

Oude Waalsdorperweg 63
2597 AK Den Haag
Postbus 96864
2509 JG Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 10 00
F 5.1.2e

TNO-rapport

TNO 2018 R11565

Ontwikkeling rekenregel diffractor Fase 2

Datum 29 maart 2019

Auteur(s)

5.1.2e

5.1.2e

5.1.2e

Exemplaarnummer

Oplage

Aantal pagina's 40 (incl. bijlagen)

Aantal bijlagen

Opdrachtgever Rijkswaterstaat

Projectnaam

Projectnummer 060.33261

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2018 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Deel 1: parameterstudie schermwerking SRM2	4
2.1	Parameterstudie: schermwerking als functie van het fresnelgetal	4
2.2	Diffactor-effect als functie van bronafstand en producteigenschappen	4
2.3	Afname diffractor-effect met toenemende bronafstand	5
2.4	Parameterstudie in SRM2 voor de lijn van de schaduwwerking	8
2.5	Mogelijke implementatie in SRM2	11
3	Deel 2: rekenresultaten voor een zachte bodem	15
3.1	Overzicht parameterstudie	15
3.2	Rekenresultaten	16
4	Deel 3: effect zachte bodem in rekenregel	18
4.1	Beschrijving aanpak	18
4.2	Resultaat voor de rekenregel per octaafband	20
5	Ondertekening	24
	Bijlage(n)	
	A Bevindingen aanpassing SRM2 schermwerking (op basis van fresnelgetal)	
	B Afname diffractor-effect met toenemende bronafstand in tertsbanden	
	C Schaduwwerking: vergelijking diffractor rekenresultaten en fresnelwaarden op basis van SRM2	
	D DGMR: Rekenregel diffractor in Geomilieu	

1 Inleiding

Het Reken- en Meetvoorschrift Geluid (RMG) zal worden uitgebreid met een 'rekenregel voor diffractoren' zodat het effect van de diffractor meegenomen kan worden voor wegverkeersgeluid volgens de Standaard Rekenmethode 2 (SRM2). Hiertoe zal een aanpassing van de schermwerking worden bepaald, waarbij zowel een vermindering als een versterking van het geluidniveau kan optreden.

Dit rapport is onderverdeeld in drie delen.

Deel 1 Parameterstudie voor aanpassing van de schermwerking in SRM2

Deel 2 Rekenresultaten voor het effect van een zachte bodem

Deel 3 Effect zachte bodem in rekenregel

In deel 1 wordt in eerste instantie gekeken, op basis van een parameterstudie, hoe de schermwerking in SRM2 kan worden aangepast om de werking van de diffractor weer te geven. In tweede instantie wordt uitgegaan van de producteigenschappen van de diffractor. Hierbij neemt het diffractor-effect af als de bron verder van de diffractor is verwijderd. Het resultaat van dit deel is een rekenregel in SRM2 waarbij wordt uitgegaan van een hard wegdek en een hard bodemgebied.

In deel 2 worden rekenresultaten gepresenteerd voor een aantal variaties van een akoestisch zachte berm. Hierbij wordt onder andere gevarieerd vanaf welke afstand tot de diffractor er een zachte berm aanwezig is.

Deel 3 beschrijft opnieuw de rekenregel in SRM2, maar nu inclusief het effect van een akoestisch zachte oppervlak in de nabijheid van de diffractor.

2 Deel 1: parameterstudie schermwerking SRM2

2.1 Parameterstudie: schermwerking als functie van het fresnelgetal

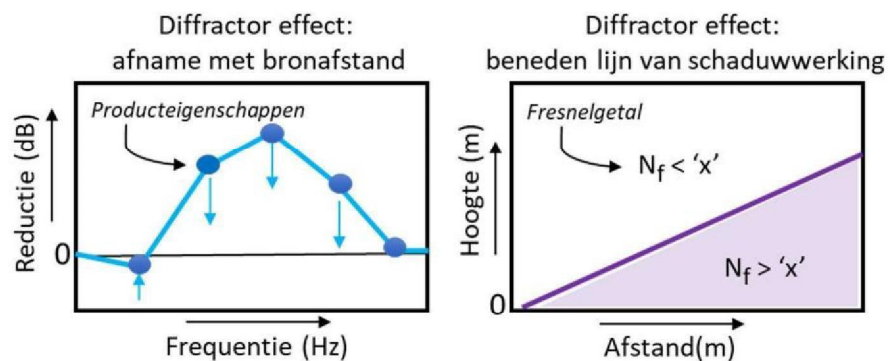
In een eerste studie is gekeken naar de mogelijkheid om de schermwerking aan te passen (door de Maekawa-curve te bekijken als functie van het fresnelgetal). Hierbij worden de resultaten uit de bestaande dataset voor een enkele en dubbele diffractor gebruikt en vergeleken met de resultaten van de schermwerking berekend volgens SRM2. Het diffractor-effect blijkt echter geen eenduidige relatie te geven met de schermwerking. Een toelichting hierop is achteraan in dit rapport gegeven in Bijlage A.

2.2 Diffractor-effect als functie van bronafstand en producteigenschappen

Om het diffractor-effect te beschrijven in SRM2 wordt de volgende aanpak voorgesteld:

- 1) Het diffractor-effect neemt af bij een toenemende afstand van de bron tot de diffractor. De afname wordt bepaald op basis van de rekenresultaten voor de enkele en dubbele diffractor. Daarbij worden de producteigenschappen per octaafband als uitgangspunt genomen, deze volgen uit het diffractor-effect op korte afstand.
- 2) Het diffractor-effect is van toepassing beneden een lijn voor de schaduwwerking. Deze lijn wordt bepaald aan de hand van de akoestische omweg van een substitutiescherm en een drempelwaarde voor het fresnelgetal.

Deze twee stappen worden in de Hoofdstukken 2.3 en 2.4 toegelicht. Figuur 1 laat de aanpak schematisch zien. Hoofdstuk 2.5 gaat in op de mogelijke implementatie in SRM2.



Figuur 1. Schematische weergave van het diffractor-effect als functie van de frequentie (links), waarbij het effect afneemt met een toenemende afstand tussen rijbaan en diffractor, en als functie van de afstand en hoogte vanaf de diffractor (rechts), waarbij het effect optreedt boven een drempelwaarde van het fresnelgetal N_f .

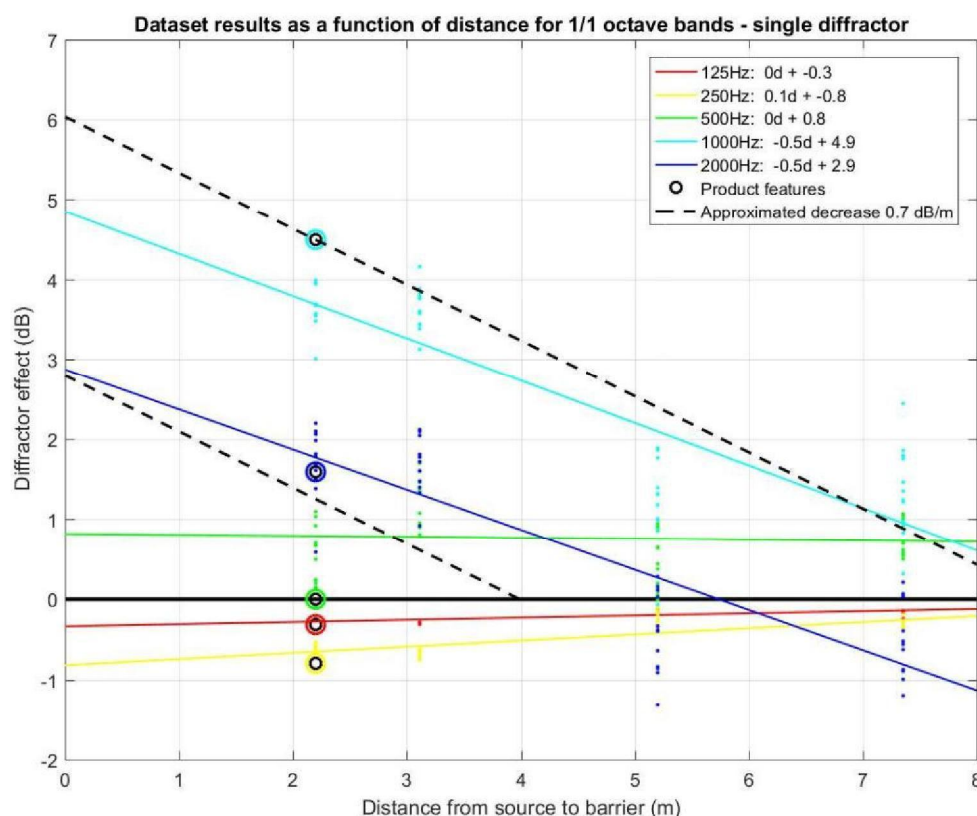
2.3 Afname diffractor-effect met toenemende bronafstand

De rekenresultaten voor twee rijstroken laten een afname zien van het diffractor-effect als de bronafstand tot de diffractor groter wordt. Naast de afname onder een hoek van 0 graden (loodrecht op de weg), wordt ook naar de afname gekeken onder een hoek van 45 graden. Voor de twee rijstroken resulteert dit in rekenresultaten voor 4 bronafstanden tot de diffractor.

In Figuur 2 zijn de rekenresultaten voor de enkele diffractor weergegeven met kleine markers op deze 4 afstanden. De resultaten zijn uitgesplitst per octaafband en vertonen een zekere spreiding vanwege de verschillende afstanden en hoogten die voor de 12 ontvangers zijn gebruikt: op 100, 200, 300 en 500 meter afstand en op 2, 5 en 10 meter hoogte.

Vervolgens is de afname van het diffractor-effect benaderd met een lineaire fit, weergegeven met de 5 gekleurde lijnen per octaafband. In de legenda is de afname in dB per meter opgenomen, met d de afstand van de bron tot halverwege de diffractor. Voor de werkzame frequenties van de enkele diffractor is deze helling $-0,5$ dB/m voor de twee werkzame octaafbanden van 1000 en 2000 Hz.

In een tweede lineaire fit is uitgegaan van de producteigenschappen, weergegeven met de ronde open markers, en één vaste helling van $-0,7$ dB/m. Deze benaderingen zijn weergegeven met de zwart gestreepte lijnen. Tabel 1 toont de producteigenschappen voor de enkele en dubbele diffractor.



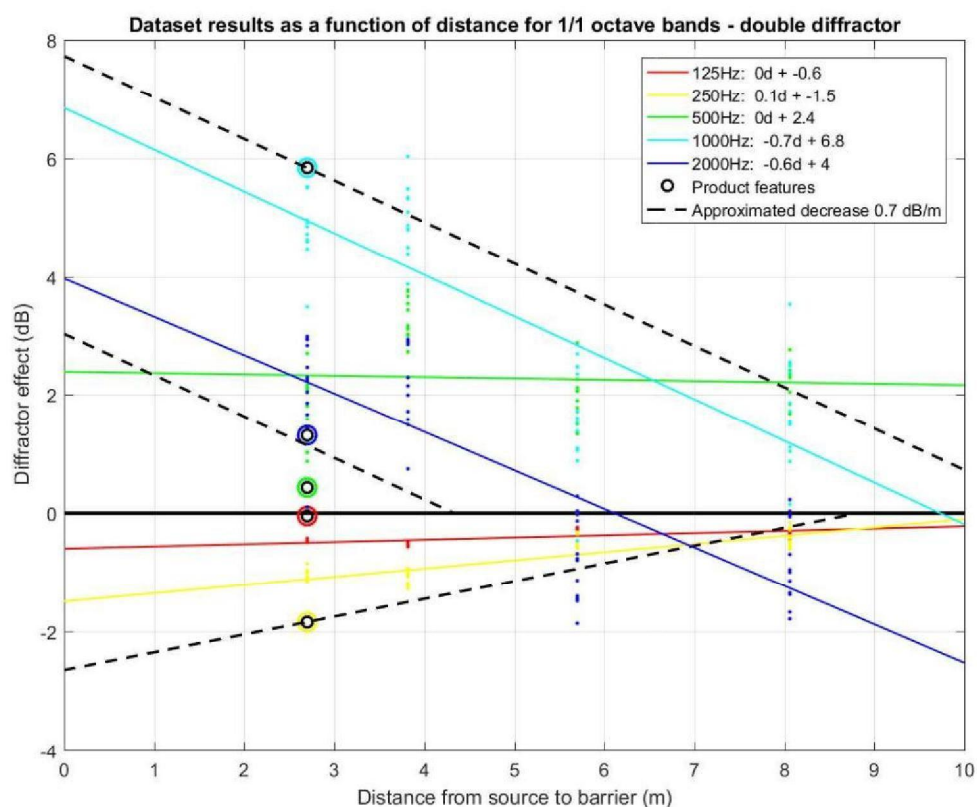
Figuur 2. Diffractor-effect (enkele diffractor) als functie van de bronafstand tot het midden van de diffractor, op basis van een lineaire fit door dataset resultaten (kleur) en als benadering vanuit de producteigenschappen (zwart).

Dat deze helling afwijkt van -0,5 dB/m komt omdat de helling voor de dubbele diffractor op -0,6 en -0,7 dB/m ligt, zoals weergegeven in Figuur 3. Door deze wat grotere helling te kiezen wordt de aanpak conservatiever voor de enkele diffractor en beter passend voor de dubbele diffractor.

Tabel 1. Producteigenschappen in dB van een enkele en dubbele rij diffractoren gelegen langs de wegkant, in octaafbanden (zonder weging verkeersspectrum) en tertsbanden.

Single diffractor															
Frequency	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
$A_{\text{diffr}}(1/1 \text{ oct})$		-0,3			-0,8			0			4,5			1,6	
$A_{\text{diffr}}(1/3 \text{ oct})$	0,1	-0,6	-0,4	-0,8	-0,9	-0,7	-0,7	-0,2	1,1	4,5	4,8	4,2	2,2	1,9	0,8
Double diffractor															
Frequency	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
$A_{\text{diffr}}(1/1 \text{ oct})$		0			-1,8			0,4			5,8			1,3	
$A_{\text{diffr}}(1/3 \text{ oct})$	0,8	0	-0,8	-1,7	-2,1	-1,7	-1,6	0	5,7	7,4	6,4	4,3	2	1,7	0,4

Voor beide figuren is in dit stadium nog toegepast dat bij producteigenschappen tussen de -1 dB and 1 dB voor alle bronafstanden het diffractor-effect op 0 dB wordt gesteld; dit zal vervallen bij het opstellen van de rekenregel. De afname wordt begrensd op 0 dB als de bronafstand zodanig groot is dat de lijn door de 0 dB zou gaan.



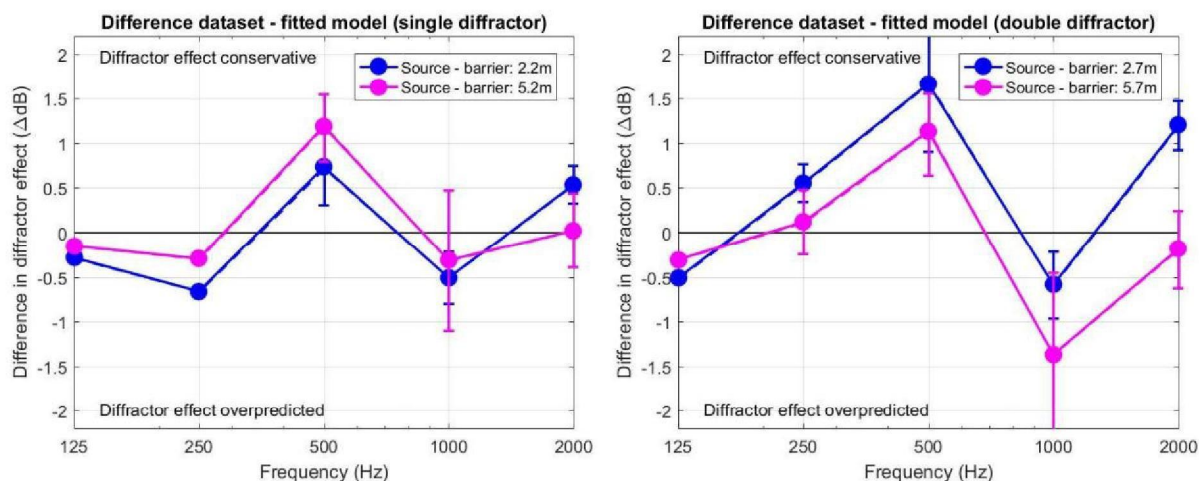
Figuur 3. Diffractor-effect (dubbel) als functie van de bronafstand tot het midden van de diffractor, op basis van een lineaire fit door dataset resultaten (kleur) en als benadering vanuit de producteigenschappen (zwart).

Voor negatieve producteigenschappen kleiner dan -1 dB (zoals -1,8 dB) wordt een positieve helling van 0,3 dB/m toegepast. Deze keuze is gebaseerd op de resultaten in tertsbanden voor de dubbele diffractor. Die resultaten zijn in Bijlage 2 opgenomen. Voor de enkele diffractor zijn er geen producteigenschappen kleiner dan -1 dB.

De zwart gestreepte lijnen in Figuur 2 en Figuur 3 kunnen worden gebruikt als benadering in SRM2 voor het diffractor-effect, als functie van de bronafstand tot een denkbeeldig scherm halverwege de breedte van de diffractor.

Het verschil tussen de benadering met een vaste -0,7 dB/m afname van het diffractor-effect en de rekenresultaten uit de dataset is weergegeven in Figuur 4. Een positief verschil betekent dat het diffractor-effect met de benadering wordt onderschat (conservatief), een negatief verschil duidt op een te groot effect door toepassing van de benadering ("overpredicting"). In octaafbanden varieert het verschil tussen +1,5 dB en -1,5 dB, met meer nadruk op de positieve verschillen zodat het totale effect in dB(A) conservatief zal zijn. Het verschil in tertsbanden is opgenomen in Bijlage B en varieert ruwweg tussen +2 en -2 dB.

Figuur 4 geeft ook minimale en maximale afwijking weer die kan optreden met de resultaten van de dataset, afhankelijk van de locatie van de ontvanger. Op deze manier wordt een indruk gekregen van de spreiding van de rekenresultaten in relatie tot de gemiddelde afwijking met de modelbenadering met een vaste helling.



Figuur 4. Het gemiddelde verschil in het diffractor-effect tussen de dataset en het lineaire model, voor de enkele (links) en dubbele diffractor (rechts). Op twee afstanden tot de bron. De errorbars geven het minimale en maximale verschil weer met de dataset resultaten.

Overwegingen

- 1) De implementatie van het diffractor-effect met een vaste helling kan in SRM2 ook in tertsbanden ("onderhuids"; het eindresultaat blijft in octaafbanden). Indien er in tertsen wordt gerekend dan kunnen vervolgens de resultaten in 3 tertsbanden (A_1 , A_2 en A_3) worden berekend naar 1 octaafband (A) volgens:

$$A = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{3} \sum 10^{\frac{-A_i}{10}} \right)$$

Het voordeel van het werken in tertsbanden is dat het frequentie-specifieke karakter van een diffractor wordt behouden, waarbij ook de product-eigenschappen in tertsbanden worden gebruikt (en behouden). In de resultaten voor Figuur 2 en Figuur 3 is hiervan gebruik gemaakt. De product-eigenschappen in tertsbanden kleiner dan 1 dB zijn hierbij op 0 dB gesteld. Daardoor kunnen de producteigenschappen in octaafbanden enigszins hiervan afwijken.

- 2) De afname van het diffractor-effect met een toenemende bronafstand is bepaald op basis van de rekenresultaten voor zowel de enkele als dubbele diffractor. Een alternatieve aanpak is om eerst de resultaten van de enkele diffractor te gebruiken en de afname te bepalen, en deze vervolgens te toetsten met de afname die de dubbele diffractor laat zien. Daaruit zal blijken dat deze afname wat sterker is.

2.4 Parameterstudie in SRM2 voor de lijn van de schaduwwerking

Het diffractor-effect is van toepassing beneden de lijn van de schaduwwerking. Deze lijn wordt bepaald aan de hand van de akoestische omweg van een substitutiescherm en een drempelwaarde voor het fresnelgetal.

Een geschikt substitutiescherm kan worden gevonden door de schermhoogte h te variëren tussen 0 en 1,0 meter hoogte, in stappen van 0,1 meter. De positie van het scherm is halverwege de diffractor.

Met deze 11 variaties is de akoestische omweg (het fresnelgetal) berekend in SRM2. Hiervoor zijn de volgende gegevens gebruikt:

- Bronhoogte van 0,1 meter (i.p.v. standaard bronhoogte van 0,75 meter),
- Bronafstanden van 1,7 en 4,7 meter tot de rand van de diffractor,
- Afscherming op basis van 2 bronpunten onder een hoek van 0 en 45 graden,
- Voor vijf afstanden: 100, 200, 300, 400 en 500 meter,
- Op zes hoogtes: 10, 20, 30, 40, 50 en 60 meter,
- Voor de octaafbanden 125, 250, 500, 1000 en 2000 Hz.

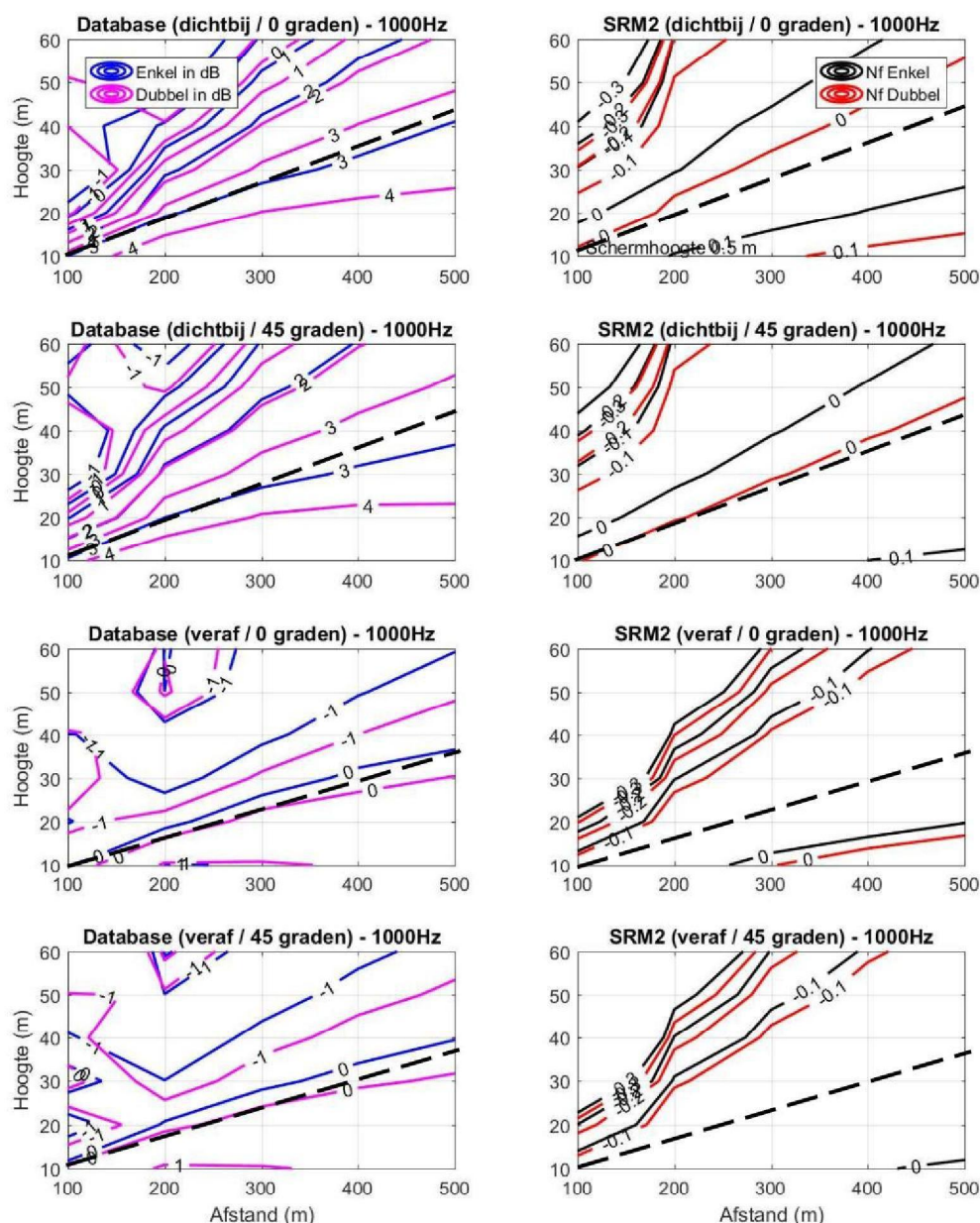
Door de schaduwwerking te vergelijken met rekenresultaten kan een geschikte hoogte voor het scherm worden gekozen, alsmede een drempelwaarde voor het fresnelgetal waaronder er geen diffractor-effect optreedt.

Figuur 5 geeft een voorbeeld van de vergelijking tussen het berekende diffractor-effect in dB (links) en de fresnelgetallen bepaald met SRM2 voor een schermhoogte van 0,5 meter (rechts). Dit is voor de 1000 Hz octaafband.

De resultaten in Figuur 5 zijn uitgesplitst naar een puntbron op de rijbaan dichtbij en veraf, en onder een hoek van 0 en 45 graden.

De schaduwwerking voor de diffractor begint bij 0 dB. In de linker figuren is met een gebroken zwarte lijn de schaduwlijn aangegeven die begint bij 1 dB onder het maximale diffractor-effect, of bij 0 dB als dit kleiner is dan 1 dB.

Vervolgens kan in de rechter figuren een vergelijkbare schaduwlijn worden gevonden met een bijbehorende fresnelwaarde. In dit voorbeeld is voor de rijbaan dichtbij de drempelwaarde ongeveer 0,0, terwijl voor de rijbaan veraf de drempelwaarde meer richting de -0,1 gaat. Voor lagere waarden dan dit fresnelgetal zal er geen diffractor-effect zijn.



Figuur 5. Links: berekend diffractor-effect in dB, voor twee bronafstanden en twee hoeken. Rechts: bijbehorende fresnelgetallen berekend met SRM2 voor een schermhoogte van 0,5 meter en een bronhoogte van 0,1 meter.

De gevonden drempelwaarden van het fresnelgetal zijn voor drie schermhoogten van 0, 0,5 en 1,0 meter samengevat in Tabel 2. De diffractor is met name actief in de octaafbanden van 1000 en 2000 Hz. Daarnaast is er een negatief effect in de band van 250 Hz. Vandaar dat deze drie kolommen in grijs zijn weergegeven.

De tabel laat zien dat voor een 0 meter hoog scherm een drempelwaarde van -0,1 kan worden gekozen, waarbij de schaduwwerking voor 1000 en 2000 Hz voor de rijbaan dichtbij conservatiever wordt dan de berekeningen aangeven. Voor een 1,0 meter hoog scherm worden hogere fresnelgetallen gevonden, maar de consistentie voor de octaafbanden is hier wat minder.

Tabel 2. Drempelwaarden voor het fresnelgetal. Uitgesplitst in octaafbanden, drie schermhoogten en twee bronafstanden. Voor fresnelgetallen lager dan in de tabel is er geen diffractor-effect.

Rijbaan	Schermhoogte (m)	Drempelwaarde voor het fresnelgetal					
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Dichtbij	0	nvt	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,15
Veraf		nvt	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
Dichtbij	0,5	nvt	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,1
Veraf		nvt	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0
Dichtbij	1	nvt	0,0	0,0	0,2	0,3	>0,3
Veraf		nvt	-0,1	0,0	0,0	0,1	>0,3

In Bijlage C zijn de twee aanvullende figuren opgenomen die zijn gebruikt om de waarden in de tabel te bepalen voor de 1000 Hz band.

Op basis van bovenstaande gegevens wordt de drempelwaarde voor het fresnelgetal op -0,1 gesteld, voor een schermhoogte van 0 meter en een bronhoogte van 0,1 meter. Voor grotere waarden dan deze drempelwaarde wordt het diffractor-effect toegepast, voor kleinere waarden is het diffractor-effect 0 dB.

Berekeningen met standaard bronhoogte van 0,75 meter

Eenzelfde tabel als Tabel 2 is gemaakt, maar dan met de SRM2 standaard bronhoogte van 0,75 meter in plaats van 0,1 meter, zie Tabel 3. Hierdoor veranderen de drempelwaarden voor het fresnelgetal. Voor de schermen van 0 en 0,5 meter treden onrealistische drempelwaarden op die kleiner zijn dan -0,3. Voor het 1 meter hoge scherm varieert de drempelwaarde tussen 0 en -0,2, waarbij er een verschil optreedt tussen rijbaan dichtbij en veraf. Daarnaast is de variatie groter dan de keuze voor een 0 meter hoog scherm en een 0,1 meter hoge bron.

In Bijlage C zijn de drie aanvullende figuren opgenomen die zijn gebruikt om de waarden in de tabel te bepalen voor de 1000 Hz band.

Tabel 3. Drempelwaarden voor het fresnelgetal met een bronhoogte van 0,75m. Uitgesplitst in octaafbanden, drie schermhoogten en twee bronafstanden. Voor fresnelgetallen lager dan in de tabel is er geen diffractor-effect.

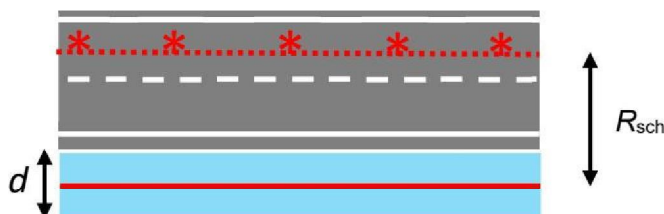
Rijbaan	Schermhoogte (m)	Drempelwaarde voor het fresnelgetal					
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Dichtbij	0	nvt	-0,1	-0,2	-0,5	<-0,5	<-0,5
Veraf		nvt	-0,1	-0,2	-0,5	<-0,5	<-0,5
Dichtbij	0,5	nvt	-0,2	-0,05	-0,2	-0,5	-0,4
Veraf		nvt	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,5
Dichtbij	1	nvt	0,0	0,0	0,0	-0,05	0,0
Veraf		nvt	-0,1	-0,1	-0,1	-0,05	-0,2

2.5 Mogelijke implementatie in SRM2

Bij het de implementatie van een diffractor langs de weggkant kunnen de volgende drie stappen worden onderscheiden:

- 1) De diffractor wordt gemodelleerd als een scherm, waarbij de ligging van het scherm halverwege de dwarsdoorsnede van de diffractor is.
- 2) De producteigenschappen van de diffractor worden meegegeven in octaafbanden en tertsbanden.
- 3) Het diffractor-effect in octaven wordt bepaald via een aanpassing van de schermwerking, waarbij a) de afstand van de bron tot het scherm van belang is, b) de producteigenschappen en de lineaire relaties met een vaste helling worden meegenomen, en c) een toets op basis van de gekozen drempelwaarde van het fresnelgetal of er wel of niet een diffractor-effect van toepassing is.

In Figuur 6 is de geometrie van een diffractor langs de weg schematisch weergegeven, waarbij het scherm in rood is aangegeven halverwege de diffractor met breedte d . Ook is een lijnbron en de afstand tot het substitutiescherm aangegeven. Deze wordt standaard bepaald met de routine voor de schermwerking.



Figuur 6. Schematische weergaven van een diffractor langs de weggkant (blauw, breedte d), de positie van een substitutiescherm (rood) en de afstand R_{sch} tot een lijnbron, onderverdeeld in puntbronnen.

De uitwerking van de lineaire relaties met één vaste helling voor alle octaafbanden is als volgt:

- A_{diff1} en A_{diff3} zijn de producteigenschappen in octaaf- en tertsbanden, bepaald op 1,7 meter vanaf de rand van de diffractor ¹,
- $R_{sch} = R - R_w$ is de horizontale afstand tussen de bron en het substitutiescherm, dat geplaatst is halverwege de diffractor met breedte d , met R de horizontale afstand tussen bron en ontvanger en R_w de afstand tussen scherm en ontvanger.
- C_{diff} is het diffractor-effect berekend op de positie van de ontvanger. Hierbij is uitgegaan van de producteigenschappen in octaafbanden $A_{diff} = A_{diff1}$. ²

¹ In de Diffractor Expertgroep bijeenkomst van 6 maart 2019 is aangegeven dat de omrekening voor de producteigenschappen van tertsbanden naar octaafbanden met een ISO spectrum voor wegverkeer zal worden uitgevoerd. Als voorbeeld wordt het resultaat in de 500 Hz band vergeleken voor de dubbele diffractor. Zonder weging $A_{diff} = 0,43$ dB. Met weging geeft $A_{diff} = 0,89$ dB (ISO spectrum: -13 dB 400 Hz, -12 dB 500 Hz, -11 dB 630 Hz)

² In de Diffractor Expertgroep bijeenkomst van 6 maart 2019 is aangegeven om de randvoorwaarde te laten vervallen dat er geen diffractor effect wordt berekend met producteigenschappen $|A_{diff}| < 1$ dB. Hiermee wordt de rekenregel continue bij kleine diffractor effecten.

$$C_{\text{diff}} = \max\left\{0, -0,7R_{\text{sch}} + A_{\text{diff}} + 0,7\left(1,7 + \frac{d}{2}\right)\right\} \text{ met } C_{\text{diff}} \leq A_{\text{diff}}^3$$

$$C_{\text{diff}} = \min\left\{0, +0,3R_{\text{sch}} + A_{\text{diff}} - 0,3\left(1,7 + \frac{d}{2}\right)\right\} \text{ met } C_{\text{diff}} \geq A_{\text{diff}}$$

$$C_{\text{diff}} = 0 \quad \text{voor } N_f < -0,1$$

$$C_{\text{diff}} = 0 \text{ voor frequenties 63, 4000 en 8000 Hz}$$

Voor de bepaling van het fresnelgetal N_f , zoals in de bestaande routine voor de schermwerking ΔL_{SWN} , wordt aangenomen:

- $z_B = 0,1$ meter, de hoogte van de bron t.o.v. het referentiepeil,
- $z_T = 0$ meter, de hoogte van het substitutiescherm,
- z_L en z_K , worden bepaald zoals gebruikelijk (z_K via de effectieve schermhoogte t.g.v. straalkromming),
- ε , de akoestische omweg, wordt verder bepaald zoals gebruikelijk,
- N_f , het fresnelgetal, wordt verder bepaald zoals gebruikelijk.

Zie ook onderstaande overweging.

Overweging 1

Naar aanleiding van berekeningen in Geomilieu zijn er twee punten van discussie naar voren gekomen, na de Diffractor Expertgroep bijeenkomst van 6 maart 2019.

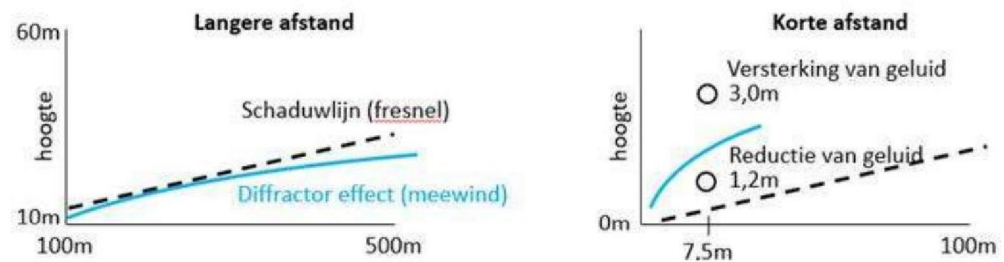
1. De lijn van de schaduwwerking is binair, zodat het diffractor effect wel of niet van toepassing is in de rekenregel. Is het mogelijk een overgang in te bouwen waarbij het effect wordt verminderd tussen $N_f = -0,1$ en $-0,3$.
2. Op korte afstand, bijvoorbeeld op 7,5 meter afstand van de bron, is het N_f criterium zodanig streng dat alleen op geringe hoogte, tot tientallen centimeters, er een diffractor effect is. Is het mogelijk om de lijn van de schaduwwerking te verhogen, met bijvoorbeeld 1,0 of 0,75 meter, door uit te gaan van een hogere bron en een bijbehorende virtueel hoger gelegen diffractor.

T.a.v. punt 1 zijn de figuren beschouwd met schaduwlijnen voor de verschillende octaafbanden (zie bijlage C). Hieruit blijkt dat een overgang tussen $-0,1$ en $-0,2$ realistisch is. Dit kan een lineaire overgang zijn waarbij C_{diff} afneemt naar 0 dB:

- a) voor $N_f \geq -0,1$ wordt C_{diff} bepaald volgens de rekenregel,
- b) als $N_f \leq -0,2$ wordt C_{diff} gelijk gesteld aan 0 dB,
- c) voor N_f tussen $-0,1$ en $-0,2$ is er een lineaire afname van C_{diff} . Bijvoorbeeld, bij $N_f = -0,17$ volgt $0,3 \cdot C_{\text{diff}}$.

Een toelichting op punt 2 wordt hieronder gegeven. Het linker deel van Figuur 7 geeft schematisch de lijn van de schaduwwerking weer, bepaald op basis van rekenresultaten tussen 100 en 500 meter afstand. De rekenresultaten zijn bepaald voor meewind, waarbij het diffractor effect enigszins afvlakt met de afstand. In het rechter deel is deze lijn doorgetrokken voor kortere afstanden, waaruit ook de strenge eis voor het fresnelgetal blijkt: metingen laten op 1,2 meter hoogte een duidelijk effect zien, maar de rekenregel geeft aan dat er op die hoogte geen effect is. Dit figuur geeft ook aan dat er een versterking van geluid is op grotere hoogte (gemeten en berekend). Dit effect is niet in de rekenregel opgenomen.

³ In de Diffractor Expertgroep bijeenkomst van 6 maart 2019 is aangegeven om het effect te maximeren op de gemeten producteigenschappen A_{diff} . Om te voorkomen dat door modelfouten in de geometrie er niet-realistische korte afstanden voor R_{sch} optreden en een bijbehorend te groot diffractor-effect.

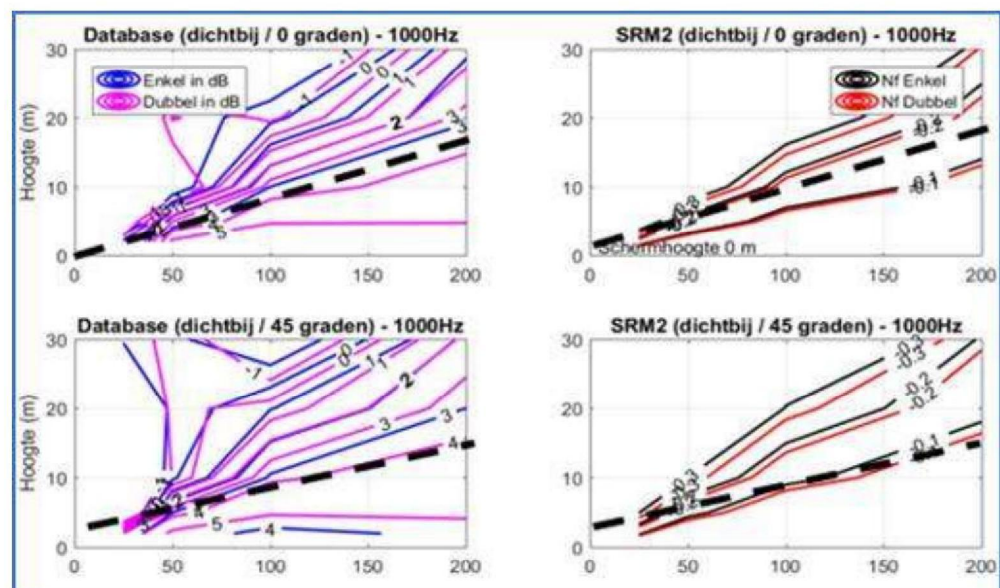


Figuur 7. Schematische weergave van de toepassing van een schaduwlijn voor het bepalen van het diffractor effect. Links: op basis van rekenresultaten tussen 100 en 500 meter afstand. Rechts: op kortere afstand tot 100 meter.

In Figuur 8 is de lijn van de schaduwwerking weergegeven voor rekenresultaten tussen 25 en 200 meter afstand. Het linker deel voor het diffractor effect in dB, het rechter deel voor de berekende fresnelgetallen met een 0 meter hoog vervangend scherm. De zwart gestreepte lijn geeft de lijn van de schaduwwerking weer (indicatief).

Door deze lijn van de schaduwwerking met bijvoorbeeld 1 meter te verhogen wordt bereikt dat er op korte afstand al een diffractor effect wordt toegekend vanaf 1 meter hoogte. Op grotere afstand, vanaf 100 meter, is deze toename relatief gering zodat de eerder vastgesteld lijn van de schaduwwerking ongewijzigd kan blijven.

In de rekenregel kan dan uitgegaan worden van een virtuele bronhoogte van 1 meter, i.p.v. de huidige 0,1 meter, met een bijbehorende virtuele schermhoogte die 10 cm lager is. Op deze wijze verandert de bepaling van het fresnelgetal niet. Deze virtuele hoogten zijn alleen van belang voor de lijn van de schaduwwerking, niet voor de bepaling van het diffractor effect in dB.



Figuur 8. Links: berekend diffractor-effect in dB voor twee hoeken. Rechts: bijbehorende fresnelgetallen berekend met SRM2 voor een schermhoogte van 0 meter en een bronhoogte van 0,1 meter.

Het verdient aanbeveling deze mogelijke aanpassingen van de rekenregel te toetsen in Geomilieu met een aantal (realistische) rekenvoorbeelden.

Overweging 2

SRM2 werkt met octaafbanden, terwijl de werking van de diffractor grote verschillen tussen opeenvolgende derde-octaafbanden laat zien. In deze notitie worden octaafbandresultaten gebruikt, maar het is ook mogelijk om in de SRM2-routine gebruik te maken van derde-octaafband resultaten die voor het eindresultaat worden gesommeerd tot octaafbandresultaten.

Mogelijke aanpak voor diffractor op een scherm

De bovenstaande beschrijving is gebaseerd op een diffractor langs de weggang en op gelijke hoogte met de weg.

Indien de diffractor op een scherm is geplaatst, dan zouden de producteigenschappen kunnen worden bepaald door metingen met een referentiescherm. Het verschil tussen de metingen met en zonder de diffractor bepaalt de producteigenschappen. Hierbij wordt de luidspreker op gelijke hoogte gebracht als het scherm, om in navolging van ISO 1793-4 voor geluidsdiffractie, de intrinsieke karakteristieken van de diffractor te bepalen.

Vervolgens kan voor een aantal representatieve situaties met schermhoogten en bronafstanden worden berekend wat het diffractor-effect op grotere afstand is. Op basis van deze rekenresultaten kan een relatie worden bepaald voor SRM2 die de producteigenschappen gebruikt, de afstand tot de bron en de schermhoogte.

3 Deel 2: rekenresultaten voor een zachte bodem

3.1 Overzicht parameterstudie

In deel 1 zijn berekeningsresultaten gebruikt met een SMA wegdek en een akoestisch harde bodem vanaf de diffractor. Voor de referentie, zonder diffractor, is eveneens uitgegaan van een harde bodem.

De berekeningen zijn uitgevoerd per rijstrook (rijstrook dichtbij en veraf) en door uit te gaan van 7 puntbronnen verdeeld onder hoeken van 20 graden. Voor een beschrijving van de numerieke methode zie rapport TNO 2018 R10198.

In Figuur 9 is een overzicht gegeven van de berekeningen waarvoor in meer of mindere mate er een akoestisch zacht oppervlak aanwezig is. De nieuw berekende configuraties 3 t/m 11 worden kort toegelicht. Voor de vergelijking van de configuraties is in de rechter kolommen de reductie in dB(A) op 4 verschillende afstanden opgenomen voor de enkele en de dubbele diffractor. Dit is het verschil tussen het geluid in de geschetste situatie met diffractor en de referentie-situatie waarin de diffractor uit de schets wordt weggelaten. In de situatie met diffractor maakt het niet uit of er een zwart (harde bodem) of groen oppervlak (gras) boven de diffractor aanwezig is. Dit is alleen van belang voor de referentie.

	Configuratie	Schets	Rijstrook	enkele diffractor				dubbele diffractor			
				100m	200m	300m	500m	100m	200m	300m	500m
1	SMA + harde bodem		dichtbij	1,8	2,1	1,9	2,1	2,7	3,0	2,8	3,0
			veraf	0,5	0,8	0,7	0,7	0,8	1,2	1,2	1,1
2	ZOAB + harde bodem		dichtbij	1,0	1,2	0,9	1,1	1,6	1,9	1,6	1,8
			veraf	0,7	0,7	0,6	0,6	0,9	1,0	1,1	0,8
3	SMA+ volledig gras (200e3)		dichtbij					0,5	0,6	0,5	0,3
			veraf					-0,2	-0,1	-0,1	-0,3
4	10m gras (200e3) – rest hard (1000e3)		dichtbij					0,1	0,3	0,1	-0,1
			veraf					-0,3	-0,2	-0,1	0,0
5	2m gras (200e3) – rest hard (1000e3)		dichtbij					1,0	1,2	0,4	-0,1
			veraf					0,1	0,3	0,1	-0,1
6	2m gras (100e3) – rest hard (1000e3)		dichtbij					0,2	0,5	0,1	-0,1
			veraf					-0,3	-0,1	-0,1	-0,1
7	2m hard (1000e3) – rest gras (200e3)		dichtbij					1,1	1,3	1,3	1,2
			veraf					0,1	0,3	0,3	0,2
8	4m hard (1000e3) – rest gras (200e3)		dichtbij					1,6	1,5	1,5	1,4
			veraf					0,5	0,5	0,5	0,5
9	6m hard (1000e3) – rest gras (200e3)		dichtbij					2,3	2,3	2,2	2,0
			veraf					0,9	0,8	0,8	0,7
10	8m hard (1000e3) – rest gras (200e3)		dichtbij					2,5	2,5	2,4	2,3
			veraf					1,0	1,0	1,0	0,8
11	10m hard (1000e3) – rest gras (200e3)		dichtbij					2,7	2,7	2,6	2,4
			veraf					0,7	1,1	1,1	0,9

Figuur 9. Overzicht van berekende situaties met in meer of mindere mate de aanwezigheid van een akoestisch zachte bodem. In de rechter kolommen de reductie in dB(A) ten gevolge van de diffractor. Het verschil tussen de situaties 5 en 6 is de akoestische impedantie van het groene oppervlak (gras) in de referentie-situatie. In situatie 6 is het gras sterker absorberend.

Voor configuratie 3 is voor de referentie-situatie uitgegaan van een volledige grasbodem naast de weg. Vervolgens is de dubbele diffractor geplaatst in een twee meter brede grasstrook naast de weg. Via deze aanpak wordt gras vervangen door een diffractor. Dit is ook van toepassing voor de configuraties 4, 5 en 6. Het resultaat in dB(A) geeft aan dat de diffractor hierdoor een beperkt effect heeft.

Voor configuratie 7 ligt de grasbodem aansluitend op de diffractor. In de bijbehorende referentie-situatie is er een twee meter breed hard oppervlak naast de rijstrook. De configuraties 8 t/m 11 geven een steeds breder hard oppervlak, oplopend tot tien meter breed. De resultaten in dB(A) geven aan dat de reductie oploopt bij een toenemend hard oppervlak vanaf de diffractor.

Het is interessant om de twee configuraties 3 en 7 (gras na diffractor) en ook de twee configuraties 1 en 5 (harde bodem na diffractor) met elkaar te vergelijken. In beide gevallen is de 'eindsituatie' met diffractor gelijk, maar de referentie anders; er lag wel of niet al gras. Door het verschil in de referentie-situatie is het diffractor-effect in situatie 7 (er lag geen gras) 0,6 tot 0,9 dB(A) groter dan in situatie 3 (er lag al gras). In situatie 1 (er lag geen gras) is dit 1,7 tot 3 dB(A) groter dan in situatie 5 (er lag al gras, alleen op de plek van de diffractor).

Het is in SRM2 niet mogelijk om bij het bereken van een diffractor-effect rekening te houden met de situatie voordat de diffractor werd geplaatst. Een berekening in SRM2 zal een gering verschil geven tussen de twee referentie-situaties (verschil van een 1 of 2 meter brede strook gras). Hierdoor is het diffractor-effect in SRM2 voor beide situaties nagenoeg vergelijkbaar is, ongeacht de gekozen implementatie van een rekenregel voor de diffractor in SRM2.

3.2 Rekenresultaten

Om het effect van een akoestisch zachte bodem op te nemen in een SRM2 rekenregel wordt uitgegaan van octaafbanden. Voor de volledigheid zijn resultaten op 100 en 500 meter afstand zijn opgenomen in onderstaand figuur.

Het gemiddelde van de resultaten op 100, 200, 300 en 500 meter afstand wordt in Hoofdstuk 4 gebruikt om het effect van een zachte bodem in de rekenregel te verdisconteren.

		Dubbele diffractor											
		100m						500m					
	Schets	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz
1		-0,2	-0,5	-1,1	2,7	4,5	1,7	-0,2	-0,5	-1,1	3,4	4,8	2,1
		-0,1	-0,4	-0,4	1,8	3,0	-0,9	-0,1	-0,4	-0,4	2,2	3,4	-0,9
2		-0,2	-0,5	-1,1	2,6	2,9	1,8	-0,2	-0,6	-1,1	3,2	3,2	2,1
		-0,1	-0,4	-0,3	2,4	0,0	-0,5	-0,1	-0,4	-0,3	2,6	0,1	-0,4
3		-0,1	-0,4	-0,9	2,3	0,8	-1,4	-0,1	-0,4	-0,9	2,1	0,6	-1,4
		-0,1	-0,3	-0,3	0,5	-0,2	-0,7	-0,1	-0,2	0,0	0,2	-0,3	-0,7
4		-0,1	-0,4	-1,1	1,9	0,5	-1,4	-0,1	-0,4	-1,0	2,2	0,5	-1,4
		-0,1	-0,3	-0,5	0,7	-0,4	-0,7	0,0	-0,2	-0,2	0,6	-0,4	-0,7
5		-0,2	-0,5	-1,1	2,2	1,9	-1,9	-0,1	-0,4	-1,1	2,5	1,8	-1,9
		-0,1	-0,3	-0,5	1,5	-0,1	-1,0	-0,1	-0,3	-0,3	1,4	-0,1	-1,0
6		-0,1	-0,3	-0,9	1,5	0,5	-1,6	-0,1	-0,3	-0,9	1,8	0,5	-1,7
		-0,1	-0,2	-0,4	0,9	-0,5	-0,8	-0,1	-0,2	-0,2	0,8	-0,5	-0,8
7		0,0	0,2	1,0	2,0	1,7	0,3	0,0	0,1	1,3	1,8	1,8	-0,1
		0,0	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4	0,0	0,2	-0,4	-0,3	0,6	-0,4
8		0,1	0,1	2,2	0,4	2,7	0,5	0,1	-0,1	3,1	0,0	2,7	0,5
		0,1	0,2	1,6	0,4	1,1	0,2	0,1	0,1	2,1	0,8	1,2	-0,2
9		0,1	0,1	1,5	1,9	3,6	0,0	-0,1	-0,1	2,0	1,7	3,4	0,0
		0,0	0,1	0,9	0,7	1,4	0,8	0,0	0,0	1,0	0,4	1,3	0,8
10		0,1	0,1	1,5	2,2	3,8	0,2	-0,1	-0,2	1,9	2,0	3,6	-0,2
		0,0	0,0	0,8	1,0	1,5	0,9	0,0	0,0	0,9	0,7	1,3	1,0
11		0,1	0,2	1,4	2,5	4,0	0,3	-0,1	-0,3	1,7	2,3	3,8	-0,4
		0,0	0,0	0,3	1,0	0,8	0,9	0,0	0,0	-0,3	1,0	1,4	-1,1

Figuur 10. Overzicht van berekende situaties met in meer of mindere mate de aanwezigheid van een akoestisch zachte bodem. In de rechter kolommen de reductie in per octaafband ten gevolge van de diffractor.

4 Deel 3: effect zachte bodem in rekenregel

4.1 Beschrijving aanpak

In deel 1 is de rekenregel voor de schermwerking in SRM2 beschreven voor een harde bodem. Deze gaat uit van een lineaire relatie met één vaste helling voor alle octaafbanden. In deel 2 is berekend dat een akoestisch zachte bodem in de nabijheid van de diffractor het diffractor-effect vermindert. De mate van vermindering kan als volgt in rekening worden gebracht:

$$C_{\text{diff}} = C_{\text{diff,hard}}(1 - b B) \quad \text{in dB}$$

waarin:

C_{diff} het diffractor-effect, inclusief het effect van een zachte bodem,
 $C_{\text{diff,hard}}$ het diffractor-effect, zoals berekend voor een harde bodem (deel 1),
 B de gemiddelde bodemhardheid in de nabijheid van de diffractor, zowel aan de bron- als aan de waarneemzijde van de diffractor; $B=0$ is hard,
 b een schalingsfactor.

Om een indruk te krijgen van deze aanpak zijn in Figuur 11 de resultaten van bovenstaande formule gepresenteerd voor de dubbele diffractor voor een aantal configuraties met een zachte bodem. Deze waarden zijn in dB(A) zodat er slechts één getal per configuratie volstaat. In het volgende hoofdstuk worden resultaten getoond per octaafband.

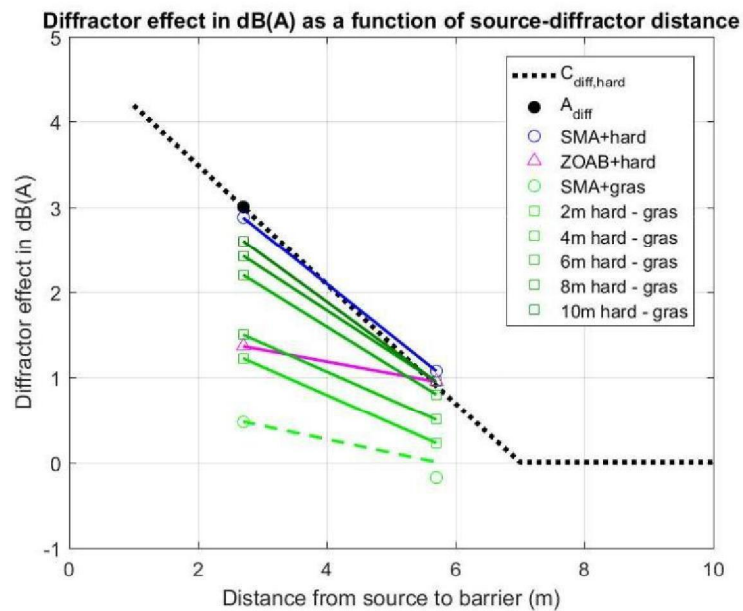
De zwarte lijn geeft de rekenregel voor een harde bodem weer: uitgaande van de producteigenschap A_{diff} , neemt het diffractor-effect af als de bron verder van de diffractor is verwijderd. De gekleurde lijnen geven de rekenresultaten voor 8 verschillende configuraties aan, gebaseerd op de rekenresultaten voor de rijstrook dichtbij en veraf.

Voor de configuratie SMA+harde bodem volgt de lijn de rekenregel.

De situatie met ZAOB+harde bodem geeft een verminderd effect, met name voor de rijstrook dichtbij. Het absorberende oppervlak ligt hierbij aan de bronzijde. In SRM2 wordt voor significant absorberende wegdekken zoals ZOAB een waarde van $B=0,5$ voor het bodemvlak aangenomen (voor SMA geldt $B=0$).

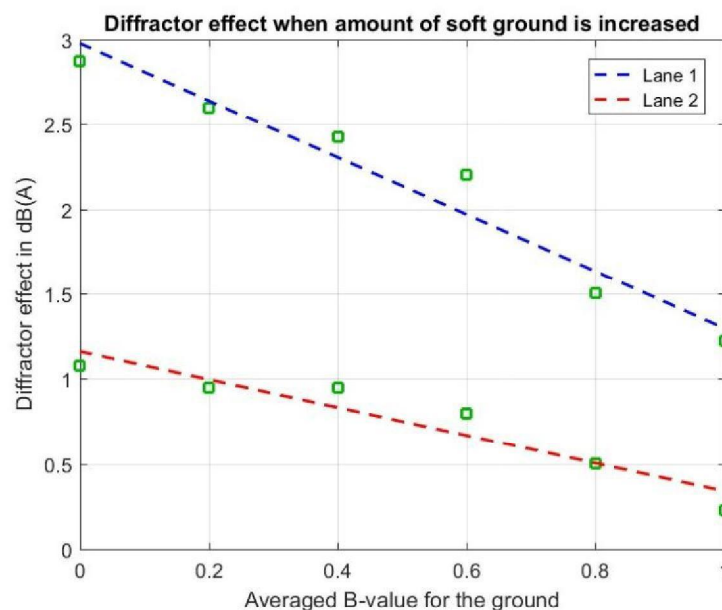
De resultaten met (in meer of mindere mate) aanwezigheid van een grasbodem in de nabijheid van de diffractor (aan de ontvangerzijde), geven een afname van het diffractor-effect met een toenemend oppervlak van zachte bodem. Het resultaat met een 10 meter harde berm en vervolgens een grasbodem, heeft in de situatie met diffractor een harde berm van 8 meter. Er wordt hier vanuit gegaan dat als de harde berm aan de waarneemzijde van de diffractor 10 meter is, de diffractor-resultaten vergelijkbaar zijn met een volledig harde bodem (blauwe lijn).

Als de gemiddelde bodemhardheid tot 10 meter afstand vanaf de diffractor wordt bepaald, dan volgen voor de configuraties met gras gemiddelde bodemhardheden van respectievelijk: 0,0 0,2 0,4 0,6 0,8 en 1 (voor toenemende hoeveelheid gras).



Figuur 11. Diffractor-effect als functie van de afstand tussen de bron en de diffractor (hier voor de dubbele diffractor op 2,7 meter afstand; halverwege de diffractor). In zwart de rekenregel voor een harde bodem. In kleur de rekenresultaten voor de rijstrook dichtbij en vanaf voor een aantal configuraties uit Figuur 9. In alle groene lijnen is het wegdek SMA.

In Figuur 12 is het diffractor-effect uitgezet als functie van de bodemhardheid, wat goed met een lineaire relatie kan worden weergegeven.



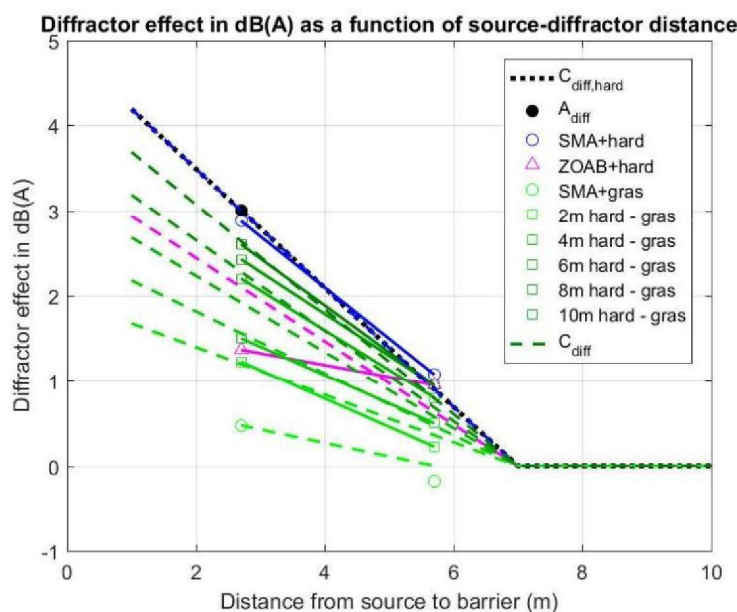
Figuur 12. Reductie van het diffractor-effect in dB(A) als functie van de gemiddelde bodemfactor B tot een afstand van 10 meter vanaf de diffractor.

Op basis van de resultaten voor ZOAB en een grasbodem wordt de rekenregel als volgt:

$$C_{\text{diff}} = C_{\text{diff,hard}}(1 - b \bar{B}_{\text{wegdek}} - b \bar{B}_{\text{bodem}}) \quad \text{diffractor naast wegdek}$$

Hierin is $\bar{B}_{\text{wegdek}}$ de gemiddelde bodemhardheid van het wegdek, tussen de bron en de diffractor. Met een maximum afstand van 10 meter. Hiermee reduceert het diffractor-effect voor een absorberend wegdek en reduceert het effect met de hoeveelheid zachte bodem binnen 10 meter afstand van de diffractor.

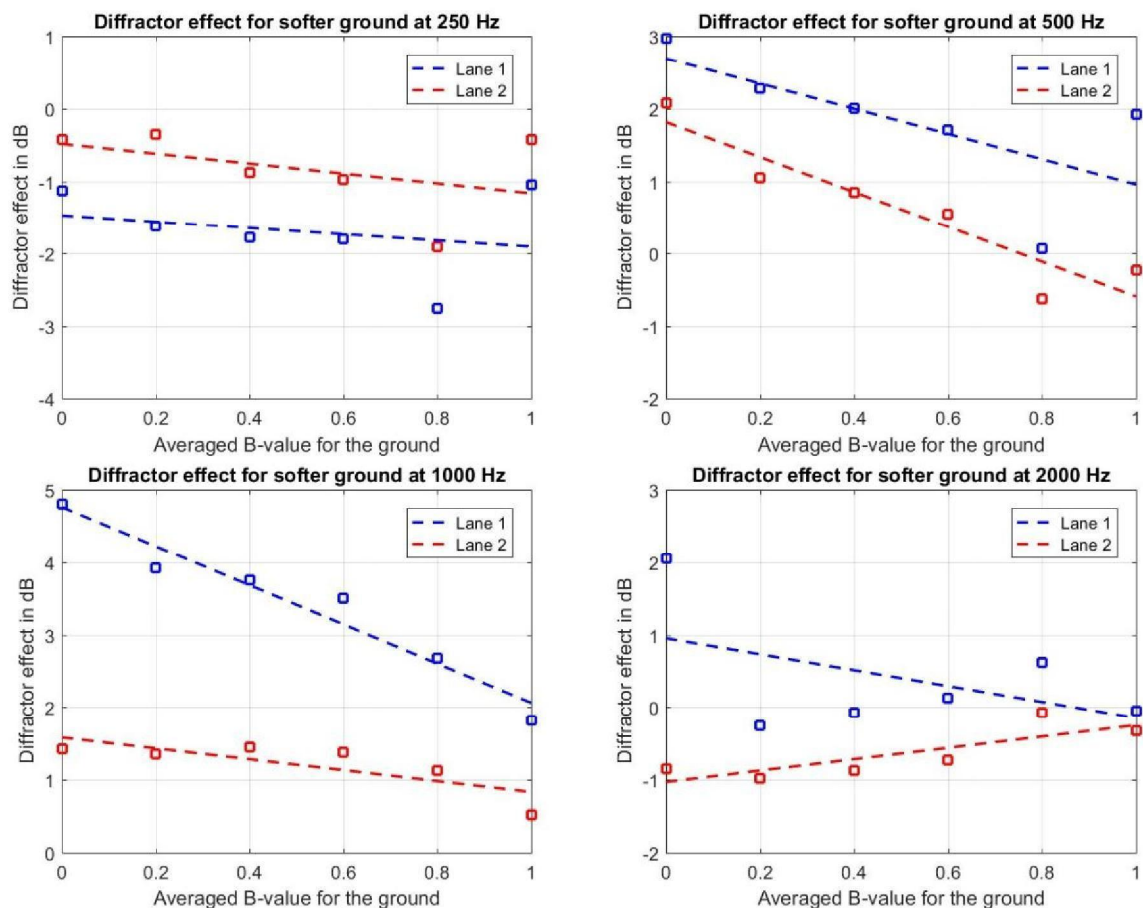
In Figuur 13 is het resultaat van deze rekenregel weergegeven in dB(A) door middel van de gestreepte lijnen (in aanvulling op Figuur 11). Hierbij is de factor $b = 0,6$ gekozen. Merk op dat de gezamenlijke waarde van $\bar{B}_{\text{wegdek}}$ en $\bar{B}_{\text{bodem}}$ niet groter dan 1 mag zijn.



Figuur 13. Als Figuur 11, met toegevoegd het resultaat van de rekenregel in dB(A) voor een zachte bodem: C_{diff} .

4.2 Resultaat voor de rekenregel per octaafband

Het diffractor-effect als functie van de gemiddelde bodemfactor B is weergegeven in Figuur 14, voor de octaafbanden 250, 500, 1000 en 2000 Hz. Deze resultaten zijn het gemiddelde over de afstanden 100, 200, 300 en 500m afstand. Net als voor Figuur 12 kan de data voor beide rijbanen worden benaderd met een lineaire relatie. Hierbij valt op dat de 2000 Hz resultaten voor de rijbaan dichtbij grilliger zijn dan bijvoorbeeld die van 500 en 1000 Hz.



Figuur 14. Reductie van het diffractor-effect als functie van de gemiddelde bodemfactor B tot een afstand van 10 meter vanaf de diffractor. Voor de octaafbanden 250, 500, 1000 en 2000 Hz.

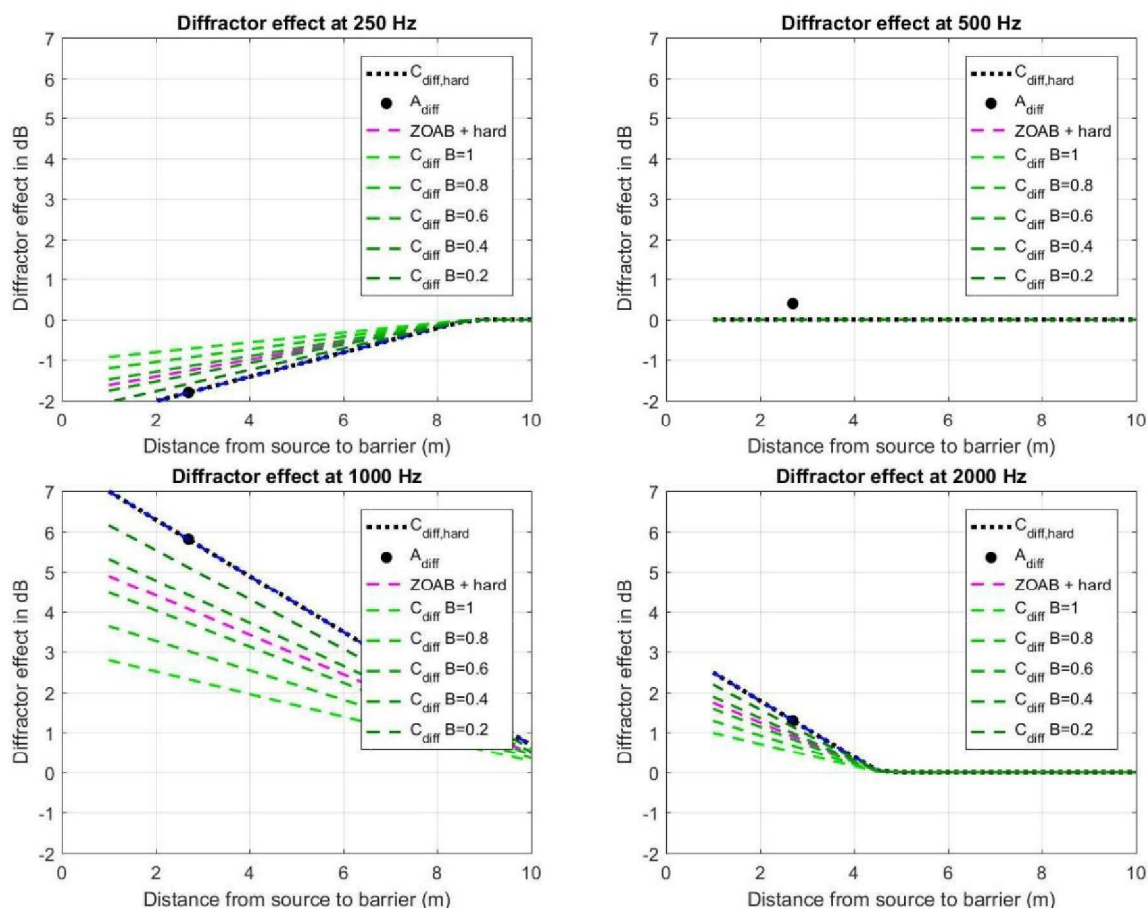
De rekenregel zoals beschreven voor een harde bodem gaat uit van de producteigenschappen A_{diff} in octaafbanden. Deze zijn weergegeven in onderstaande tabel voor de dubbele diffractor. Zie ook Tabel 1.

Tabel 4. Producteigenschappen in octaafbanden in dB voor de dubbele rij diffractoren gelegen langs de wegkant.

Freq. (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
A_{diff} (dB)	0	0,0	-1,8	0,4	5,8	1,3	0	0

Als de producteigenschap kleiner is dan 1 dB zijn, dan wordt het diffractor-effect niet meegenomen. Voor de dubbele diffractor is dit het geval voor de 500 Hz band. Deze lage waarde is het gevolg van de sommatie van drie tertsbanden, waarbij de tertsband van 400 Hz een versterking van 1.6 dB oplevert, terwijl er een positief diffractor-effect is van 6.7 dB in de 630 Hz band.

In Figuur 15 is het effect van de rekenregel voor een zachte bodem weergegeven voor de octaafbanden 250, 500, 1000 en 2000 Hz.

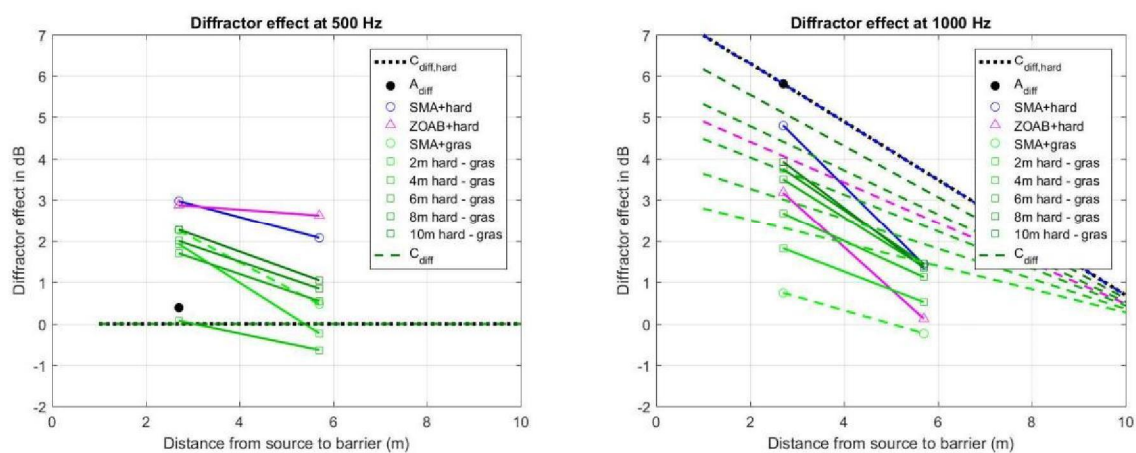


Figuur 15. Diffractor-effect als functie van de afstand tussen de bron en de diffractor (hier voor de dubbele diffractor op 2,7 meter afstand; halverwege de diffractor). In zwart de rekenregel voor een harde bodem. In groen de resultaten volgens de rekenregel met toenemende gemiddelde bodemhardheid naast de diffractor (met een SMA wegdek). In paars het resultaat voor een ZOAB wegdek en een harde bodem naast de diffractor.

In Hoofdstuk 2 is de rekenregel voor een harde bodem gepresenteerd. Hier zijn de afwijkingen tussen de rekenregel en de dataset resultaten getoond (zie Figuur 4). In de 500 Hz band is er een onderschatting (het diffractor-effect wordt onderschat met de rekenregel), terwijl er een overschatting is in de 1000 Hz band. Het eindresultaat in dB(A) zal enigszins conservatief zijn doordat er meer nadruk is gelegd op de onderschatting.

De dataset resultaten voor een zachte bodem worden vergeleken met de rekenregel in Figuur 16. Ook hier is in de 500 Hz band een onderschatting zichtbaar, terwijl in de 1000 Hz band er een overschatting is van het diffractor-effect. De trend van een afnemend effect bij een zachtere bodem is voor beide octaafbanden zichtbaar.

Gezien de goede overeenkomsten in dB(A) tussen de rekenresultaten en de dataset voor een zachte bodem, zie Figuur 13, wordt voor de octaafbanden van dezelfde rekenregel uitgegaan. De afwijking per octaafband kan oplopen tot 3 dB, maar een vergelijkbare variatie is ook zichtbaar in de rekenresultaten. Een mogelijke verfijning van de rekenregel per octaafband zal naar verwachting niet tot betere resultaten leiden.



Figuur 16. Vergelijking tussen dataset resultaten (zie markers) en de rekenregel voor een zachte bodem voor de 500 en 1000 Hz octaafband.

5 Ondertekening

Den Haag, <datum>

TNO

5.1.2e

5.1.2e

5.1.2e

Auteur

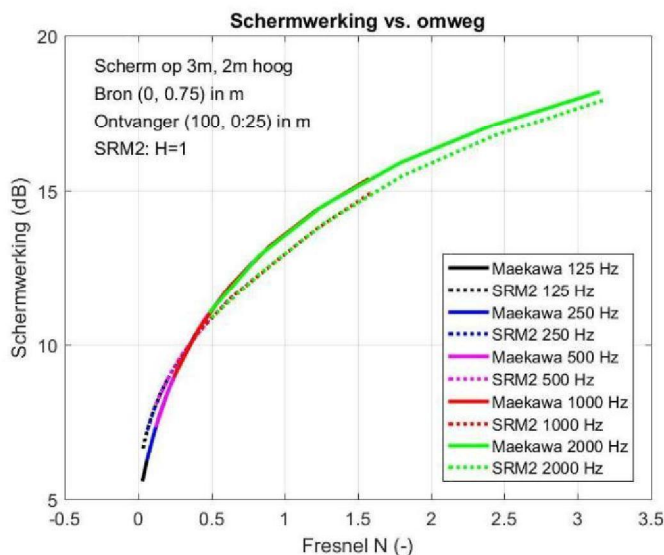
A Bevindingen aanpassing SRM2 schermwerking (op basis van fresnelgetal)

Samenvatting

Een aanpassing van de SRM2 schermwerking bij bepaalde fresnelgetallen, gegeven een substitutiescherm, levert voor een andere situatie (grotere bronafstand tot de diffractor) niet het hetzelfde gedrag van de diffractor terwijl er naar dezelfde fresnelgetallen wordt gekeken.

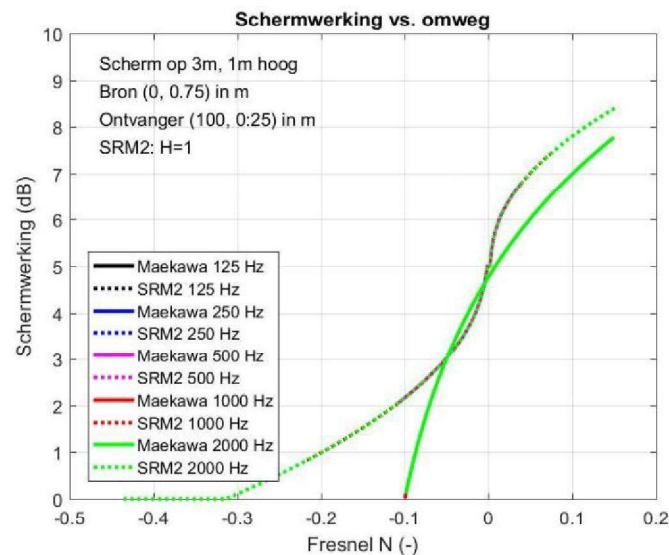
Toelichting

De schermwerking in dB van een 2 meter hoog scherm is weergegeven in Figuur 17 als functie van het fresnelgetal, zowel volgens Maekawa als volgens SRM2. Het fresnelgetal is hier de "akoestische omweg" ($2d/\lambda$, met d omweg in meters en λ de golflengte). Het scherm is op 3 meter afstand van de bron geplaatst. De bronhoogte is 0,75 meter. De ontvanger is op 100 meter afstand waarbij de hoogte varieert tussen 0 en 25 meter. Daarmee varieert het fresnelgetal tussen 0 en 3 en de bijbehorende schermwerking tussen 5 en 18 dB. In Figuur 17 zijn tevens in kleur de bijbehorende octaafbanden weergegeven.



Figuur 17. Schermwerking volgens Maekawa en SRM2 als functie van het fresnelgetal, uitgesplitst in octaafbanden. Scherm op 3 meter afstand van de bron en met een hoogte van 2 meter.

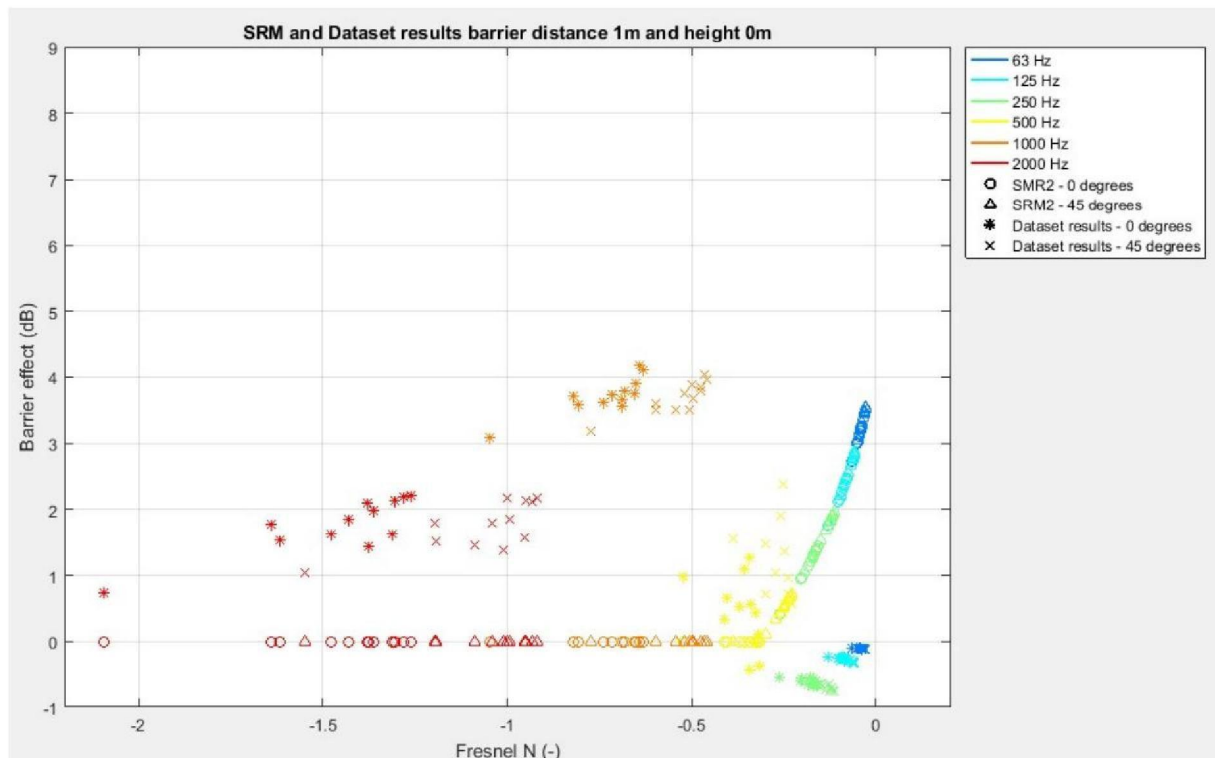
Voor een lager scherm van 1 meter hoogte is een directe zichtlijn mogelijk tussen de bron en de ontvanger en dit resulteert in negatieve fresnelgetallen. Dit is getoond in Figuur 18. Voor fresnelgetallen lager dan 0 wordt de schermwerking kleiner dan 5 dB en zakt tot 0 dB. De Maekawa curve is hier een eenvoudige formule, $D=10*\log(20*N+3)$ dB, en wijkt sterk af van de SRM2 implementatie.



Figuur 18. Schermwerking volgens Maekawa en SRM2 als functie van het fresnelgetal, uitgesplitst in octaafbanden. Scherm op 3 meter afstand van de bron en met een hoogte van 1 meter.

Eenzelfde aanpak is gedaan voor de geometrie van de diffractor-opstelling langs de N314 bij Hummelo. Hiervoor zijn bron-ontvanger puntberekeningen gedaan alsof er een scherm aanwezig is. Figuur 19 laat de SRM2 schermwerking zien van een 0 meter hoog scherm op 1.7 + 1 meter afstand van de bron; dat is de rijstrook dichtbij. De resultaten weergegeven met open markers zijn voor vier verschillende bron-ontvanger afstanden en drie verschillende hoogten van de ontvanger. Daarnaast is de schermwerking bepaald loodrecht over het scherm (0 graden) en onder een hoek van 45 graden. Figuur 19 geeft ook de uitsplitsing van de resultaten per octaafband.

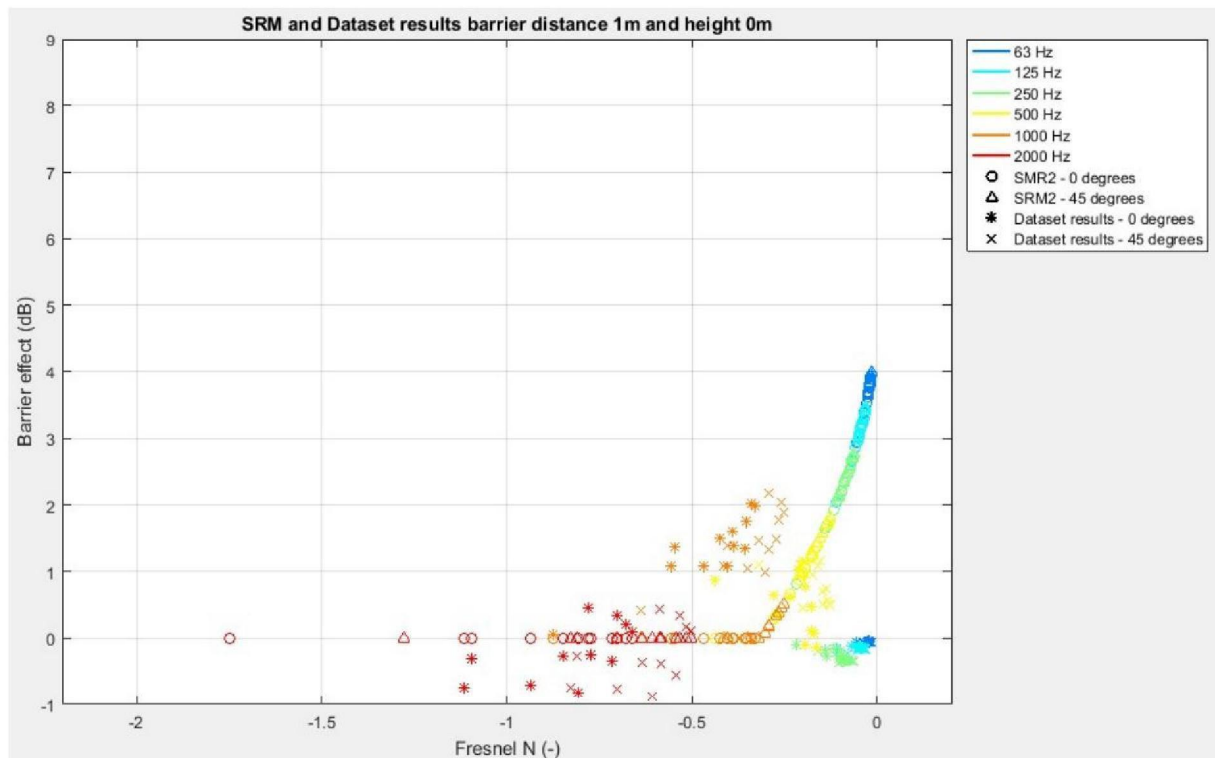
In Figuur 19 zijn tevens de rekenresultaten voor een enkele diffractor geplot, weergegeven met markers * en +, voor 0 graden en onder 45 graden. Hierbij is voor de bron-ontvanger combinaties zoals gebruikt voor de SRM2 schermwerking hetzelfde fresnelgetal gebruikt.



*Figuur 19. Schermwerking volgens SRM2 als functie van het fresnelgetal, uitgesplitst in octaafbanden en weergegeven met ronde en driehoekige markers. Scherm op 1.7 + 1 meter afstand van de bron en met een hoogte van 0 meter (rijstrook dichtbij). Het diffractor-effect voor een enkel diffractor is weergegeven met de markers * en +, waarbij voor de SRM2 bron-ontvanger combinaties het fresnelgetal is bepaald.*

De huidige SRM2 curve zou voor deze situatie met de rijstrook dichtbij kunnen worden aangepast zodat de schermwerking door de rekenresultaten loopt. Bijvoorbeeld: rond het fresnelgetal -0.5 zou de schermwerking 4 dB moeten zijn.

Indien de rijstrook veraf is gelegen dan dienen de resultaten overeen te komen als bij dezelfde fresnelgetallen wordt gekeken. In Figuur 20 zijn deze resultaten weergegeven. Nu wordt rond het fresnelgetal -0.5 een waarde tussen 1 en 2 dB gevonden voor de diffractor rekenresultaten. Daarmee wordt de hiervoor gevonden aanpassing van de schermwerking tegengesproken.



*Figuur 20. Schermwerking volgens SRM2 als functie van het fresnelgetal, uitgesplitst in octaafbanden en weergegeven met ronde en driehoekige markers. Scherm op 4.7 + 1 meter afstand van de bron en met een hoogte van 0 meter (rijstrook veraf). Het diffractor-effect voor een enkel diffractor is weergegeven met de markers * en +, waarbij voor de SRM2 bron-ontvanger combinaties het fresnelgetal is bepaald.*

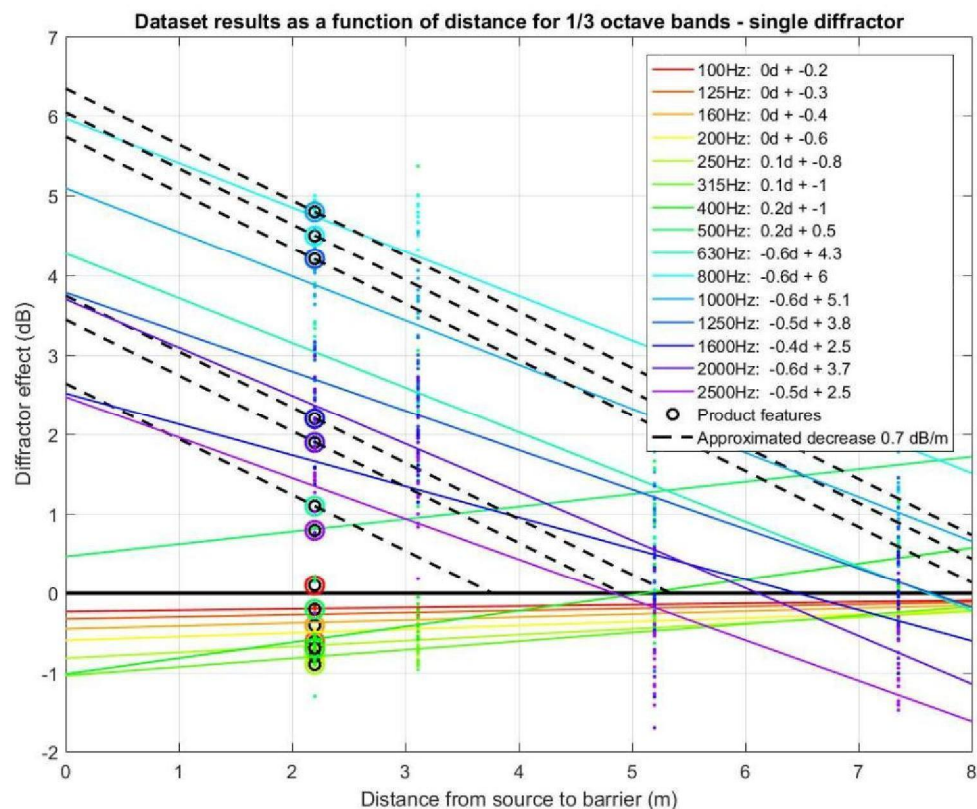
Deze discrepantie wordt voor alle substitutieschermen gevonden. Bij de substitutieschermen varieert de schermhoogte tussen 0 en 1 meter en de afstand vanaf de rand van de diffractor (vanaf de bronzijde) tussen 0 en 2 meter.

De conclusie is dat de werking van de diffractor niet kan worden beschreven door een aanpassing van de SRM2 schermwerking (danwel de Maekawa formule).

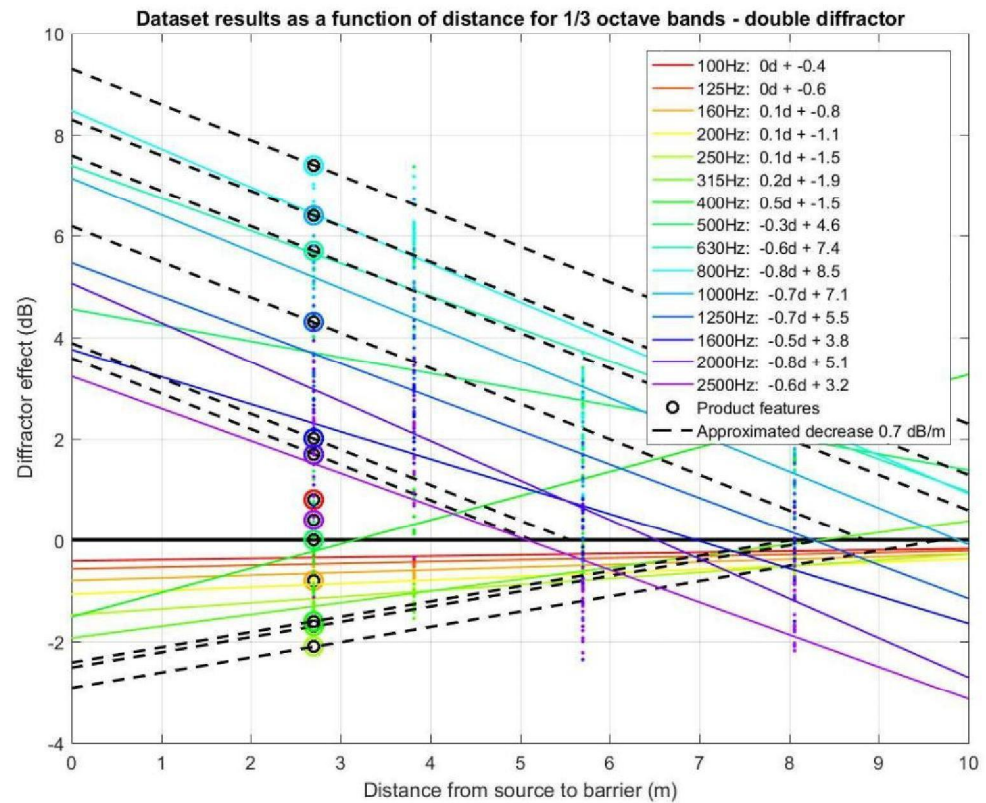
B Afname diffractor-effect met toenemende bronafstand in tertsbanden

Een zelfde aanpak als voor de octaafbanden is getoond in Figuur 21 en Figuur 22. De afname voor de enkele diffractor varieert tussen -0.5 en -0.6 dB/m, met één waarde van -0.4 dB/m. Voor de dubbele diffractor ligt de helling tussen -0.6 en -0.8. De benaderingen met een vaste helling van -0.7 dB zijn tevens weergegeven.

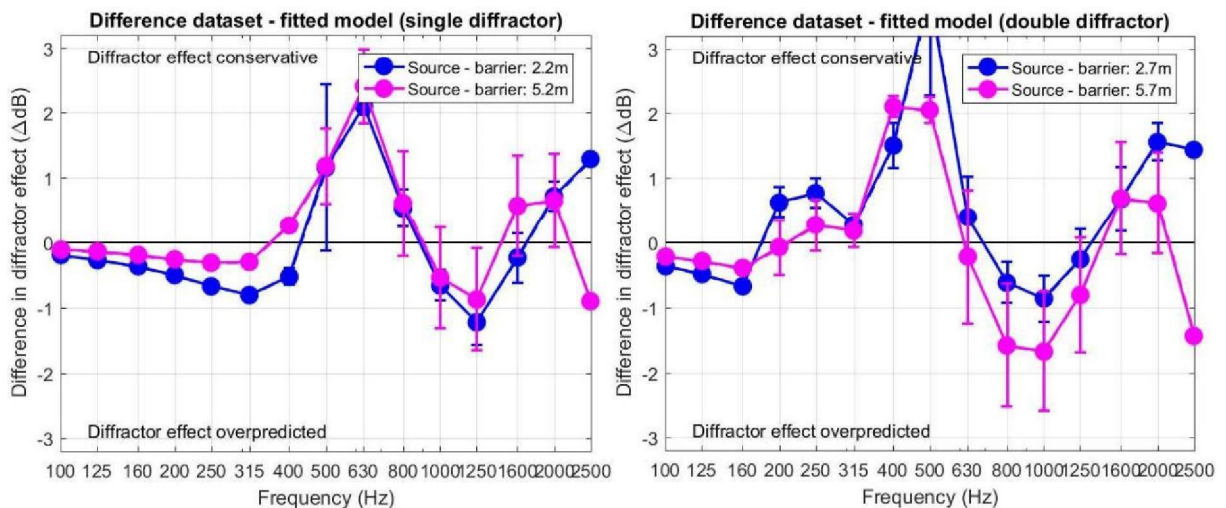
Voor de dubbele diffractor is ook een vaste helling van +0.3 dB/m aangenomen bij de producteigenschappen die kleiner zijn dan -1 dB.



Figuur 21. Diffractor-effect (enkele diffractor) als functie van de bronafstand tot het midden van de diffractor, op basis van een lineaire fit door dataset resultaten (kleur) en als benadering vanuit de producteigenschappen (zwart).



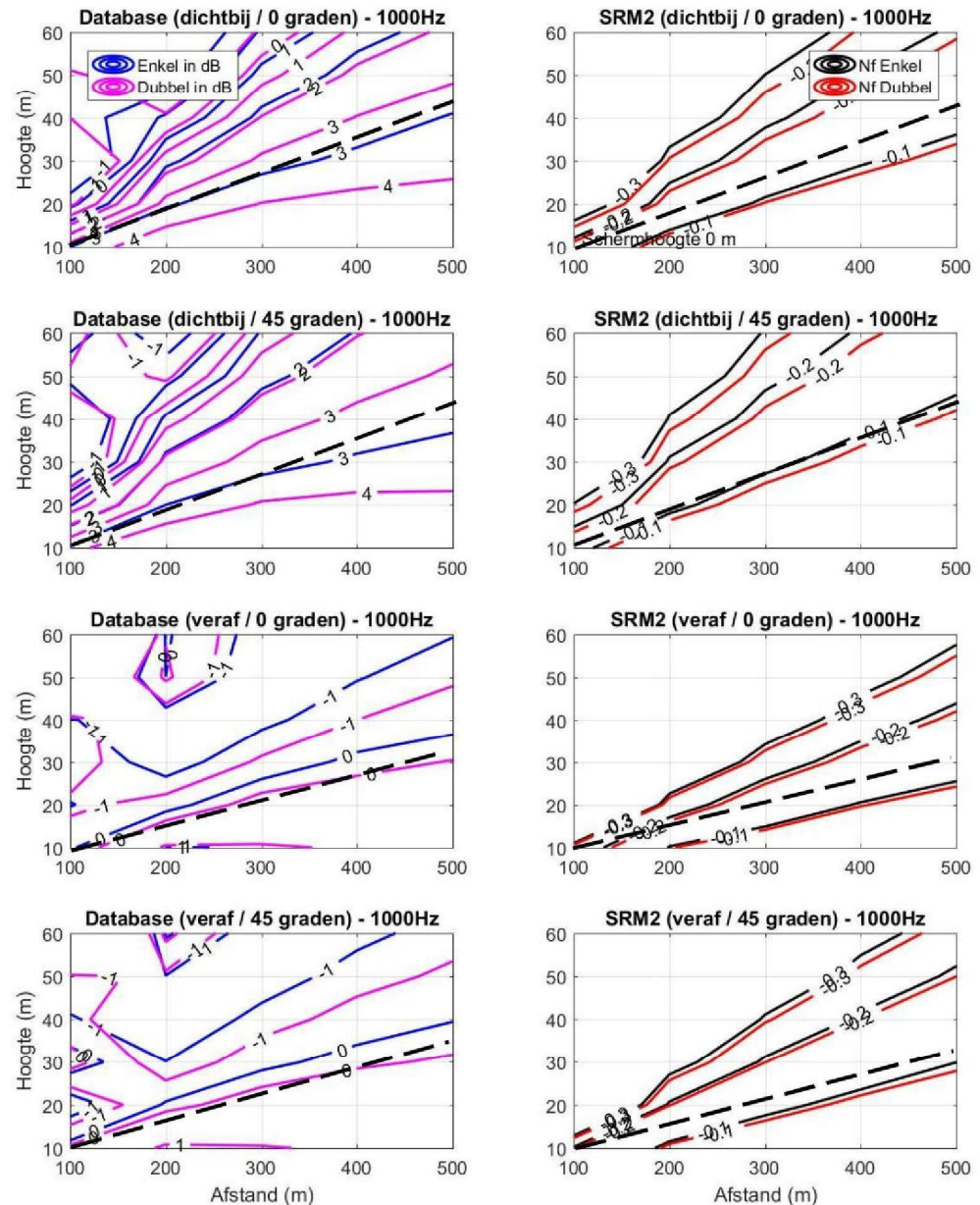
Figuur 22. Diffractor-effect (dubbele diffractor) als functie van de bronafstand tot het midden van de diffractor, op basis van een lineaire fit door dataset resultaten (kleur) en als benadering vanuit de producteigenschappen (zwart).



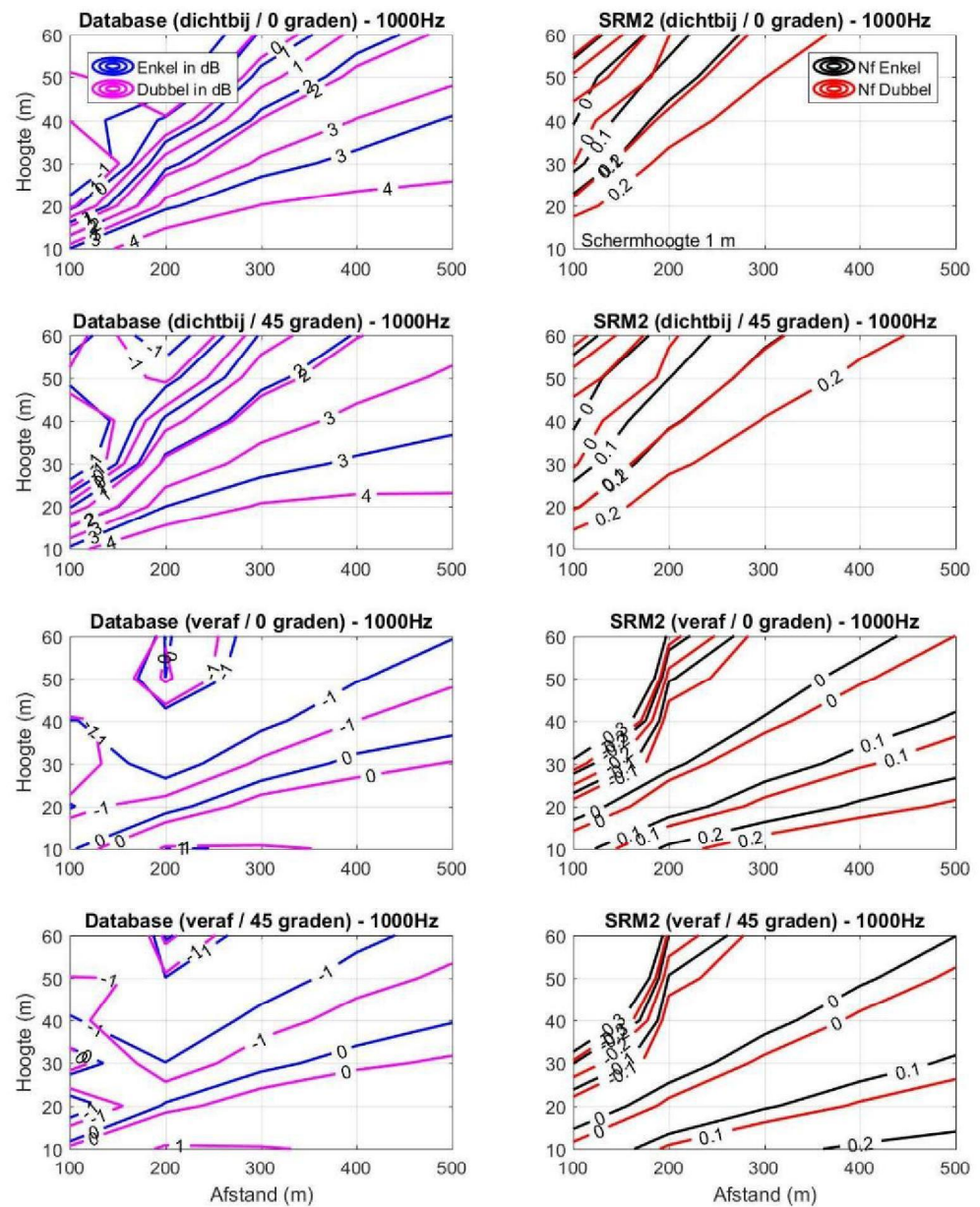
Figuur 23. Het gemiddelde verschil in het diffractor-effect tussen de dataset en het lineaire model, voor de enkele (links) en dubbele diffractor (rechts). Op twee afstanden tot de bron. De errorbars geven het minimale en maximale verschil weer met de dataset resultaten.

C Schaduwwerking: vergelijking diffractor rekenresultaten en fresnelwaarden op basis van SRM2

Onderstaande twee figuren zijn voor een scherm in SRM2 van 0 en 1,0 meter hoogte. Resultaten voor de 1000 Hz octaafband. Bronhoogte 0,1 meter.

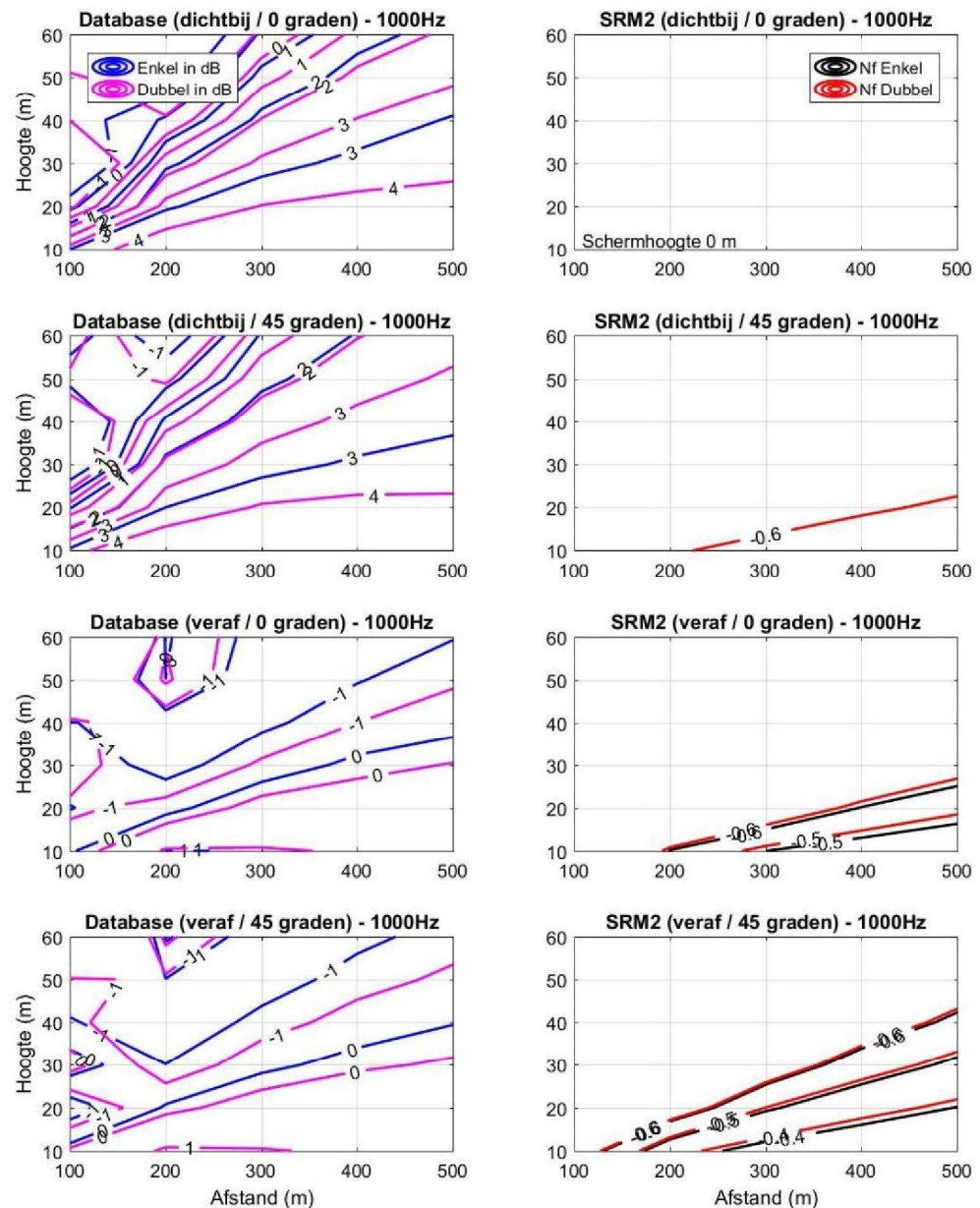


Figuur 24. Links: berekend diffractor-effect in dB, voor twee bronafstanden en twee hoeken. Rechts: bijbehorende fresnelgetallen berekend met SRM2 voor een schermhoogte van 0 meter en een bronhoogte van 0,1 meter.

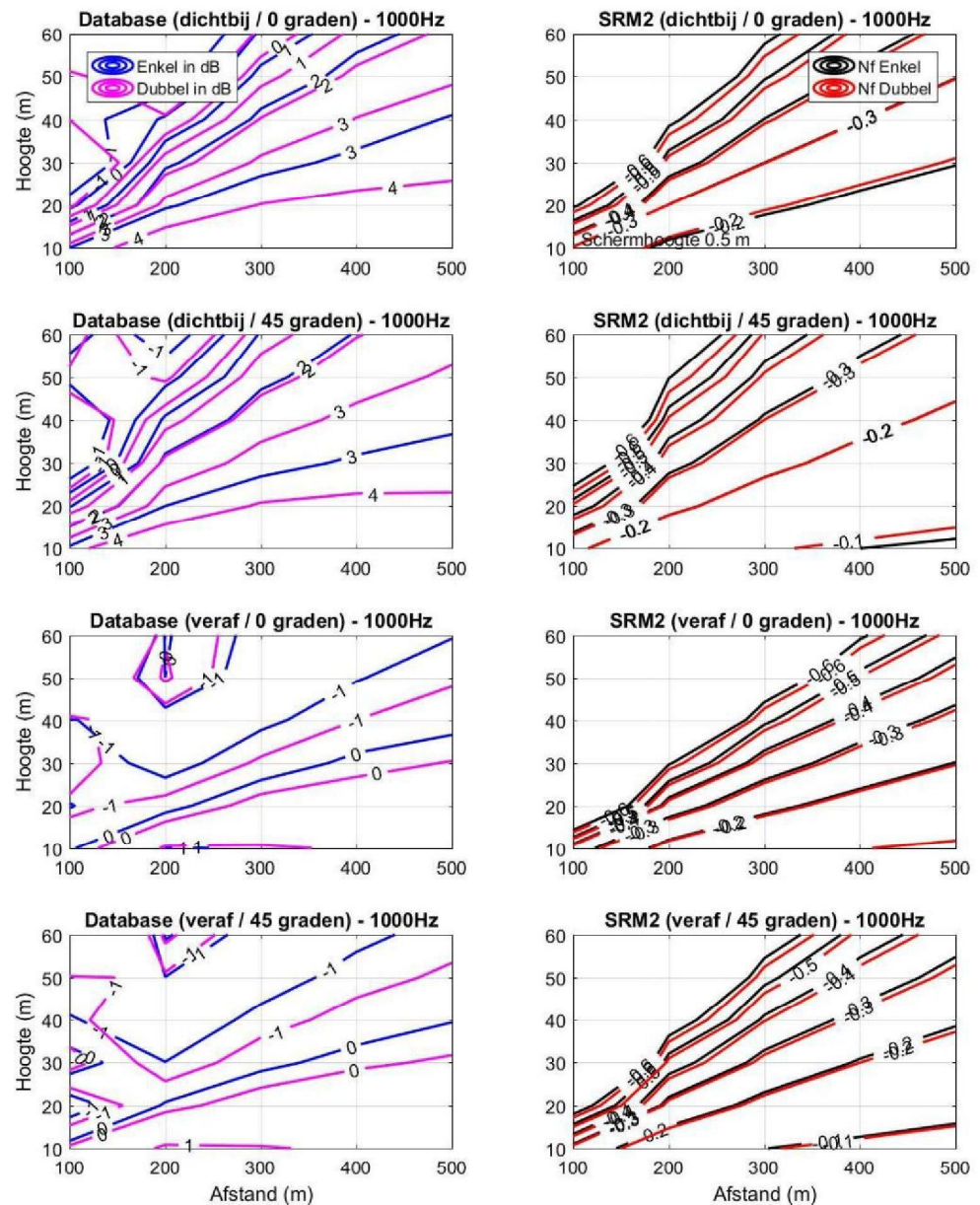


Figuur 25. Links: berekend diffractor-effect in dB, voor twee bronafstanden en twee hoeken.
 Rechts: bijbehorende fresnelgetallen berekend met SRM2 voor een schermhoogte van 1 meter en een bronhoogte van 0,1 meter.

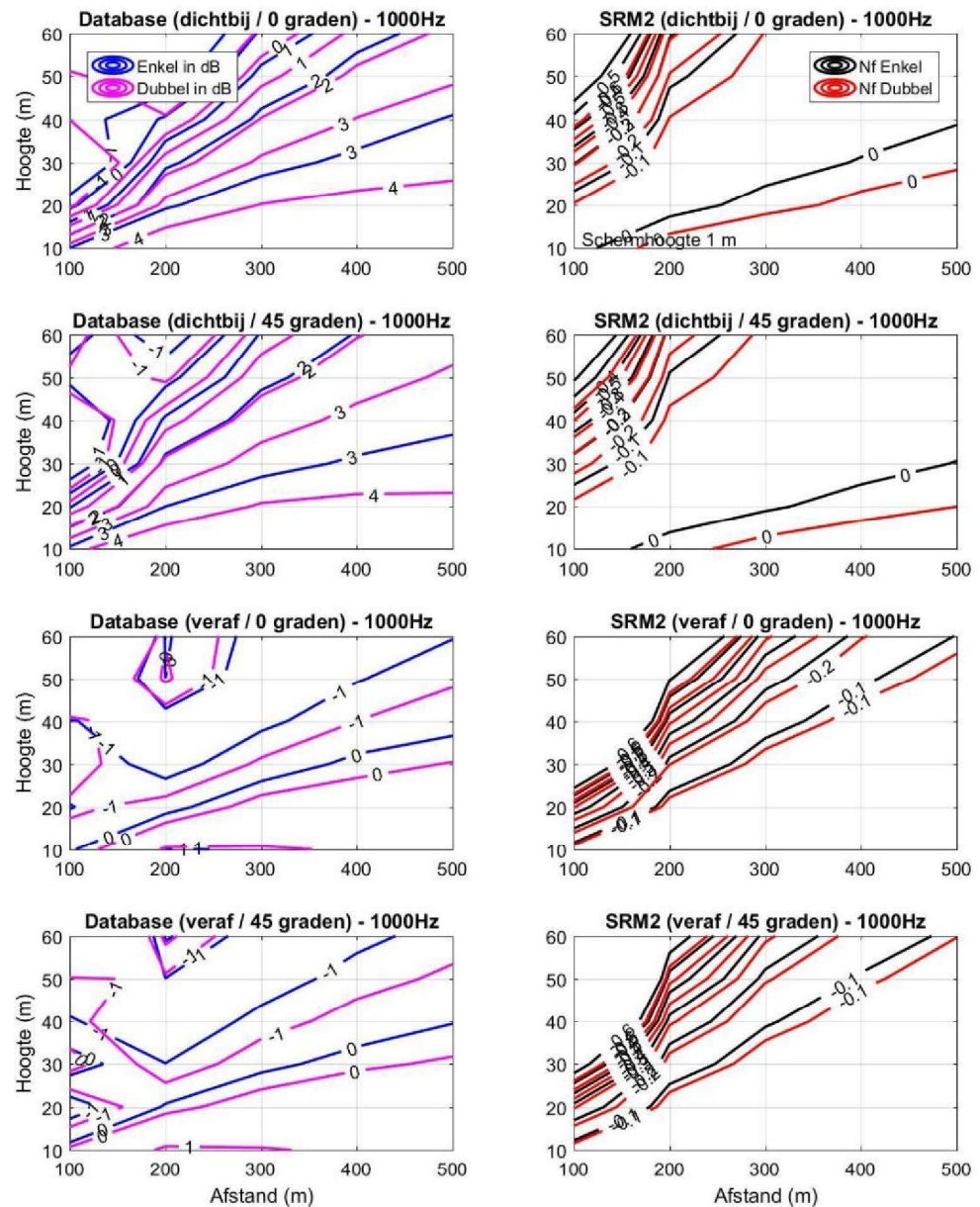
Onderstaande drie figuren zijn voor een scherm in SRM2 van 0, 0,5 en 1,0 meter hoogte. Resultaten voor de 1000 Hz octaafband. Bronhoogte 0,75 meter.



Figuur 26. Links: berekend diffractor-effect in dB, voor twee bronafstanden en twee hoeken. Rechts: bijbehorende fresnelgetallen berekend met SRM2 voor een schermhoogte van 0 meter en een bronhoogte van 0,75 meter.

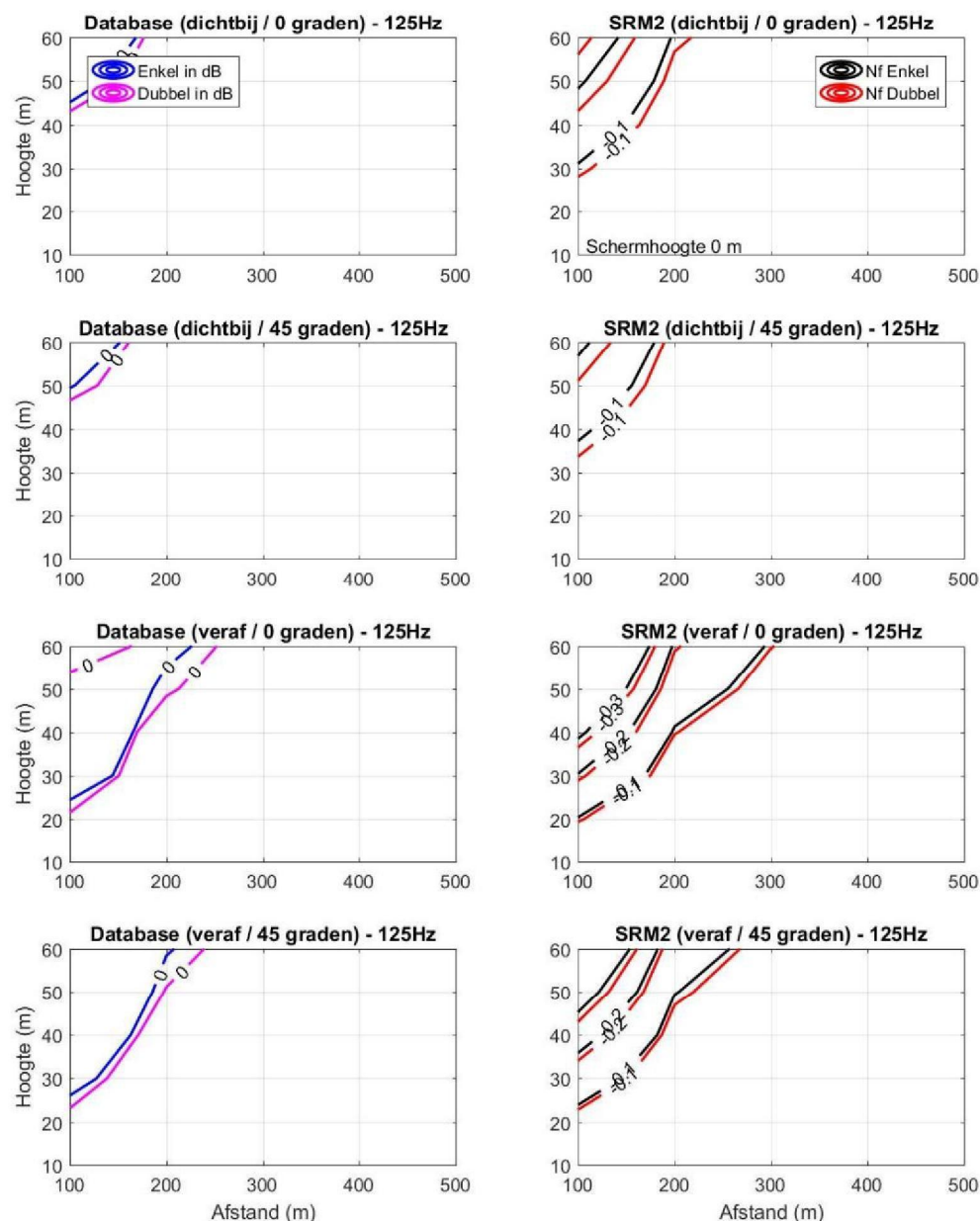


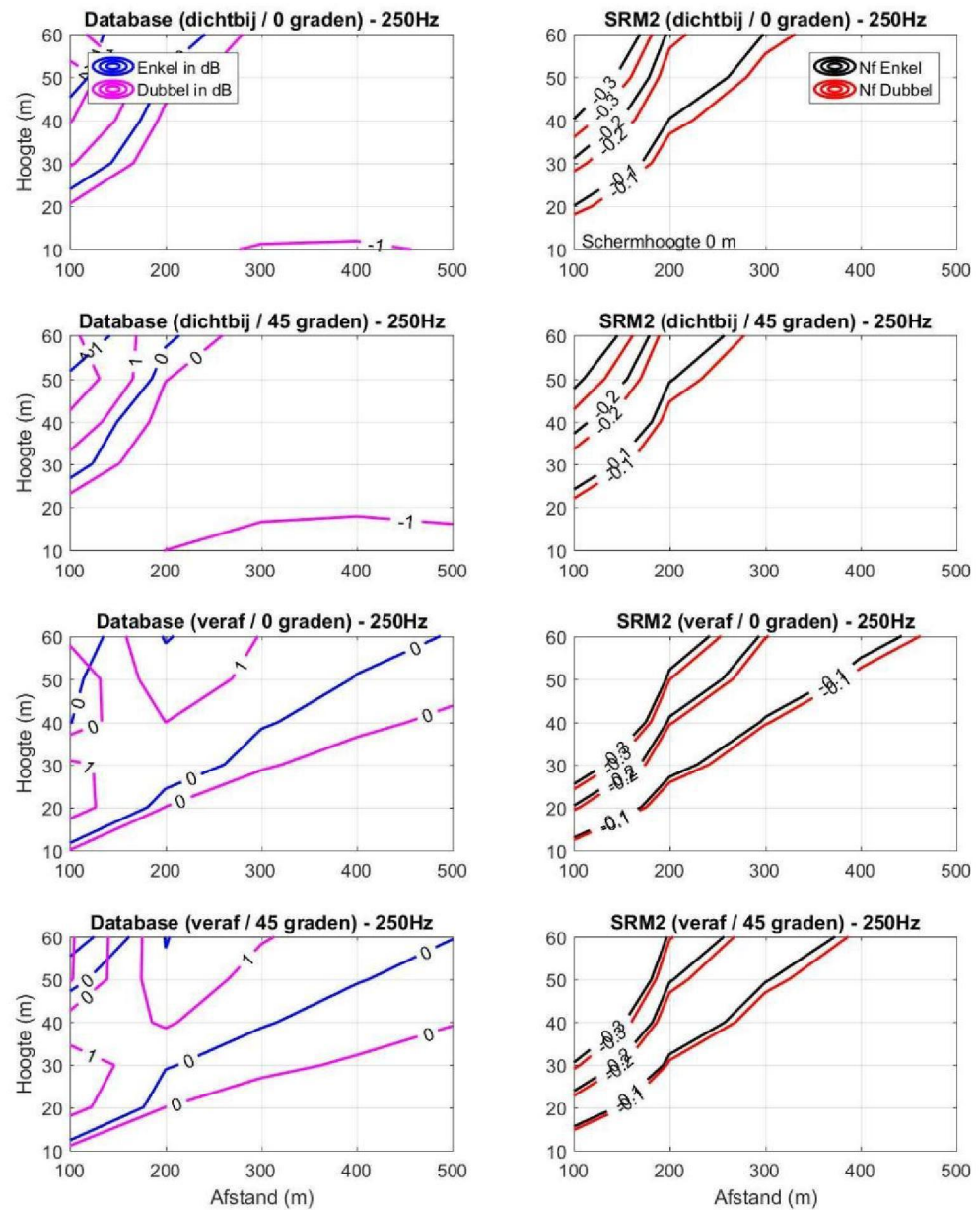
Figuur 27. Links: berekend diffractor-effect in dB, voor twee bronafstanden en twee hoeken.
 Rechts: bijbehorende fresnelgetallen berekend met SRM2 voor een schermhoogte van 0,5 meter en een bronhoogte van 0,75 meter.



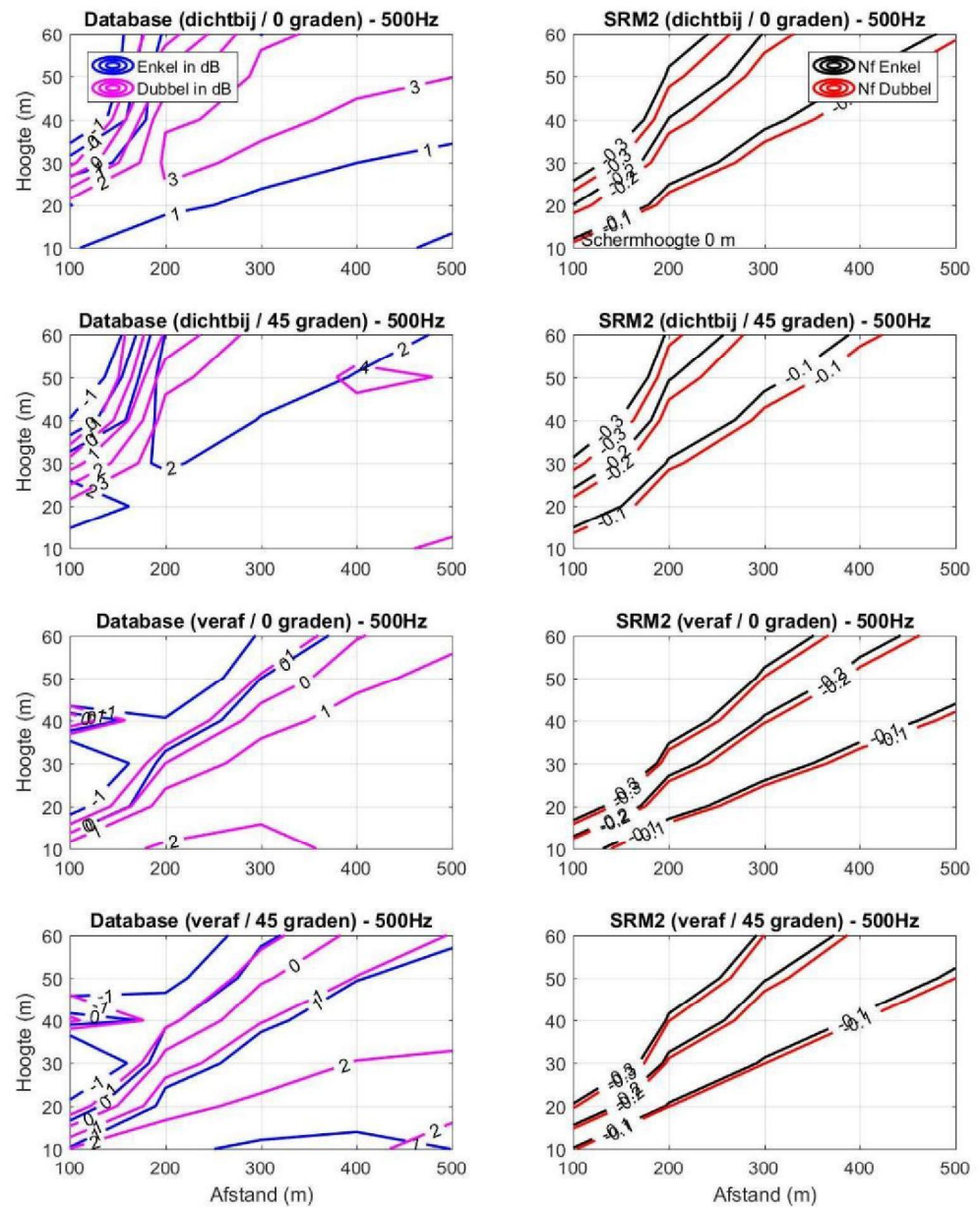
Figuur 28. Links: berekend diffractor-effect in dB, voor twee bronafstanden en twee hoeken. Rechts: bijbehorende fresnelgetallen berekend met SRM2 voor een schermhoogte van 1 meter en een bronhoogte van 0,75 meter.

Onderstaande vier figuren zijn voor een scherm in SRM2 van 0 meter hoogte. Resultaten voor de 125, 250, 500 en 2000 Hz octaafband. Bronhoogte 0,1 meter.

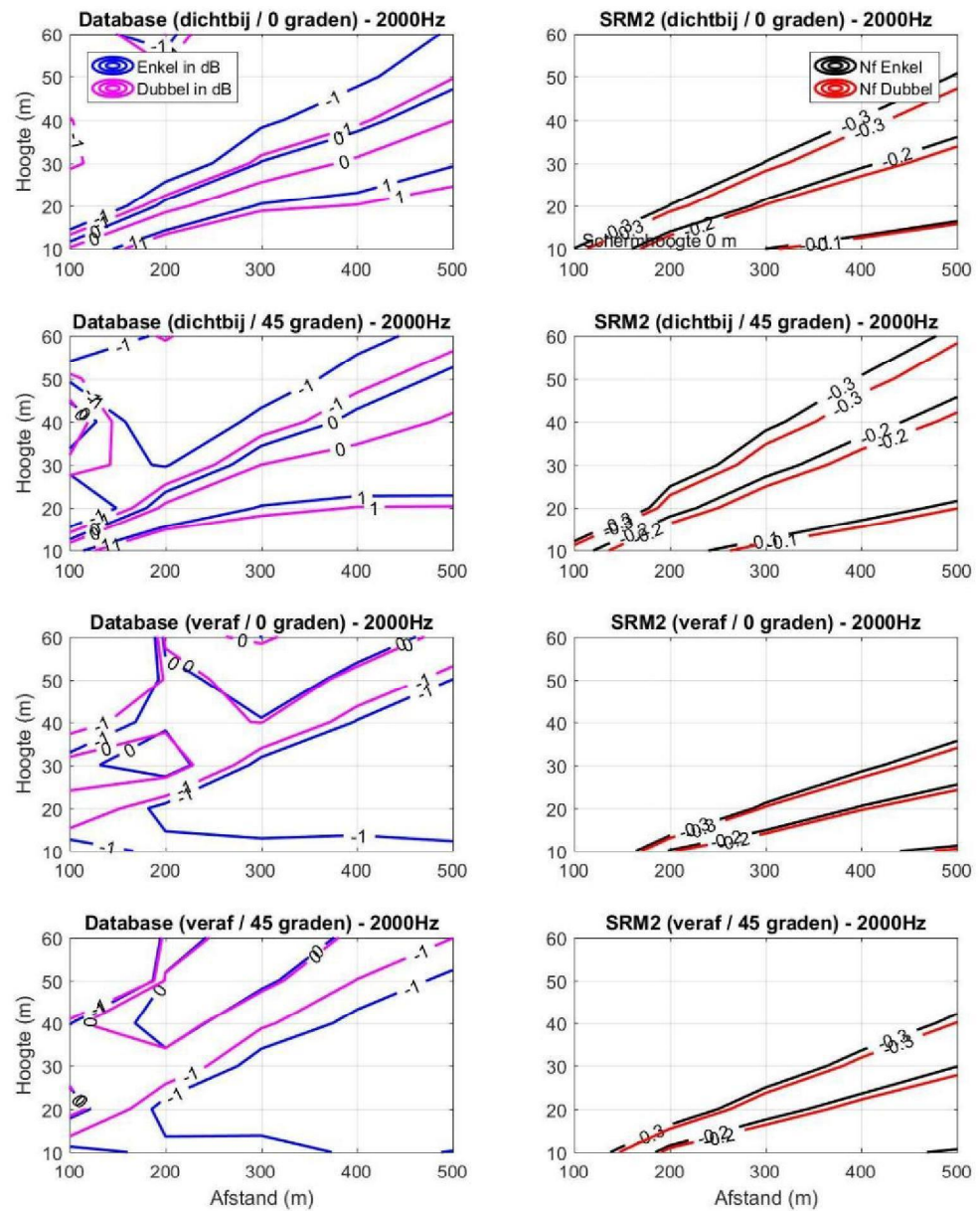




Figuur 30. Links: berekend diffractor-effect in dB, voor twee bronafstanden en twee hoeken. Rechts: bijbehorende fresnelgetallen berekend met SRM2 voor een schermhoogte van 0 meter en een bronhoogte van 0,1 meter.



Figuur 31. Links: berekend diffractor-effect in dB, voor twee bronafstanden en twee hoeken. Rechts: bijbehorende fresnelgetallen berekend met SRM2 voor een schermhoogte van 0 meter en een bronhoogte van 0,1 meter.



Figuur 32. Links: berekend diffractor-effect in dB, voor twee bronafstanden en twee hoeken. Rechts: bijbehorende fresnelgetallen berekend met SRM2 voor een schermhoogte van 0 meter en een bronhoogte van 0,1 meter.

D DGMR: Rekenregel diffractor in Geomilieu