	-4.7	-1.9	4.3	-4.1
20	4.3	5.1	4.4	2.4	4.5	15.2	5.1
25	10.9	11.2	10.2	10.4	9.6	10.9	9.1
31.5	17.4	14.8	16.7	17.6	15.9	19.2	16.9
40	22.4	21.6	23.9	23.4	23.6	29.1	23.8
50	33.9	31.8	31.2	31.5	33.3	33.2	31.7
63	35.8	35.4	36.7	38.3	39.7	37.0	36.3
80	36.5	33.7	37.0	37.1	40.6	41.3	37.8
100	39.8	33.7	38.7	36.9	41.5	43.2	39.9
125	43.0	35.1	39.4	37.9	43.2	44.5	43.5
160	37.2	36.2	38.3	37.7	44.5	42.8	40.0
200	39.2	37.3	38.3	39.6	42.4	41.8	40.5
250	41.0	39.3	41.0	44.7	43.0	44.4	41.4
315	43.6	39.2	42.2	42.7	43.7	44.9	40.4
400	45.2	40.7	42.5	44.2	44.4	47.5	40.3
500	49.3	47.2	48.6	49.2	48.1	51.0	44.6
630	52.9	49.7	52.7	55.5	51.4	53.2	49.4
800	55.6	53.0	54.3	54.6	53.1	54.7	52.5
1000	57.6	56.3	57.2	57.2	56.1	56.6	55.7
1250	57.6	56.5	57.5	57.3	56.1	57.1	55.9
1600	56.9	55.9	56.9	56.7	55.5	56.9	55.5
2000	55.9	55.0	55.8	55.6	54.3	56.1	54.4
2500	53.3	52.4	53.2	53.0	51.7	53.4	51.5
3150	50.3	49.4	50.2	50.0	48.6	50.9	48.5
4000	46.3	45.2	46.1	46.2	44.8	47.0	44.6
5000	42.5	41.0	41.9	42.3	41.9	44.0	40.5
6300	38.6	36.8	37.6	38.1	41.1	41.5	36.4
8000	34.5	32.8	33.6	34.0	34.0	38.8	32.8