

TNO-rapport
TPD-HAG-RPT-960040

SCHEMATISERING M-BAAN voor standaard rekenmethode 2 railverkeerslawaai

TNO Technisch Fysische Dienst
TU Delft

Stieltjesweg 1
Postbus 155
2600 AD Delft

Telefoon 015 69 20 00
Fax 015 69 21 11

Datum

8 maart 1996

Auteur(s)

prof. ir. E. Gerretsen
dr. ir. A.C. Geerlings
ir. A.R. Eisses

Opdrachtnummer

528.023

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 onderzoeks-
opdrachten aan TNO, dan wel de
betreffende terzake tussen partijen
gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 1995 TNO

Aan

NS Railinfrabeheer
Projectbureau Betuweroute

Inhoud

1	INLEIDING	3
2	DE M-BAAN	4
3	VALIDATIE REKENMODEL TOMAS VOOR DEZE TOEPASSING	5
3.1	Rekenmodel TOMAS	5
3.2	Scheren nabij spoor	6
3.2.1	meetsituatie	6
3.2.2	modellering TOMAS	6
3.2.3	vergelijking meet-rekenresultaten	9
3.3	Troglijgerbrug	12
3.3.1	meetsituatie	12
3.3.2	modellering TOMAS	13
3.3.3	vergelijking meet-rekenresultaten	15
3.4	Conclusies voor M-baan-modellering	18
4	BEREKENINGEN M-BAAN	19
4.1	M-baan modellering	19
4.2	rekenresultaten TOMAS	20
4.3	schematisering voor SRM 2	26
5	CONCLUSIES	30
	LITERATUUR	
	BIJLAGEN	

1 INLEIDING

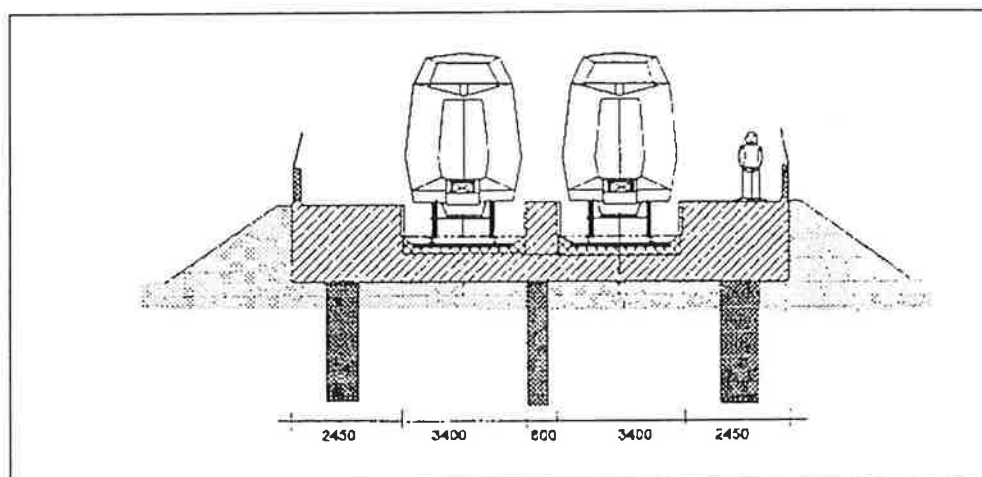
De M-baan is een spoorconstructie, ontwikkeld voor de Betuweroute, waarbij twee sporen in ballastbed in aparte betonnen bakken worden gelegd. Het is niet bekend hoe deze baanconstructie kan worden geschematiseerd bij gebruik van de Standaard Rekenmethode II voor railverkeerslawaaai (SRM 2) ter bepaling van de geluidniveaus bij woningen in de omgeving van een M-baan [1]. In opdracht van NS Railinfrabeheer is onderzoek uitgevoerd om na te gaan op welke wijze de M-baan, al dan niet voorzien van aanvullende schermen, voor SRM 2 kan worden geschematiseerd.

Dit onderzoek is uitgevoerd met behulp van het overdrachtsmodel TOMAS (versie 2.0) [2], waarbij de modellering met dit rekenmodel eerst is gevalideerd en aangepast aan de hand van meetresultaten aan gelijksoortige overdrachtsituaties, n.l. schermen nabij een baan en een baan op een trogbrug. Het rekenmodel is vervolgens toegepast op de M-baan, waarna een schematisering voor SRM 2 is afgeleid die past binnen de mogelijkheden van dat model en zo goed mogelijk overeenstemt met de resultaten volgens TOMAS. Daar waar afwijkingen optreden is gezocht naar een schematisering aan de veilige kant, dat wil zeggen dat daarmee hoogstens hogere geluidniveaus worden berekend dan op grond van het model TOMAS verwacht mogen worden.

In dit rapport wordt verslag gedaan van het onderzoek en een voorstel gegeven voor de schematisering van de M-baan binnen Standaard Rekenmethode 2 voor Railverkeerslawaaai.

2 DE M-BAAN

De M-baan bestaat uit een betonnen bak voor elk spoor waarin de baan op ballastbed wordt gelegd. De betonconstructie wordt normaal in de aarde geplaatst, doch kan waar nodig ook verhoogd als brug worden toegepast. In figuur 1 is een principeschets gegeven, waarbij tevens de plaats van mogelijke aanvullende geluidschermen is aangeduid. De hoogte van de bakconstructie is 1,0m +BS



Figuur 1: Doorsnede van de M-baan constructie.

De naar het spoor toe gekeerde zijden van de constructie kunnen absorberend worden uitgevoerd. Behalve met traditionele absorberende materialen, kan dat ook door holten in de constructie uit te sparen waarmee volume-resonatoren (Helmholtz-resonatoren) worden verkregen.

De baan kan voor de gebruikelijke uitvoeringen in een talud liggen op een hoogte tussen BS op maaiveldhoogte en BS op 2 m boven maaiveldhoogte. Het onderzoek is op deze liggingen geconcentreerd. Op sommige delen van het traject kan de hoogte 5 m boven het maaiveld zijn (brugsituatie). Ook hieraan zal enige aandacht worden gegeven. In dat geval kan het echter mogelijk zijn dat de betonconstructie geluid afstraalt; dat aspect wordt niet meegenomen.

3 VALIDATIE REKENMODEL TOMAS VOOR DEZE TOEPASSING

3.1 Rekenmodel TOMAS

Het rekenmodel TOMAS (Theoretisch Overdrachts Model Aarden wallen en Schermen) berekent de geluidoverdracht vanaf puntbronnen over willekeurige objecten en obstakels via diverse mogelijke geluidpaden, waarbij op fasegetrouwe wijze diffracties en reflecties in rekening worden gebracht. Het model gaat uit van een homogene atmosfeer zonder windinvloeden; hierdoor is de toepassing beperkt tot afstanden van ca. 150 m. Voor verschillen in overdracht door wijzigingen in de geometrie nabij de bron is deze beperking overigens minder kritisch; dergelijke berekende verschillen kunnen zeker tot dergelijke afstanden nog als relevant worden beschouwd. Met dit model is het mogelijk de optredende meervoudige reflecties tussen eindige objecten zoals een treinwagon en een scherm op correcte wijze te berekenen. De berekeningen worden uitgevoerd per frequentiecomponent, waarbij per tertsband 10 frequenties zijn toegepast. De resultaten worden vervolgens in octaafbanden uitgedrukt.

Een langsrijdende trein wordt benaderd door een serie bronnen op een lijn. Voor een efficiënte berekening worden deze bronnen op zodanige onderlinge afstand geplaatst dat de zichthoeken tussen de bronnen vanuit de waarneempositie gezien gelijk zijn; het bronvermogen wordt dan aangepast aan de lengte van het lijnstuk waarvoor de betreffende bron representatief is. Bij de berekeningen is een totale openingshoek aangehouden van 175°.

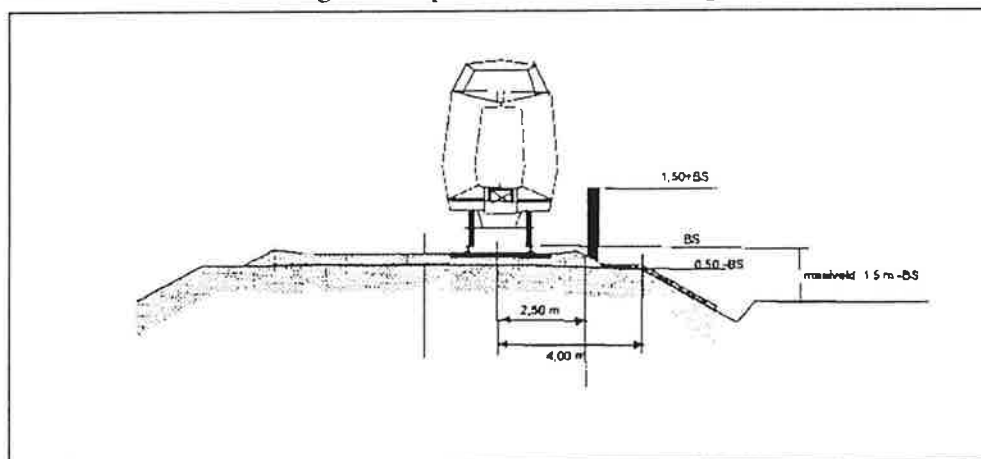
Voor de berekeningen moet de werkelijke bron worden benaderd door één of meer puntbronnen in het verticale vlak. De werkelijke situatie moet worden gemodelleerd binnen de mogelijkheden van het programma. De gebruikte versie van het programma (versie 2.0) biedt een ruime mogelijkheid aan geometriën van begrenzingsvlakken en obstakels, waarbij ook de relevante geluidpaden kunnen worden gekozen.

De optimale modellering van geometrie en geluidpaden voor de berekeningen met TOMAS is mede bepaald aan de hand van vergelijkingen met meetgegevens. Voor de geometrie bij de M-baan zijn hiervoor metingen relevant die door de NS zijn uitgevoerd aan schermen nabij het spoor en aan een troglijggerbrug. Hierbij zal de vergelijking primair voor reizigersmaterieel worden gemaakt aangezien daarvan de meeste en de meest betrouwbare meetgegevens beschikbaar zijn. Bij de berekeningen voor de M-baan zal primair naar goederenmaterieel worden gekeken.

3.2 Schermen nabij spoor

3.2.1 meetsituatie

Bij Soest is onderzoek gedaan naar de afscherming van railverkeersgeluid door absorberende en reflecterende schermen [3]. Daarbij is ook een situatie onderzocht met schermen op korte afstand van het spoor, zie figuur 2. Het scherm heeft een hoogte van 1,5m en is op 2,5m uit het hart spoor geplaatst. De reflecterende uitvoering is opgebouwd uit 36 mm dikke vurenhouten delen; voor de absorberende uitvoering is hierop 50 mm steenwol aangebracht.



Figuur 2: Doorsnede van de meetsituatie bij Soest.

Metingen zijn uitgevoerd met en zonder scherm waaruit de tussenschakelverzwakking is bepaald per materieeltype. Dit betreft materieel 64 en goederentreinen. De tussenschakelverzwakking is te beschouwen als de vermindering van het equivalent geluidniveau voor een lijnbron. De beschouwde waarnemingsposities zijn op 25 m afstand met hoogten +5 m BS (mpt 2) en +1 m BS (mpt 3) en op 100 m afstand met hoogte +5 m BS (mpt 5); zie bijlage A.

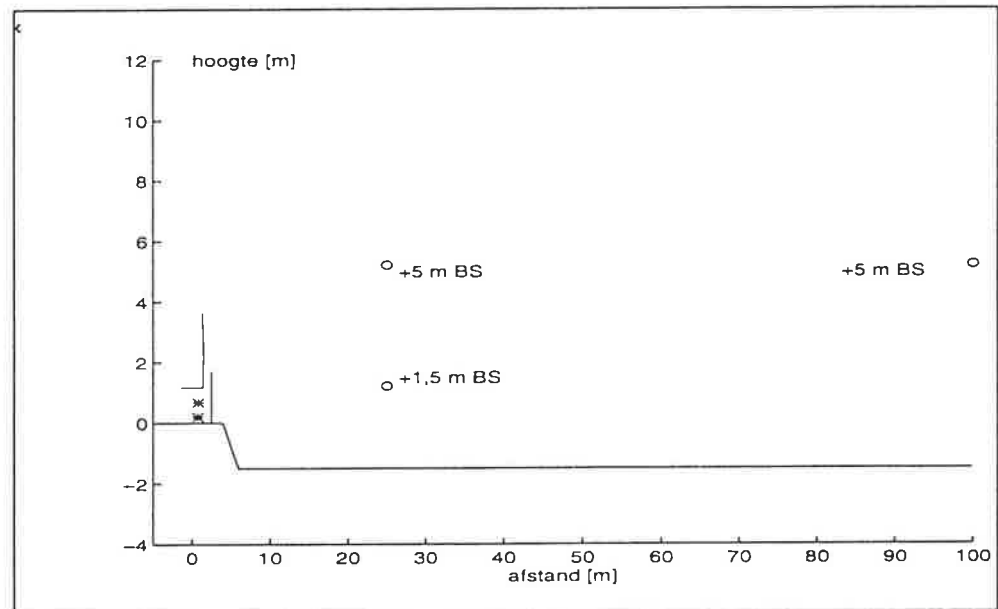
3.2.2 modellering TOMAS

In figuur 3 is een doorsnede gegeven van de modellering voor het rekenmodel TOMAS, waarbij de afstanden (horizontaal) en hoogten (vertikaal) in meters zijn gegeven.

Voor de bronposities is uitgegaan van de posities overeenkomstig SRM 2, d.w.z. een bron op BS en een bron op ashoogte (+0,5 m BS) met een sterkteverhouding van 1:4. De trein is gemodelleerd naar het profiel van Materieel 64 waarbij de reflecterende wagonbodem ter hoogte van de bovenzijde van de wielen is gelegd (+1 m BS).

De bodem is als een absorberende bodem gemodelleerd met een stromingsweerstand van $\sigma = 100 \text{ k.Ns/m}^4$; voor het ballastbed is $\sigma = 80 \text{ k.Ns/m}^4$ aangehouden met een structuurfactor van 5 en een porositeit van 20% (starskelet-model).

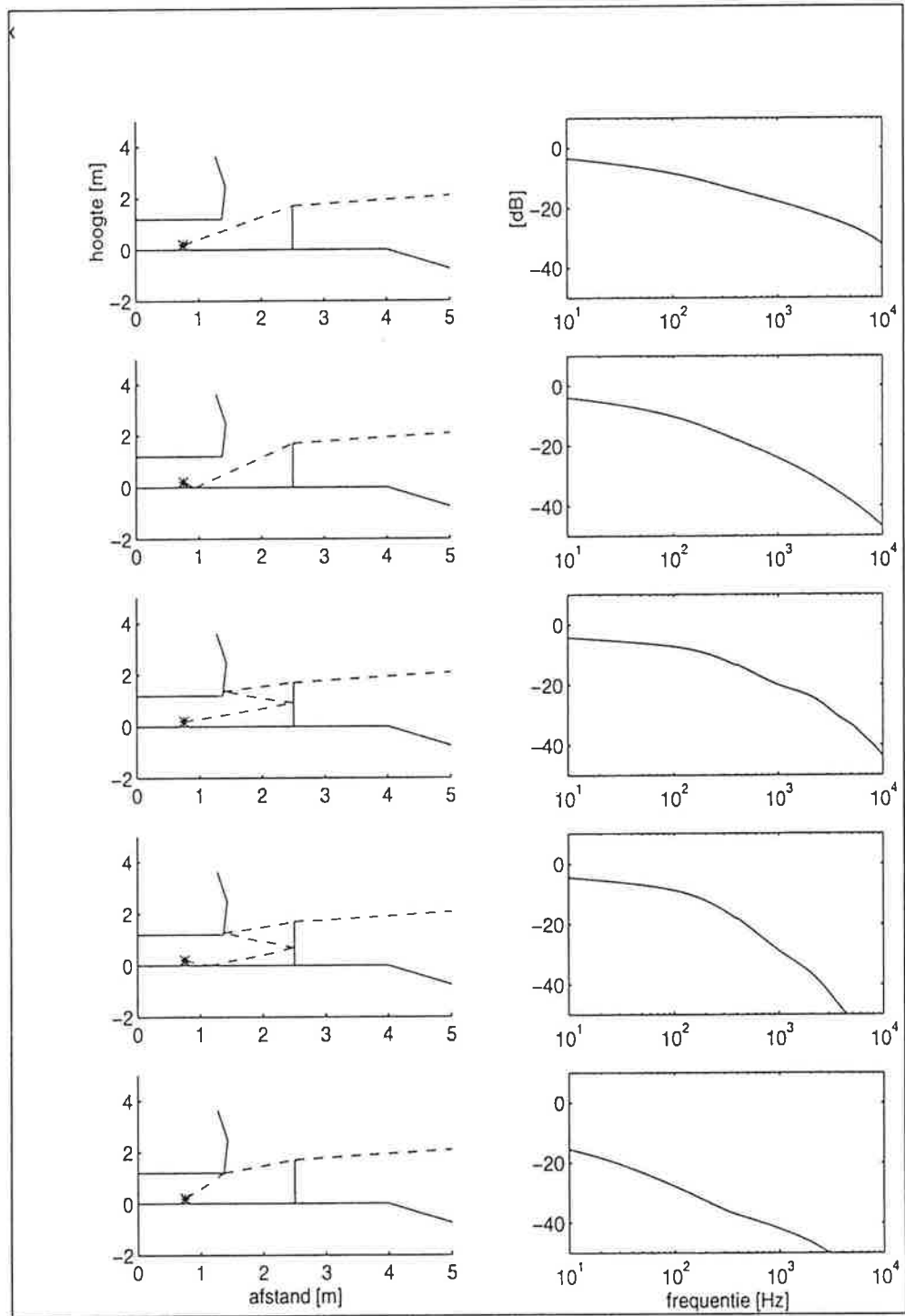
Het reflecterende scherm is volledig hard genomen en voor het absorberende scherm is absorptiemateriaal met $\sigma = 30 \text{ k.Ns/m}^4$ bij een dikte van 50 mm gehanteerd, overeenkomstig de meetsituatie.



Figuur 3: Modelling voor TOMAS van de situatie te Soest met scherm, trein, bronposities(*) en ontvangposities (o); afstands- en hoogtematen in m.

Bij de berekeningen is het aantal overdrachtspaden (reflecties en diffracties) in eerste instantie gevarieerd om inzicht te verkrijgen in het belang van de diverse overdrachtspaden. In figuur 4 is voor de situatie met scherm een illustratie gegeven van de belangrijkste overdrachtspaden voor één bron en één ontvanger. Links is het betreffende geluidpad geschetst en rechts het geluiddrukniveau ten opzichte van het vrije veld als alleen overdracht via het betreffende pad plaats zou vinden (smalbandig als functie van de frequentie in Hz). Dit geeft een indicatie van de bijdrage van elk van de paden, hoe lager dit niveau des te geringer is die bijdrage. Het totale niveau is echter niet een eenvoudige sommatie van deze gegevens, omdat bij de volledige berekening de bijdrage van de verschillende paden in fase wordt opgeteld, zodat versterkingen en verzwakkingen kunnen optreden.

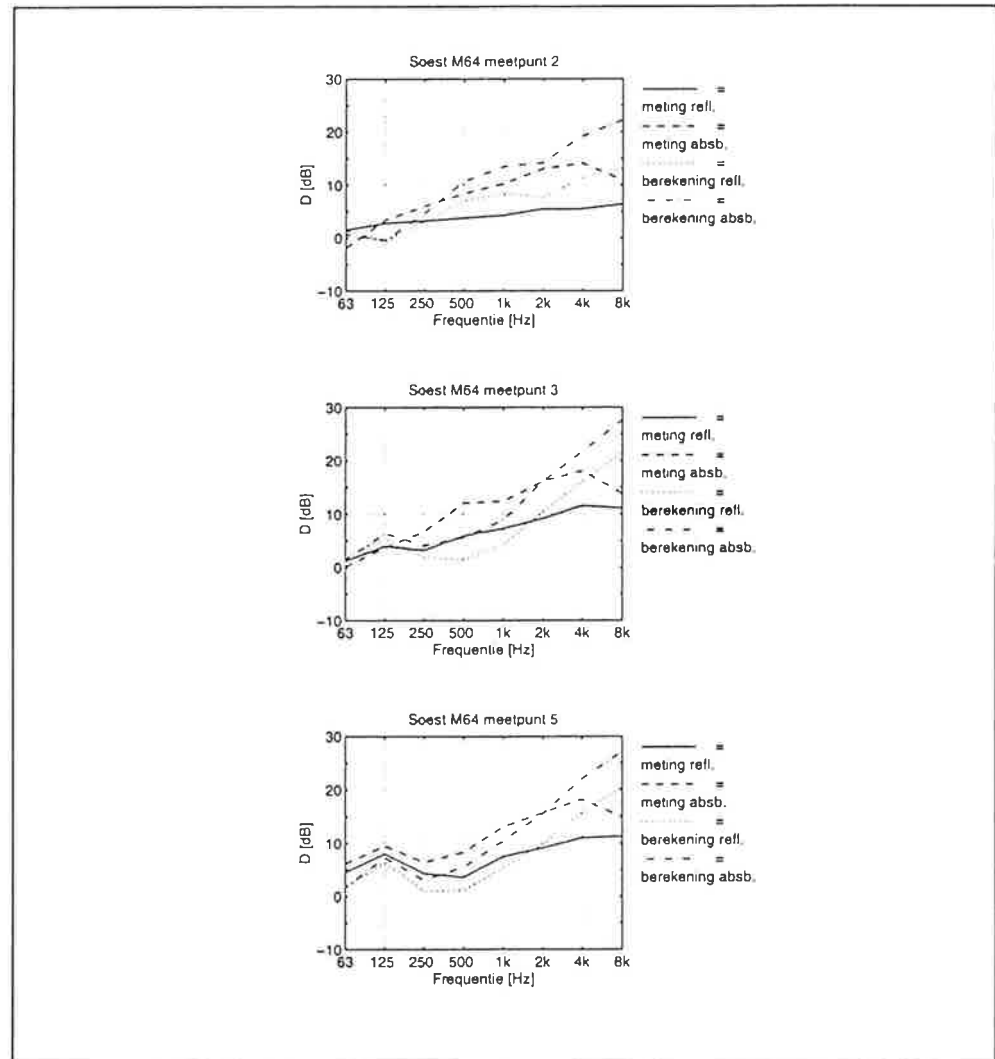
De belangrijkste paden bij een reflecterend scherm blijken de paden te zijn die samenhangen met de diffractie aan het scherm, de dubbele reflectie in scherm en wagon en de diffractie aan de onderzijde van de trein. Deze paden kunnen optreden vanaf elk van de bronnen en de spiegelbronnen in het ballastbed, zowel naar de ontvanger als naar de spiegelontvanger in de bodem. Andere potentiële paden, zoals diffractie aan de bovenzijde van de treinwagon, blijken in deze situatie volledig verwaarloosbaar te zijn.



Figuur 4: De belangrijkste overdrachtspaden voor de situatie met (reflecterend) scherm te Soest; links de paden, rechts de overdracht voor alleen dat pad.

3.2.3 vergelijking meet-rekenresultaten

In figuur 5 zijn voor de drie meetpunten de berekeningsresultaten weergegeven voor een absorberend en een reflecterend scherm met ter vergelijking de meetresultaten voor materieel 64. Weergegeven is de tussenschakelverzwakking door het scherm D in octaafbanden, dat wil zeggen de niveauverlaging op het meetpunt door het plaatsen van het scherm.

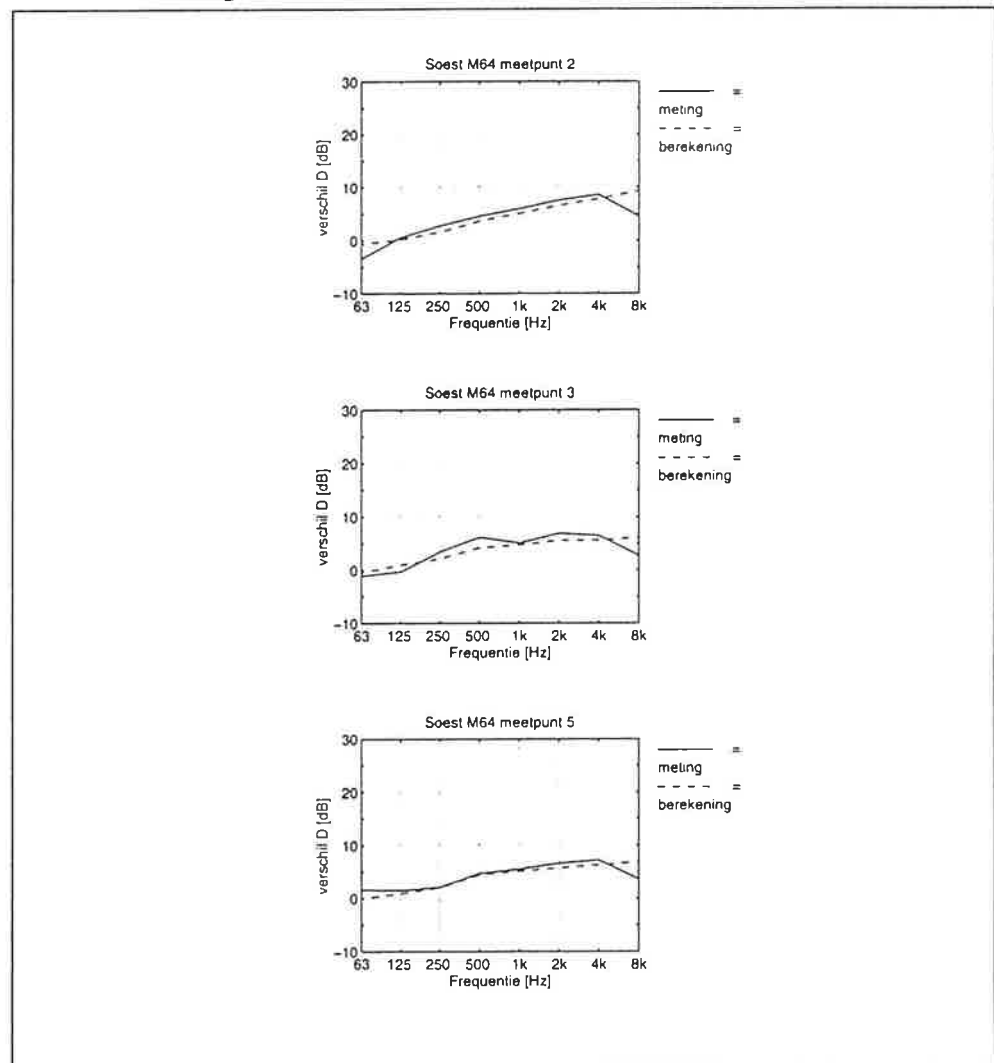


Figuur 5: Berekende (—) en gemeten (---) tussenschakelverzwakking D van absorberende (o) en reflecterende (x) schermen te Soest; materieel 64.

De berekeningen geven de trends redelijk weer. Afwijkingen treden vooral op in de octaafbanden 500 en 1000 Hz en bij de hoogste octaafband van 8 kHz. Dit laatste verschil kan goed het gevolg zijn van de invloed van stoorgeluid bij de metingen in de afgeschermdde situatie. De afwijking bij de middenfrequenties lijkt vooral het gevolg van een onvoldoende modellering van de feitelijke bodem bij deze metingen. Dit heeft de grootste invloed op grote afstand (mpt 5) waar bovendien de meteorologische omstandigheden bij de metingen een rol spelen.

Aangezien het in deze studie niet gaat om een zo goed mogelijke modellering van de overdracht in deze specifieke situatie is niet geprobeerd de bodem-modellering verder te optimaliseren.

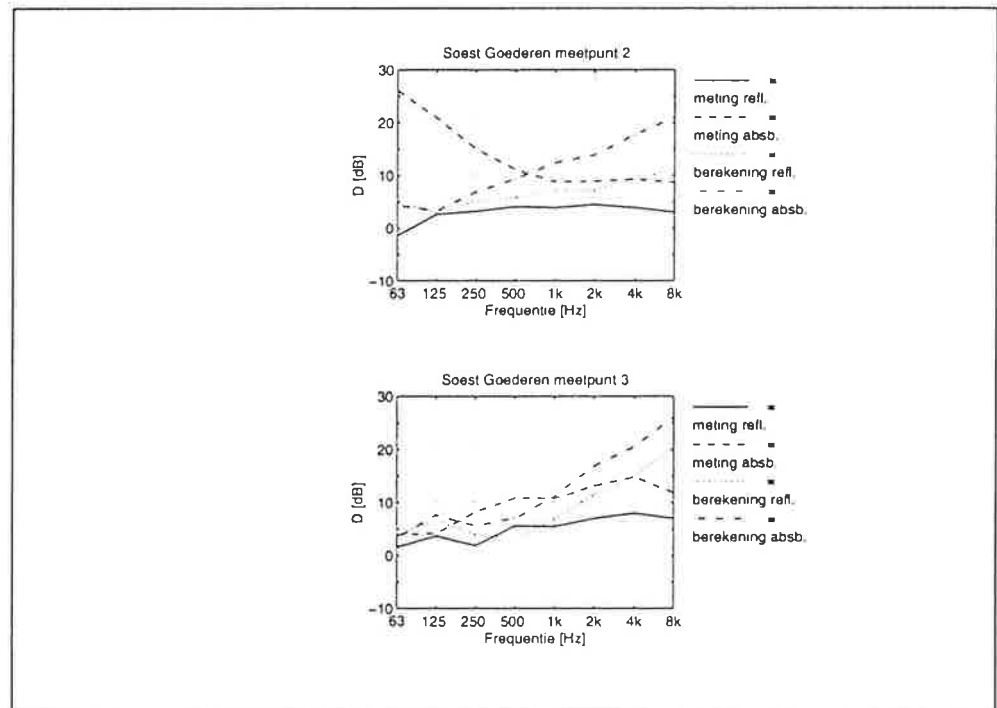
De invloed van de bodem zal veel geringer zijn als we het verschil bekijken tussen een absorberend en een reflecterend scherm. Deze verschillen ΔD , bepaald uit de metingen en uit de berekeningen, zijn weergegeven in figuur 6 als de verbetering in de afscherming door het absorberend maken van het scherm. De overeenstemming tussen berekening en meting is hier vrij goed, hetgeen aangeeft dat de modellering van de overdracht tussen trein en scherm adequaat is.



Figuur 6: Berekende en gemeten verbetering van de afscherming door het absorberend uitvoeren van een scherm.

Dezelfde vergelijking tussen metingen en berekeningen is ook gemaakt voor goederenmaterieel. De resultaten zijn weergegeven in figuur 7 en laten een gelijksoortig beeld zien. Ook in dit geval blijkt vooral het berekende verschil tussen reflecterend en absorberend goed met dat gemeten verschil overeen te komen. In absolute zin wijkt de berekende schermwerking echter meer af van de

gemeten schermwerking dan bij het personen- of reizigersmaterieel. Dit duidt er op dat de feitelijke bronhoogten of bronsterkteverdeling over de bronhoogten bij goederenmaterieel toch enigszins anders is dan volgens SRM 2. Dit werd ook reeds in [3] geconstateerd, waarbij tevens wordt opgemerkt dat bij goederenmaterieel de spreiding in meetresultaten zodanig is dat het aantal metingen eigenlijk te beperkt is voor het trekken van harde conclusies. Bij de interpretatie van berekeningsresultaten voor goederenmaterieel zal hiermee rekening moeten worden gehouden.

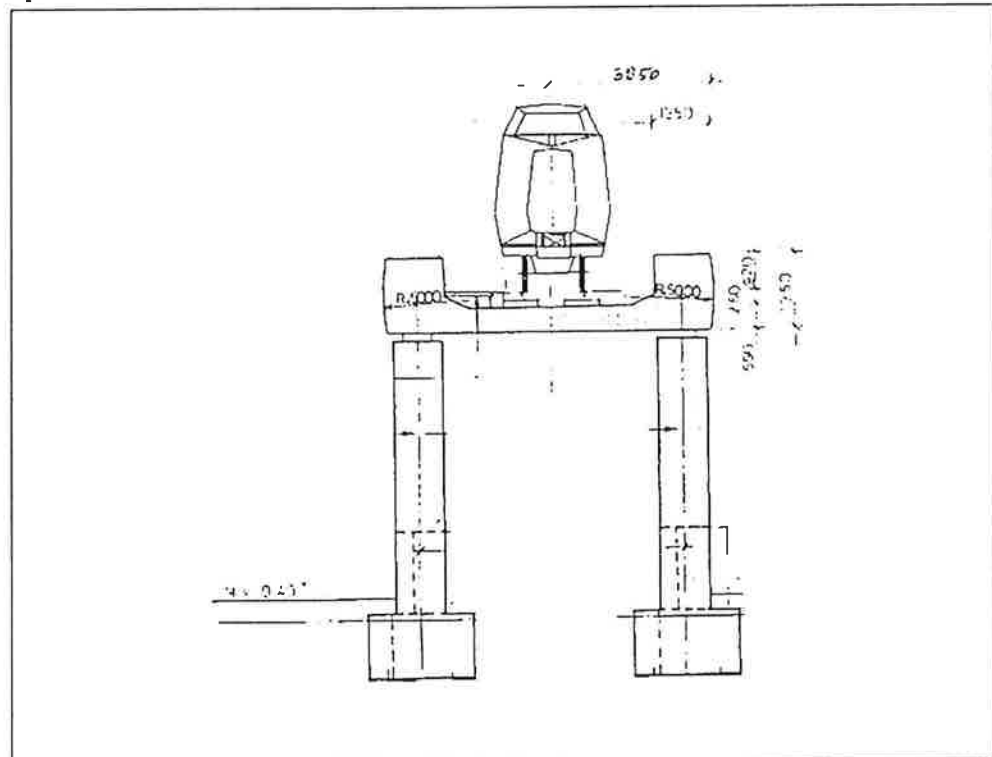


Figuur 7: Berekende (—) en gemeten (--) tussenschakelverzwakking D van absorberende en reflecterende schermen te Soest; goederenmaterieel.

3.3 Troglijgerbrug

3.3.1 meetsituatie

Bij Diemen is onderzoek gedaan naar de overdracht van railverkeersgeluid bij een troglijgerbrug; zie figuur 8. Daarbij is de vergelijking gemaakt met het spoor op een aarden baan [4].



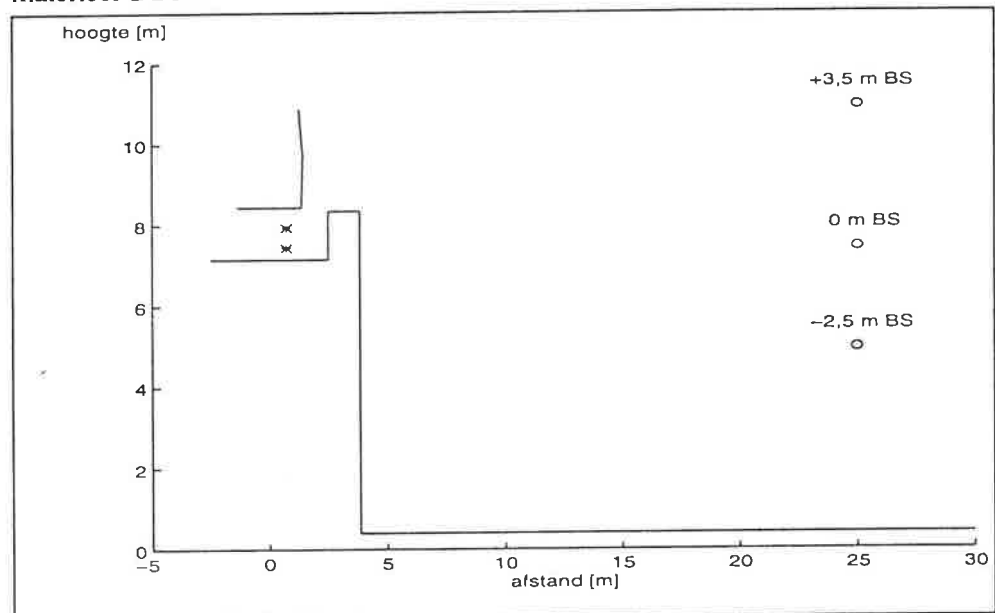
Figuur 8: Doorsnede van de meetsituatie bij de troglijgerbrug te Diemen.

Metingen zijn uitgevoerd op gelijke waarneemposities naast de brug en naast de aarden baan per materieeltype. Dit betreft vooral materieel 64 en enkele nieuwere typen, zoals type DDM. Op de troglijgerbrug is regelbare railbevestiging toegepast; op de aarden baan ligt voegloos spoor op houten dwarsliggers. Het verschil in meetresultaat tussen de twee situaties wordt voor de vergelijking met berekeningen gebruikt. De beschouwde waarneemposities liggen op 7,5 m afstand en hoogte 1,2m +BS en op 25m afstand met hoogten -2,5 m BS, +0 m BS en +3,5 m BS; zie bijlage A.

3.3.2 modellering TOMAS

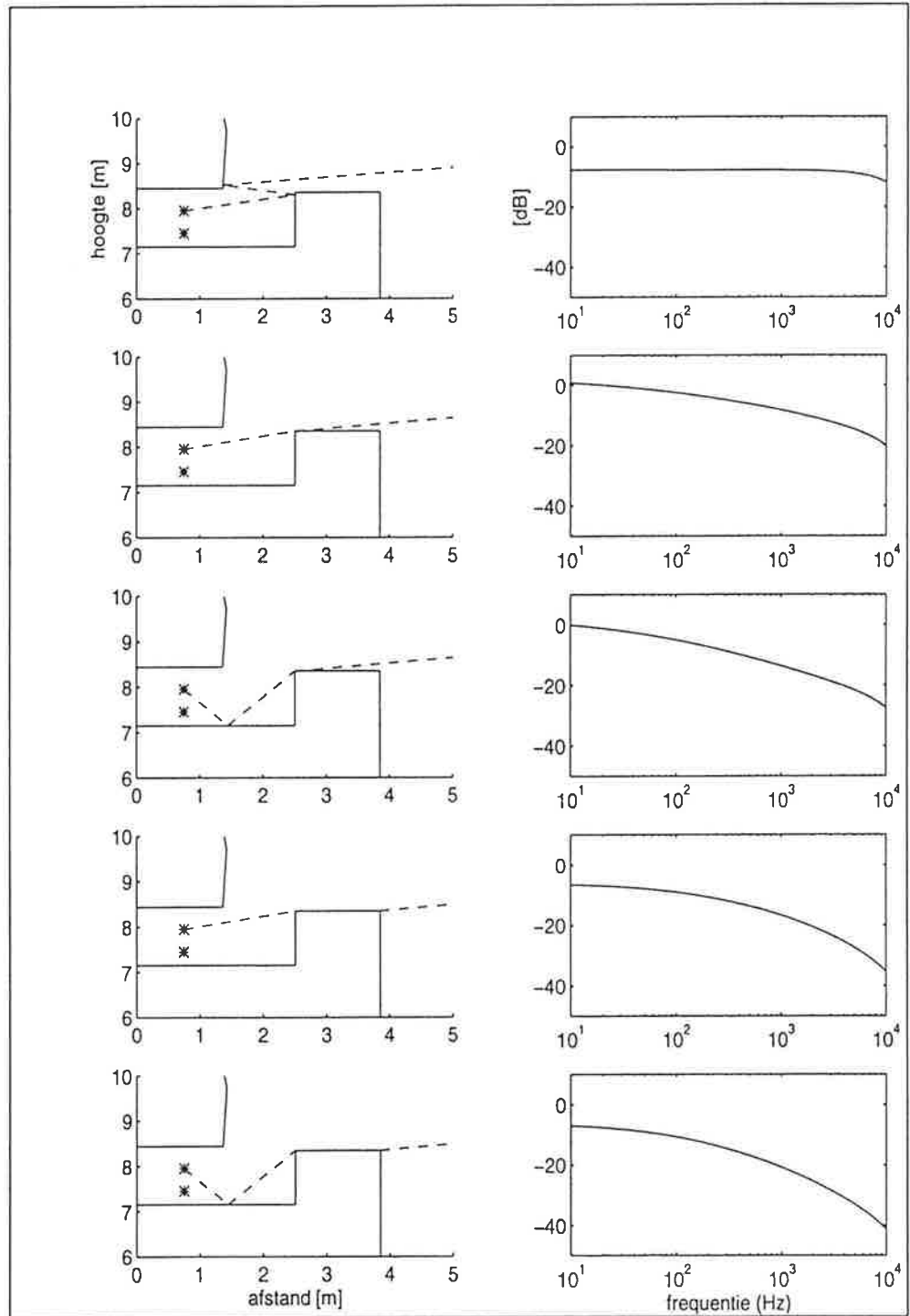
In figuur 9 is een doorsnede gegeven van de modellering voor het rekenmodel TOMAS van de trogliggerbrug. De referentiesituatie bij de aarden baan is op dezelfde wijze gemodelleerd als in 3.2.1 beschreven. Ook de bronposities en de trein zijn op dezelfde wijze gekozen als in 3.2.1 beschreven.

Omdat de meetresultaten verschillen vertonen per treintype is in dit geval ook gekeken naar de invloed van een wagon met een lagere bodem dan bij materieel 64. Deze is op ashoogte gekozen, hetgeen waarschijnlijk representatiever is voor materieel DDM.



Figuur 9: Modellering voor TOMAS van de situatie te Diemen met de trogliggerbrug, trein, bronposities(*) en ontvangposities (o); afstands- en hoogtematen in m.

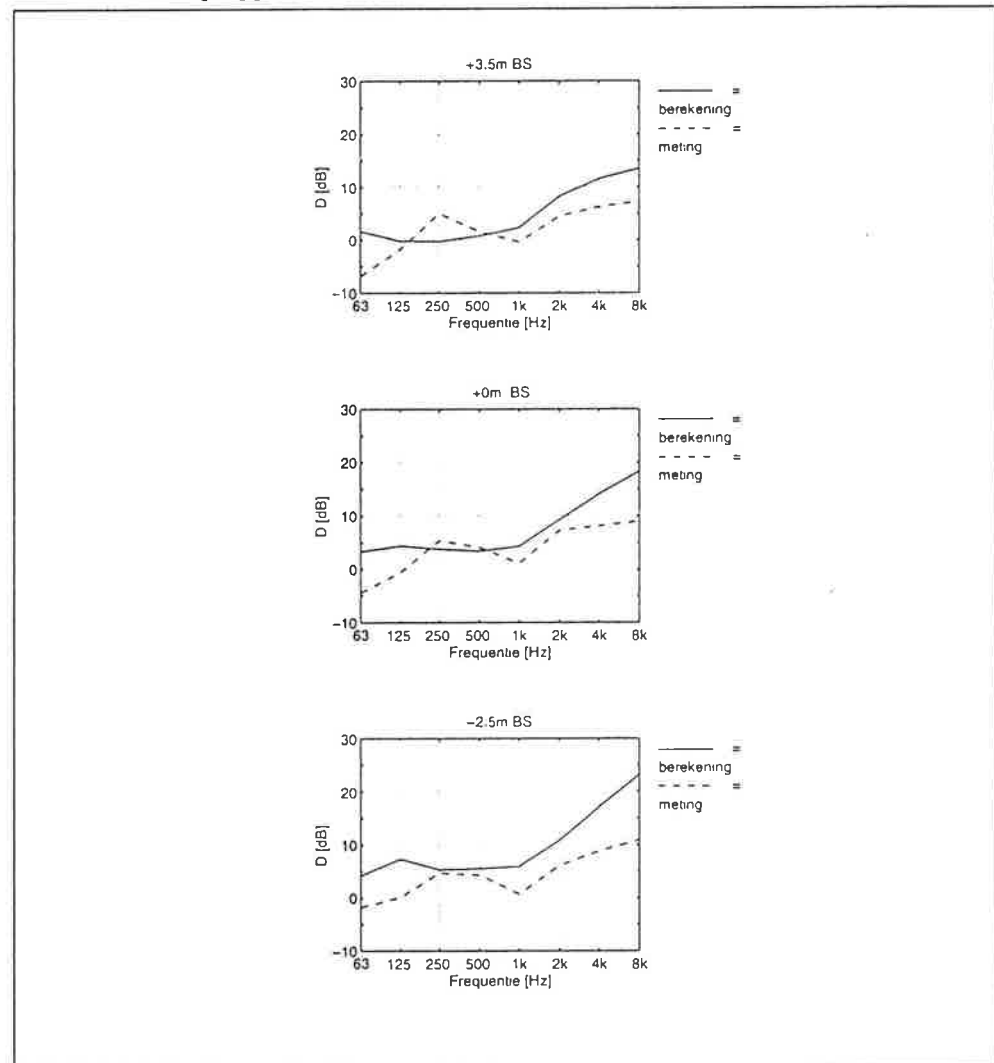
In deze situatie blijken een aantal geluidpaden minder relevant te zijn dan voor de situatie te Soest. Reflecties tussen 'scherm' en wagon (kunnen) nauwelijks optreden, terwijl door de hoge ligging van de meetposities de bodemreflectie van minder belang is. Daarentegen treedt door de breedte van de afschermdende brugrand soms een dubbele diffractie op (zie figuur 10).



Figuur 10: De belangrijkste overdrachtspaden voor de situatie bij de trogliggerbrug te Diemen; links de paden, rechts de relatieve overdracht voor alleen dat pad.

3.3.3 vergelijking meet-rekenresultaten

In figuur 11 zijn voor de drie meetpunten de berekeningsresultaten weergegeven en vergeleken met de meetresultaten voor materieel 64. Weergegeven is het geluidrukniveauverschil D in octaafbanden tussen de troglijgerbrug en de aarden baan voor gelijke meetposities ten opzichte van BS. Bij deze berekeningen is geen verschil gemaakt in geluidproductie tengevolge van het verschil in railoplegging tussen aarden baan en brug.

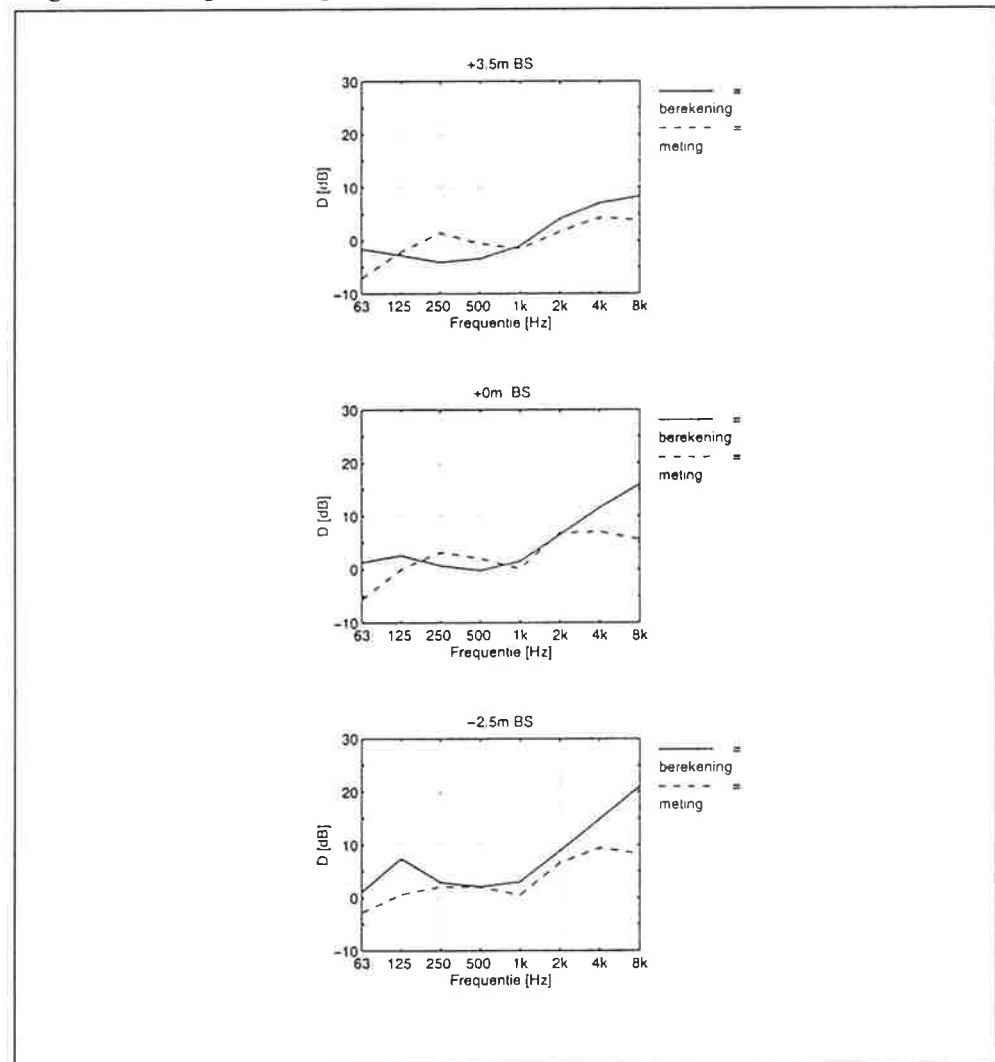


Figuur 11: Berekend en gemeten geluidrukniveauverschil D voor drie meetposities tussen een aarden baan en een troglijgerbrug; resultaten voor materieel 64.

Bij de laagste octaafbanden wordt veelal een negatief verschil gemeten (meer geluid bij de brug dan bij de aarden baan), hetgeen we niet terugvinden in de berekeningen. Dit is het gevolg van directe geluidafstraling door de brugconstructie, hetgeen in de berekeningen niet wordt meegenomen. Bij 1000 Hz en hoger wordt meestal een groter verschil berekend dan gemeten. Met name in dat frequentiegebied is een hogere geluidproductie te verwachten bij de regelbare railbevestiging op de brug ten opzichte van het spoor op houten

dwarsliggers op de aarden baan. Bij de lager gelegen waarneempunten wordt de trend wel weergegeven, maar treden ook bij lagere frequenties grotere verschillen op. De berekeningen komen hier lager te liggen als een enigszins andere modellering wordt gekozen voor de aarden baan ten aanzien van de ligging van de diffractierand. Voor deze lage posities is de modellering van de afscherpende taludrand vrij kritisch. De lage gemeten waarden bij de 8kHz octaafband worden vooral veroorzaakt door de invloed van stoorgeluid bij de metingen.

In figuur 12 is dezelfde vergelijking gemaakt voor materieel DDM, waarbij de wagonbodem lager is aangenomen.

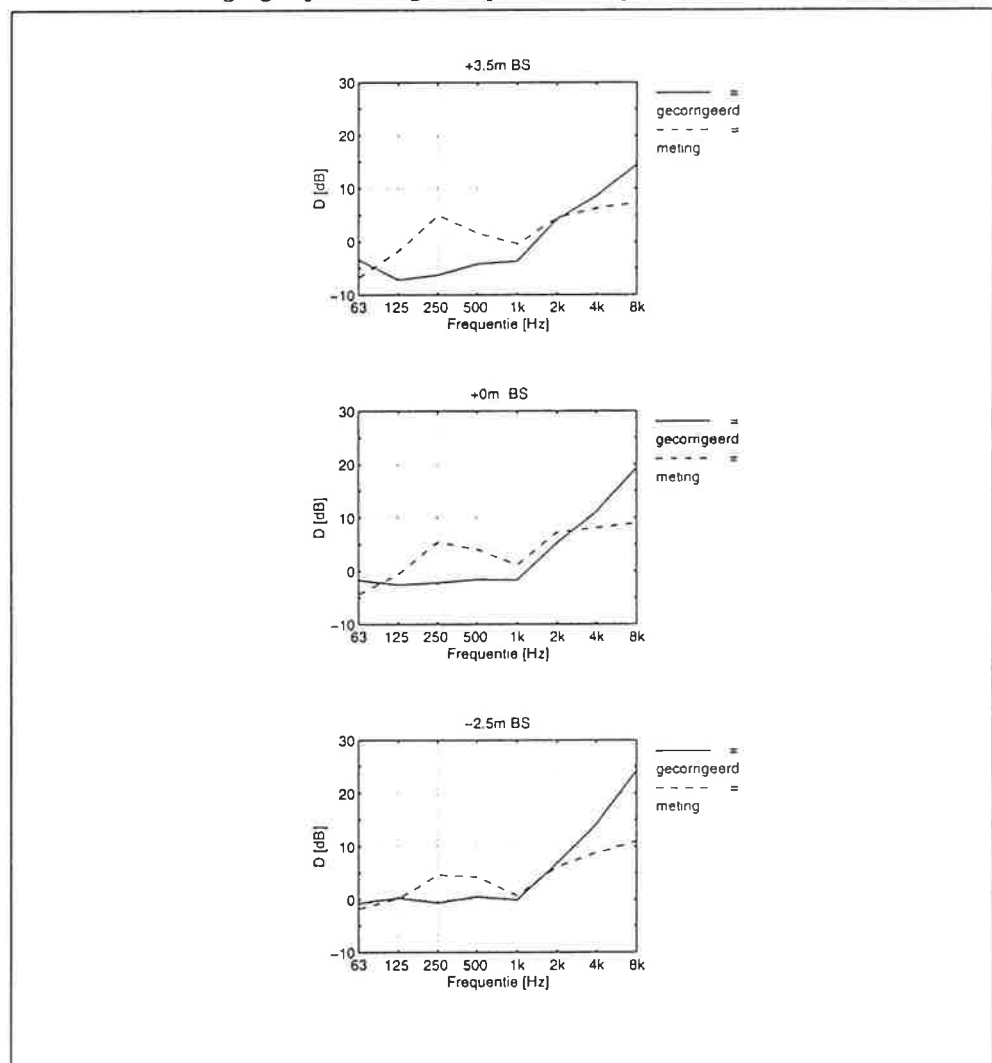


Figuur 12: Berekend en gemeten geluiddrukkniveauverschil D voor drie meetposities tussen een aarden baan en een troglijggerbrug; resultaten voor materieel DDM.

Hier vinden we over het algemeen een goede overeenstemming tussen meting en berekening, met uitzondering van de lage frequenties (brugafstraling) en de hoogste frequenties bij lage waarneempunten. Daarmee lijkt het verschil in meetresultaten van 1 à 2 dB tussen de beide materieeltypen in belangrijke mate te worden veroorzaakt door de lagere ligging van de wagonwanden, waardoor bij

dit materieel, in tegenstelling tot materieel 64, wel een bijdrage wordt geleverd door reflectie tussen brugwand en treinwagon.

In figuur 13 zijn de resultaten uit figuur 11, materieel 64, nogmaals weergegeven, waarbij nu het verschil in bovenbouwcorrectie tussen brug en aarden baan volgens SRM 2 is verwerkt. Geconcludeerd kan worden dat voor de hogere frequenties hiermee de overeenstemming tussen meting en berekening beter wordt, doch dat voor 500 Hz en lager de berekeningen nu veel te laag uitkomen. Blijkbaar is voor de trogliggerbrug de bovenbouwcorrectie voor directe railbevestiging bij deze lage frequenties te groot.



Figuur 13: Als figuur 11 met toepassing bij de berekeningen van het verschil in bovenbouwcorrectie volgens SRM 2.

Met het rekenmodel TOMAS wordt de overdracht via direct geluid, afgeschermd geluid (diffracties) en gereflecteerd geluid in rekening gebracht. Door de baanconstructie ontstaat onder de trein echter een vrij gesloten ruimte waarin meervoudige reflecties zouden kunnen optreden die niet met TOMAS in rekening (kunnen) worden gebracht. Een eventuele bijdrage van die meervoudige reflecties

zou kunnen worden geschat door de ruimte onder de trein als galmveld te beschouwen. Een globale berekening leert (zie bijlage B) dat dan de verbetering door de trogliggerbrug voor de hoge waarneemposities tot 6 à 9 dB zou worden beperkt. Gezien de meetresultaten lijkt dit een te pessimistische schatting van deze bijdrage.

Bij materieel 64 blijkt reflectie tussen brugwand en trein vrijwel geen bijdrage te leveren. Wel is de dubbele diffractie van belang en diffractie via de treinonderzijde. Dit ondersteunt de conclusie uit [4] dat de trogliggerbrug voor SRM 2 kan worden gemodelleerd als een absorberend stomp scherm met toepassing van de bovenbouwcorrectie voor directe railbevestiging ($bb=4$). De waarden voor de regelbare railbevestiging bij de lage frequenties lijken weliswaar te groot voor de toegenomen geluidproductie bij deze railbevestiging, maar dit compenseert in voldoende mate, in combinatie met de ligging van de bronlijnen in het hart van het spoor en niet ter plaatse van de wielen, de geringere afscherming door de brugrand bij lage frequenties. De veiligheid in deze benadering is blijkbaar nog voldoende om met deze modellering ook voor materieel DDM geluidrukniveaus te berekenen die gelijk of hoger zijn dan de meetresultaten.

3.4 Conclusies voor M-baan-modellering

De M-baan wordt akoestisch gekenmerkt door een constructie met beperkte hoogte op korte afstand van de treinen, resulterend in een vrij gesloten ruimte onder de trein van waaruit via meervoudige reflecties en diffracties geluid wordt uitgestraald. Door het toevoegen van extra geluidschermen kunnen meervoudige reflecties in nog versterkte mate optreden. Dit vertoont vrij veel overeenkomst met de situatie bij de trogliggerbrug. De voornaamste verschillen zijn dat de constructiewanden zich nog dichterbij de trein bevinden, de rails in ballastbed is gelegd en de constructiewanden absorberend kunnen worden uitgevoerd. Door het toevoegen van schermen op de M-baanconstructie ontstaat een situatie die ook overeenkomsten heeft met de situatie te Soest.

De M-baan kan dus voor TOMAS worden gemodelleerd als de trogliggerbrug, rekening houdend met de afwijkende afmetingen en het ballastbed. Bij toevoeging van een scherm op de M-baan moeten hieraan extra overdrachtspaden worden toegevoegd overeenkomstig de situatie te Soest.

De bijdrage van een eventueel galmveld onder de trein is moeilijk in absolute zin te berekenen. Op basis van de andere geometrie van de M-baan ten opzichte van de trogliggerbrug en rekening houdend met het ballastbed kan globaal worden berekend dat een galmveld bijdrage bij de M-baan ongeveer 10 dB geringer zal zijn dan bij de trogliggerbrug. Toevoeging van absorptie door de zijwanden van de M-baan absorberend uit te voeren heeft hierop vrijwel geen invloed meer. Er is dus enige voorzichtigheid geboden bij berekende niveaureducties voor de M-baan die meer dan deze waarde boven de niveaureductie bij de trogliggerbrug uitgaan.

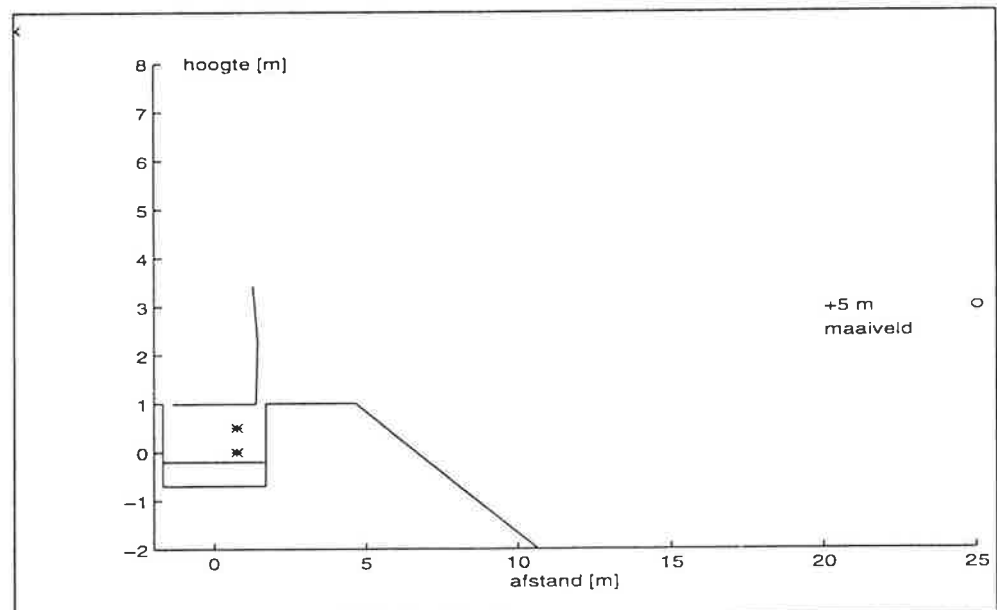
4 BEREKENINGEN M-BAAN

4.1 M-baan modellering

In figuur 14 is een doorsnede gegeven van de modellering voor het rekenmodel TOMAS van de M-baan zonder aanvullend geluidscherm. Berekeningen zijn uitgevoerd met BS op maaiveldhoogte en BS op 2 m boven maaiveld. Als referentiesituatie is, in alle gevallen, een aarden baan gekozen waarbij BS zich 2 m boven het maaiveld bevindt met een standaard talud. Maaiveld en ballastbed zijn hierbij op dezelfde wijze gemodelleerd als in 3.2.1 beschreven.

Voor een betere vergelijking met de troglijggerbrug zijn voor de eerste berekeningen de bronposities en de trein op dezelfde wijze gemodelleerd als in 3.2.1 beschreven voor materieel 64. De waarneempositie is hierbij 25 m uit het hart spoor gekozen op een hoogte van 5 m boven het maaiveld.

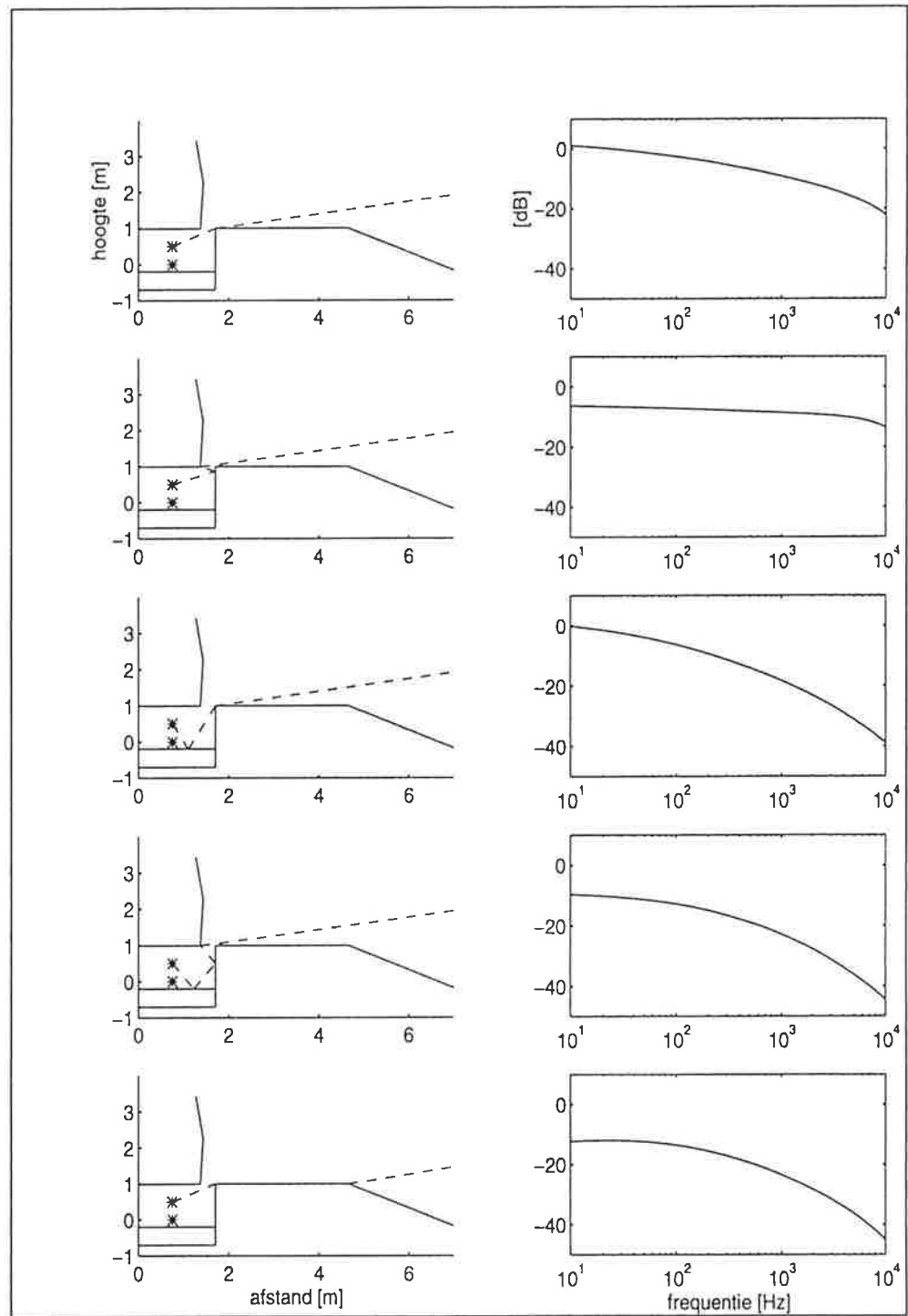
Bij verdere berekeningen wordt uitgegaan van goederenmaterieel, waarbij conform SRM 2 de bronsterkte gelijk wordt verdeeld over de beide bronposities. Als ontvangerposities worden hierbij afstanden van 25 m, 50m en 100m gehanteerd met een hoogte van 5 m boven maaiveld.



Figuur 14: Modelling voor TOMAS van de M-baan met trein, bronposities(*) en ontvangerpositie (o) bij maaiveld -2 m BS; afstands- en hoogtematen in m.

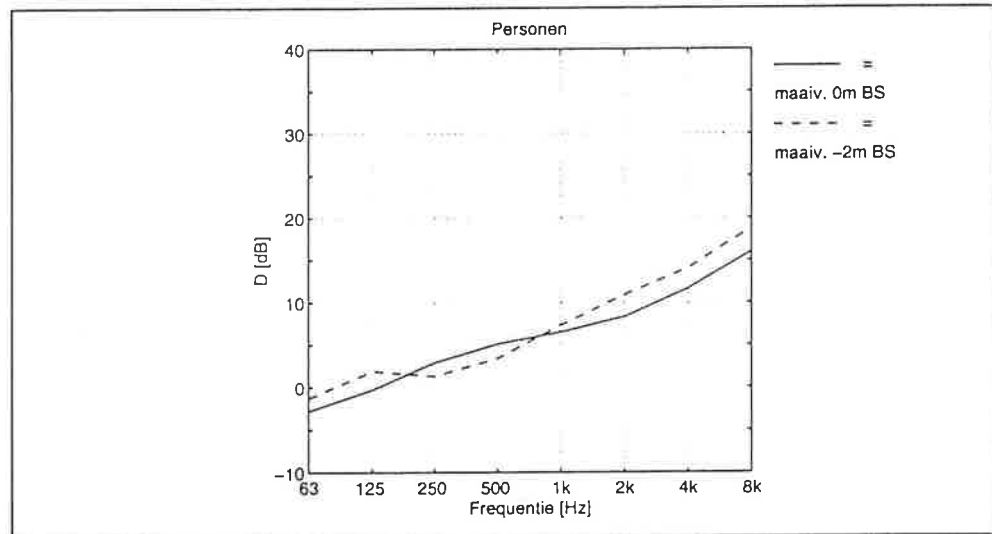
4.2 rekenresultaten TOMAS

In de situatie van figuur 14 blijken vooral de geluidpaden die één of twee diffracties ondervinden van belang, zowel direct vanaf de bron als na reflectie in het ballastbed en de constructiewand. Dubbele reflecties tussen constructiewand en trein kunnen niet optreden. De voornaamste paden zijn geïllustreerd in figuur 15.



Figuur 15: Illustratie van de belangrijkste geluidspaden bij de M-baan.

In figuur 16 zijn voor ontvangerposities op 25 m uit hart spoor de berekende resultaten gegeven voor materieel 64. De ontvangerpositie ligt in beide situaties voor de M-baan op 5 m ten opzichte van het maaiveld, hetgeen op 0 m BS en -2 m BS ligt. Als referentie is de aarden baan gekozen met de ontvangerpositie op dezelfde hoogte t.o.v. BS, dus resp. 7 m en 5 m boven het maaiveld op -2 m BS.

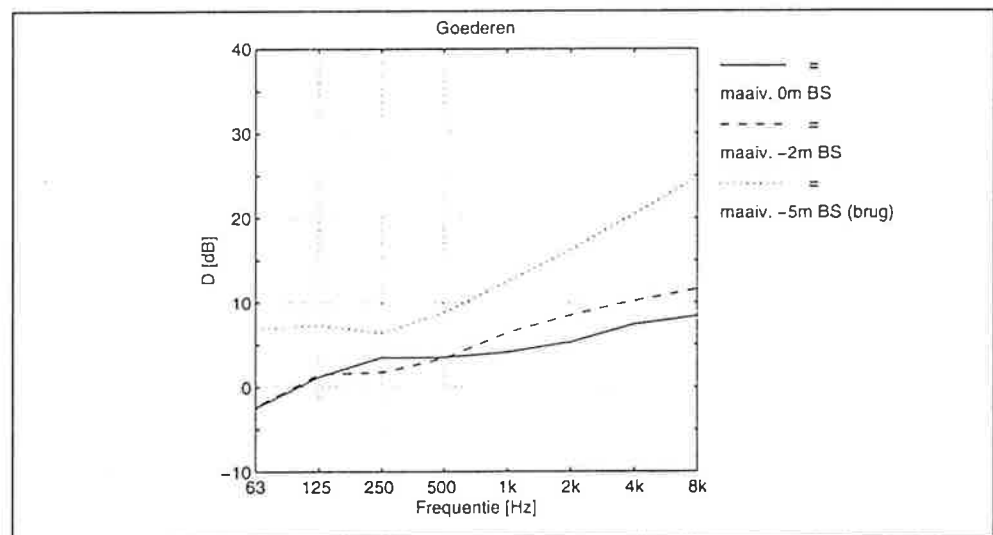


Figuur 16: Berekend geluidrukniveauverschil D tussen een positie bij de M-baan en een aarden baan; waarneemhoogte 5 m, afstand 25 m, personenmaterieel.

De geringere hoogte boven het maaiveld uit zich vooral bij de frequenties onder 1000 Hz. De hoogte van het waarneempunt ten opzichte van BS blijkt bepalend voor de hogere frequenties, onafhankelijk van de maaiveldhoogte. Vanaf 500 Hz blijkt de M-baan een duidelijk afschermdende werking te vertonen. Daaronder is het effect min of meer verwaarloosbaar, terwijl bij de laagste frequenties een verslechtering op kan treden.

Ten opzichte van de troglijgerbrug zet de afschermdende werking bij lagere frequenties in en is voor een vergelijkbare positie dan ca. 5 dB groter. Dit komt in orde van grootte overeen met hetgeen verwacht kan worden op basis van de verschillen in geometrie.

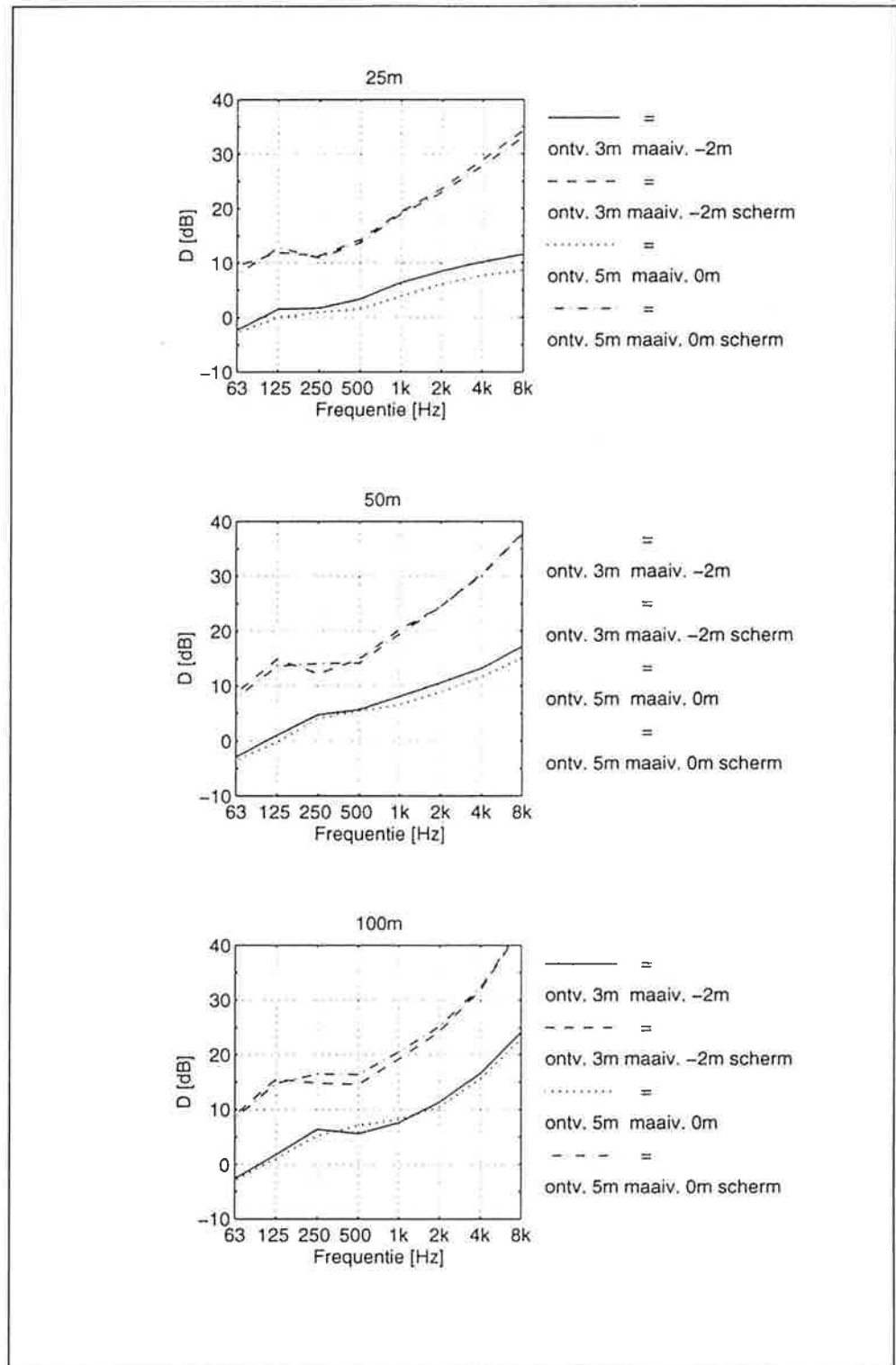
In figuur 17 zijn de rekenresultaten weergegeven voor goederenmaterieel. Daarbij is ook het resultaat gegeven voor een verhoogde ligging van de M-baan als brug met BS 5 m boven het maaiveld. Hierbij is als referentie de aarden baan gekozen met de ontvangerpositie op 5 m boven het maaiveld.



Figuur 17: Berekend geluidrukniveauverschil D tussen een positie bij de M-baan en een aarden baan; waarneemhoogte 5 m, afstand 25 m, goederenmaterieel.

De resultaten vertonen een vergelijkbaar beeld. Het grootste verschil met personenmaterieel is de wat geringere toename van het geluidrukniveauverschil naar de hogere frequenties, een logisch gevolg van de effectief hogere ligging van de bronnen.

In figuur 18 zijn de berekeningsresultaten gegeven voor de M-baan met goederentreinen voor waarneemposities op 5 m ten opzichte van het maaiveld voor drie afstanden. Weergegeven is het verschil in geluidrukniveau ten opzichte van een aarden baan met het maaiveld op -2 m BS en een ontvangerhoogte van 5 m boven het maaiveld. Hierbij zijn vier situaties onderscheiden, n.l. de M-baan met maaiveld op 0 m BS en -2m BS en diezelfde situaties met een aanvullend 2 m hoog reflecterend scherm op de M-baanconstructie op 4,15 m van hart spoor.



Figuur 18: Berekend geluidrukniveaueverschil D tussen een positie bij de M-baan en een aarden baan op drie afstanden; goederenmaterieel.

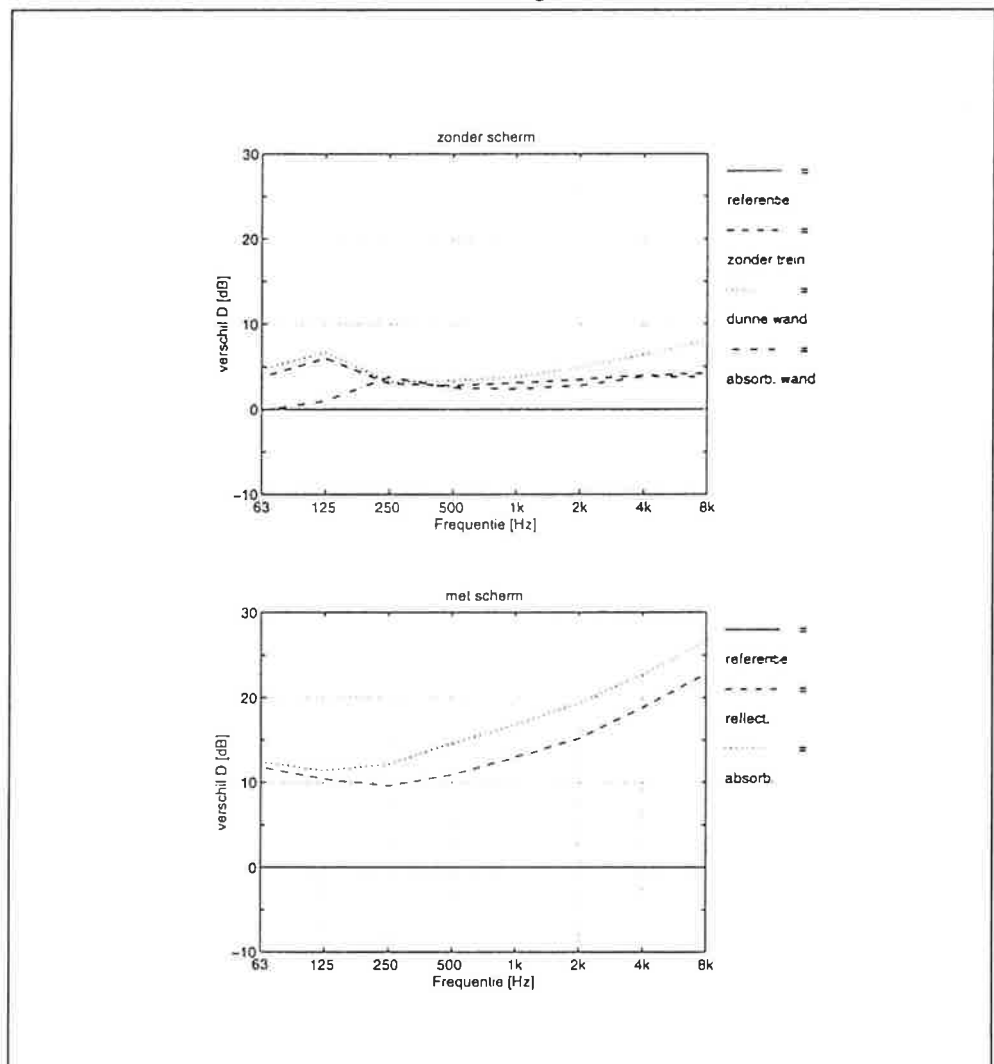
Ook op grotere afstanden zien we hetzelfde beeld als eerder besproken. De toevoeging van een scherm levert nog een verbetering van 10 dB of meer.

Er zijn aanvullende berekeningen gemaakt voor enkele variaties om meer inzicht te verkrijgen in een aantal aspecten. De resultaten zijn weergegeven in figuur 19 als de afname in het geluidrukniveau (verschil positief) voor de ontvangerpositie op 25 m ten opzichte van de resultaten van de M-baan zoals hiervoor (figuur 18).

Voor de M-baan zonder scherm zijn de volgende variaties berekend:

- zonder aanwezigheid van de trein;
- absorberende uitvoering van de zijwand;
- baanrand gemodelleerd als een dun scherm.

Voor de M-baan met scherm is diezelfde vergelijking gemaakt voor een absorberende en een reflecterende uitvoering van het scherm.



Figuur 19: Berekende afname van het geluidrukniveau voor enkele variaties bij de M-baan met en zonder scherm; referentie is de M-baan zonder scherm als hiervoor.

De aanwezigheid van de trein blijkt de afscherpende werking van de baanconstructie ongeveer 4 dB te verminderen, vrij onafhankelijk van de frequentie. Dit geeft tevens een indicatie van de variatie die op kan treden tengevolge van verschillen in het treinprofiel zoals die met name bij goederen-

materieel kan optreden. Benadering van de constructie als dun scherm geeft een verschil te zien van rond 5 dB, hetgeen duidelijk meer is dan het verschil tussen een stomp en een dun scherm volgens SRM 2.

Door het absorberend uitvoeren van de constructiewand wordt duidelijk een verbetering bereikt welke overeenkomt met het effect van de afwezigheid van de trein. Dit effect is deels het gevolg van enige invloed op de diffractie bij de rand van een wig met een absorberende zijde, maar veel belangrijker is het onderdrukken van de bijdrage via reflectie in de constructiewand en diffractie aan de trein-onderzijde. De invloed daarvan bedraagt ongeveer 2 tot 3 dB, maar is ook direct afhankelijk van het treinprofiel. Bij deze berekeningen is uitgegaan van 200 mm absorberend materiaal, resulterend in meer dan 80% absorptie voor 250 Hz en hoger. De genoemde positieve effecten treden dan ook pas op bij 250 Hz en hoger. Voor een laag absorberend materiaal van 50 mm zijn dezelfde effecten pas boven 500 Hz te verwachten.

Bij de situatie van een aanvullend scherm op de M-baan blijkt het absorberend uitvoeren van dat scherm in een verbetering te resulteren van 3 tot 4 dB. Hierbij is uitgegaan van 50 mm minerale wol voor het absorberende scherm.

4.3 schematisering voor SRM 2

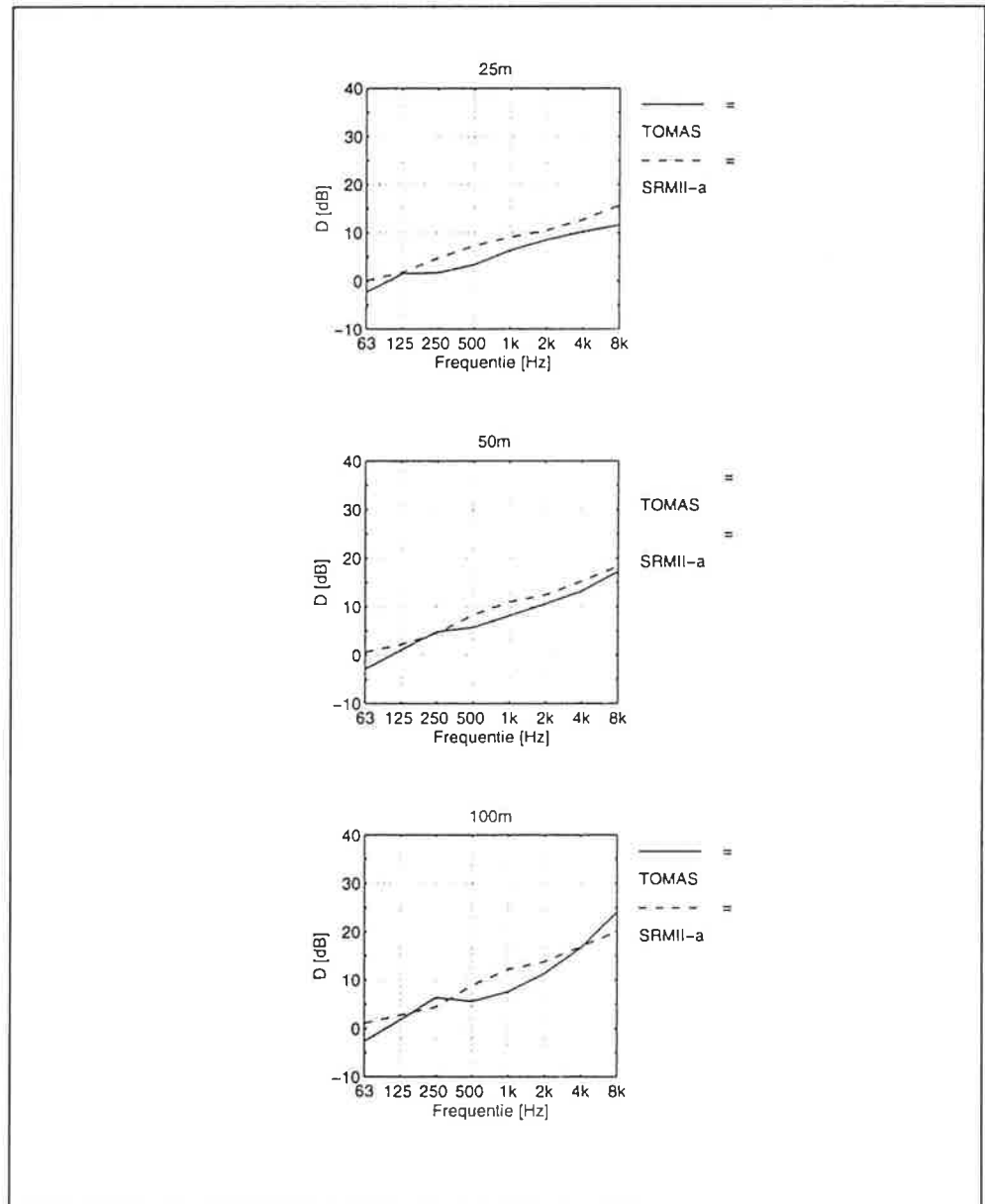
Op grond van de berekeningsresultaten kan een bruikbare schematisering voor SRM 2 van de M-baan in dezelfde lijn worden gezocht als die voor de trogliggerbrug: een schematisering van de constructiewand als absorberend stomp scherm met de bronlijn, zoals gebruikelijk, in het hart van het spoor. Mogelijk moet voor een voldoende beschrijving de profiel-correctieterm C_p daarbij een aangepaste waarde krijgen, eventueel afhankelijk van de uitvoering van de constructiewand.

Bij een aanvullend scherm op de M-baan is te verwachten dat bij een absorberende uitvoering de schematisering van dat scherm als een dun, absorberend scherm een voldoende beschrijving geeft. Ook dan kunnen eventuele verschillen door de M-baan constructie mogelijk in een aangepaste waarde voor de correctieterm worden verwerkt. Voor een reflecterende uitvoering van het scherm kan mogelijk naar een aangepaste effectieve schermhoogte worden gezocht.

De beste schematisering en aanpassing kan worden afgeleid door berekeningen volgens SRM 2 met een schematisering op deze wijze, te vergelijken met de berekeningen met TOMAS.

In figuur 20 zijn de berekeningen volgens TOMAS voor de M-baan zonder scherm (figuur 18) vergeleken met berekeningen volgens SRM 2, waarbij de gehanteerde schematisering is aangeduid als -a. In deze figuur is alleen gekeken naar de baanligging met BS op maaiveldhoogte.

De indicaties dat de effectieve bronhoogte bij goederenmaterieel groter is dan nu in SRM 2 wordt aangehouden, heeft geen wezenlijke invloed op de onderlinge vergelijking van TOMAS en SRM 2 omdat een andere hoogte voor beide modellen een gelijksoortig effect zal hebben. Een andere hoogte is natuurlijk wel relevant voor de omvang van de feitelijk bereikbare effecten met de M-baan.



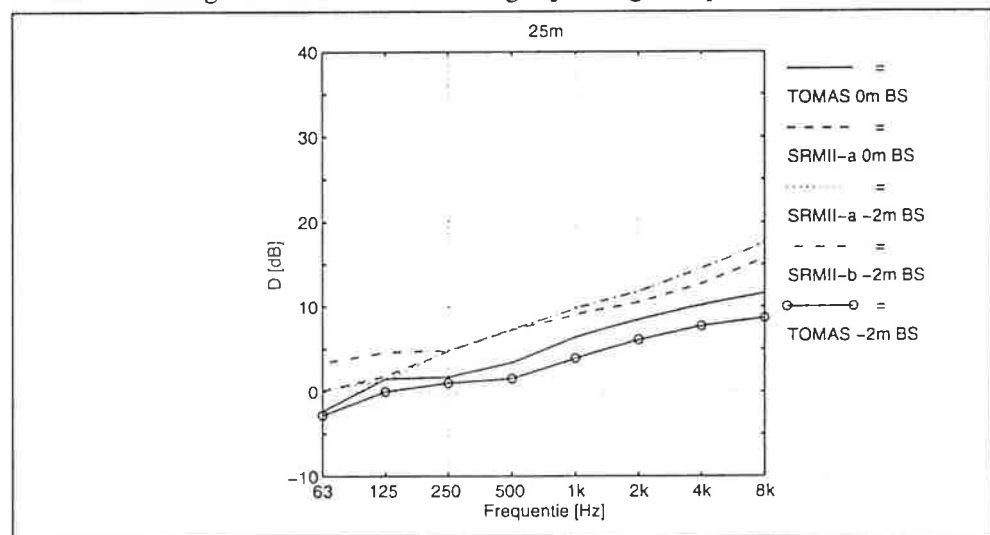
Figuur 20: Vergelijking voor de M-baan met BS op maaiveldhoogte tussen berekeningen volgens TOMAS en volgens SRM 2.

Uit deze vergelijking blijkt dat het effect van de M-baan met deze schematisering redelijk goed met SRM 2 wordt beschreven, maar dat nog een systematische overschatting van het effect optreedt. Dit sluit aan bij de eerdere constatering dat in deze situatie het verschil tussen de afschermdende constructierand en een dun scherm voor alle frequenties rond 5 dB ligt, terwijl bij de SRM 2 berekeningen

$C_p = 2$ dB is toegepast. Gezien de resultaten in figuur 20 zou een waarde voor de M-baan met harde zijwanden van $C_p = 5$ dB een goede beschrijving geven. Bij een vrijwel volledig absorberende uitvoering van de zijwanden is $C_p = 2$ dB adequaat.

De verschillen tussen de twee hoogteliggingen van de M-baan volgens TOMAS waren vrij gering. Dit blijkt ook bij de berekeningen volgens SRM 2; zie de vergelijking in figuur 21.

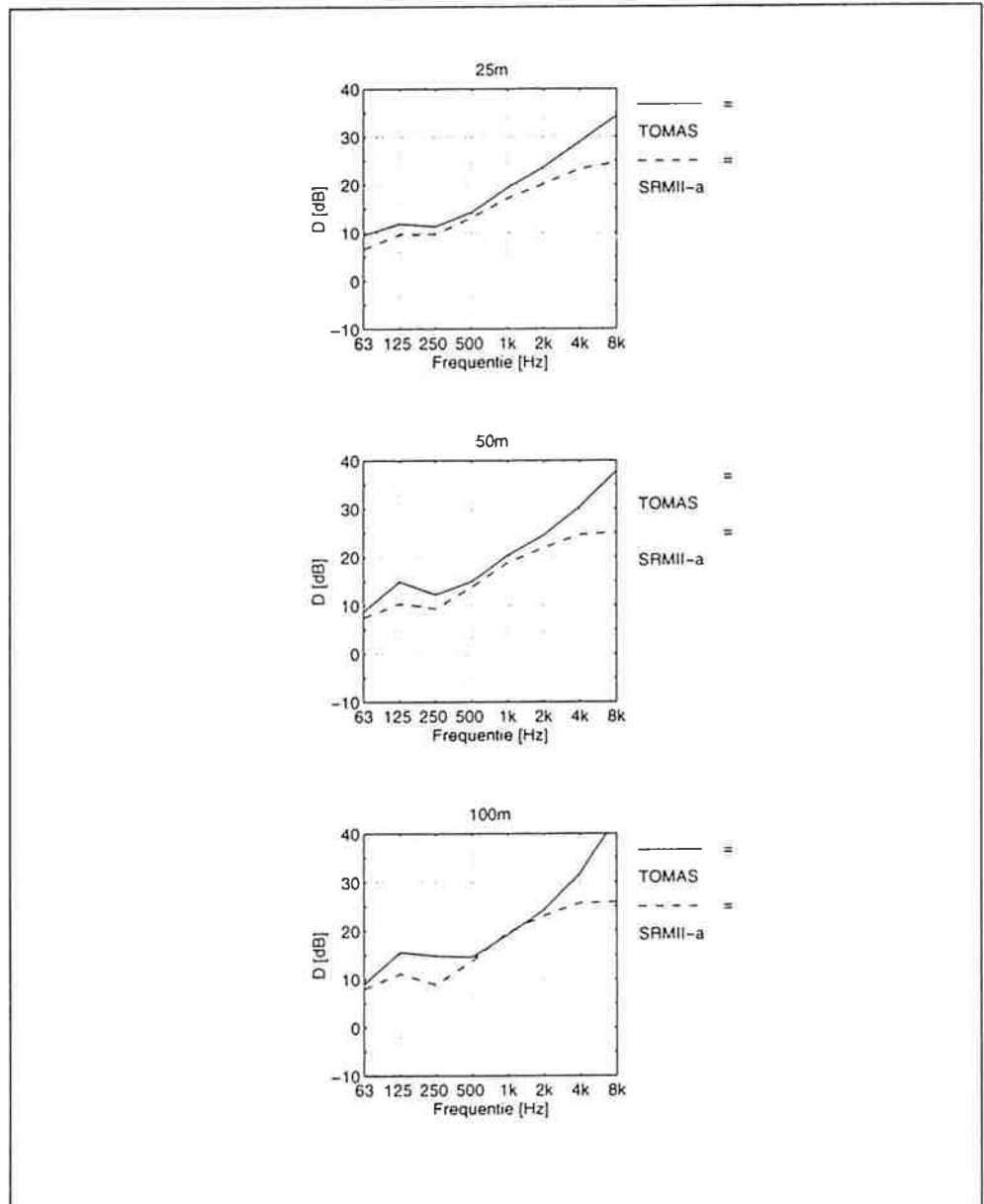
Volgens SRM 2 wordt de effectiviteit van een scherm bij lage frequenties aangepast als de schermhoogte ten opzichte van het maaiveld beperkt is. Bij de baanligging op maaiveldhoogte is de schermhoogte ten opzichte van het maaiveld 1 m en wordt die aanpassing toegepast. Bij de hogere baanligging wordt naar de schermhoogte ten opzichte van het maaiveld 3m en is die aanpassing niet meer relevant. Door bij de SRM schematisering beide randen van de constructie als scherm in te voeren en het plaatselijk maaiveld bij het binnenste scherm op de hoogte van het ballastbed te leggen, wordt gerekend met hetzelfde scherm, het binnenste, maar nu weer wel met de aanpassing voor lage frequenties. Deze schematisering is eveneens in het figuur weergegeven (SRM 2-b). De overeenstemming van deze schematisering bij de lage frequenties is beter.



Figuur 21: Vergelijking voor de M-baan met maaiveldhoogte op 0 m BS en -2 m BS tussen berekeningen volgens TOMAS en met twee schematiseringen volgens SRM 2.

In figuur 22 is dezelfde vergelijking als in figuur 20 gemaakt voor de M-baan met een aanvullend reflecterend scherm. De berekeningen volgens SRM 2 met een absorberend scherm vertonen een redelijke overeenstemming, waarbij het effect van het scherm altijd enigszins wordt onderschat. Bij de hoge frequenties wordt het verschil groot door de bij SRM 2 ingebouwde begrenzing van de afscherming op 25 dB. Zoals eerder aangegeven zou de afscherming met een absorberend scherm volgens TOMAS 3 tot 4 dB groter zijn.

Een gelijksoortige overeenstemming aan de veilige kant wordt eveneens verkregen bij de afscherming door een hoger gelegen M-baan (brug-situatie).



Figuur 22: Vergelijking voor de M-baan met aanvullend reflecterend scherm met BS op maaiveldhoogte tussen berekeningen volgens TOMAS en volgens SRM 2.

5 CONCLUSIES

De constructie van de M-baan resulteert door geluidafscherming in lagere geluiddruk niveaus dan een vergelijkbaar spoor op een aarden baan. Door de nabijheid van de constructie treedt een grote afscherming op welke echter deels weer wordt verminderd door de minder effectieve afscherming van een brede, stompe constructie en door extra diffracties aan de trein-onderzijde.

Met SRM 2 kan het effect van de M-baan goed worden berekend door de M-baan te schematiseren als twee (absorberende) schermen ter plaatse van de randen van de constructie, waarbij voor het binnenste scherm het ballastbed als maaiveldhoogte wordt aangemerkt. Voor de profiel-correctieterm van het binnenste scherm moet daarbij een waarde van $C_p = 5$ dB worden toegepast; als de zijwanden van de M-baan vrijwel volledig absorberend worden uitgevoerd is een waarde van $C_p = 2$ dB adequaat. De absorptie dient daartoe tenminste in het relevante frequentiegebied voor het geluidniveau in dB(A), en dus een breed frequentiegebied, groot te zijn. Toepassing van deze correctie-term in combinatie met de bronligging op hart spoor in plaats van bij de wielen, resulteert in voldoende vermindering van het afschermd effect van een dun scherm om de complexere overdracht bij de M-baan constructie te representeren.

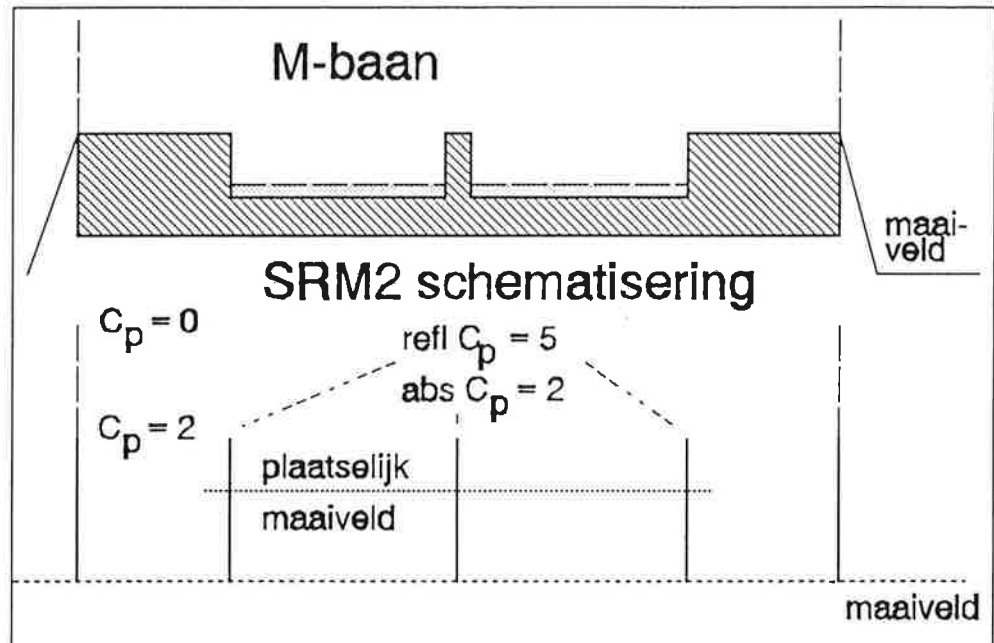
Ten opzichte van de aarden baan ligt de berekende niveauvermindering voor goederenmaterieel volgens de huidige bronbeschrijving rond 8 dB(A), hetgeen door een goede absorberende uitvoering nog tot maximaal 11 dB(A) kan worden verhoogd.

Bij toevoeging van een scherm op de rand van de M-baan constructie wordt aan het afschermd effect van de M-baan zelf nog afscherming toegevoegd. Bij een reflecterende uitvoering van dat scherm kan door dubbele reflecties tussen dat scherm en de treinwand deze extra afscherming weer worden verminderd.

Met SRM 2 kan het effect van een aanvullend reflecterend scherm redelijk veilig worden berekend door dat aanvullende scherm te schematiseren als een dun absorberend scherm ($C_p = 0$ dB). Binnen de huidige mogelijkheden van SRM 2 is een betere schematisering niet goed mogelijk, evenmin als het verwerken van het effect van een absorberende uitvoering van het scherm. Daartoe zou het rekenmodel moeten worden aangepast. Die aanpassing zou een andere behandeling van twee afschermd objecten behelzen in combinatie met een inpassing van reflecterende schermen.

Ten opzichte van de M-baan zonder scherm ligt de berekende niveauvermindering door het toevoegen van 2m hoge schermen voor goederenmaterieel volgens de huidige bronbeschrijving minimaal rond 10 dB(A).

In figuur 23 is de schematisering voor SRM 2 van de M-baan geïllustreerd



Figuur 23: Schematisering van de M-baan voor SRM 2, met en zonder aanvullend scherm.

Het onderzoek heeft tevens gegevens opgeleverd, die meer algemeen kunnen worden gebruikt om een aanpassing van SRM 2 op te stellen voor reflecterende schermen en constructies bij treinen. Daarbij kan gedacht worden aan een effectieve bronhoogte of effectieve schermhoogte, aangepast aan de mate van absorptie van het scherm.

TNO Technisch Fysische Dienst TU-Delft

Gerretsen

prof. ir. E. Gerretsen

LITERATUUR

- [1] Reken- en meetvoorschrift railverkeerslawaaï, Ministerie VROM, 1987.
- [2] Beschrijving TOMAS, intern TPD.
- [3] ir. P.H. de Vos, Geluidmetingen aan 16 geluidschermvarianten, NS-CTO rapport 1995 (concept)
- [4] ir. G. Janssen, De modellering en geluidemissietoelagen van betonnen bruggen voor SRMII railverkeerslawaaï; een voorstel op basis van metingen, NS-CTO rapport januari 1995.

BIJLAGE A Meetresultaten

Geluidabsorberend scherm 1,5m op 2,5 m; Soest [3]

materieel	positie r; h (m)	geluidniveau zonder-geluidniveau met scherm; octaafbanden en dB(A)								
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	A
Mat64	25;5	-1,9	3,4	6,0	8,4	10,3	13,1	14,1	10,9	11,5
	25;1	0,1	3,7	6,6	12,1	12,4	16,1	18,4	13,8	14,1
	100;5	6,1	9,5	6,4	8,3	13,0	15,7	18,2	14,9	13,2
Goederen	25;5	(26,1)	(20,9)	(15,0)	(11,1)	(8,8)	(8,9)	(9,3)	(8,7)	(9,1)
	25;1	3,9	4,2	8,3	11,0	10,9	13,2	14,9	11,8	11,3
	100;5	6,1	7,6	6,6	6,7	9,1	10,2	11,2	10,5	8,0

() meetresultaat lijkt onbetrouwbaar

Geluidreflecterend scherm 1,5m op 2,5 m; Soest [3]

materieel	positie r; h (m)	geluidniveau zonder-geluidniveau met scherm; octaafbanden en dB(A)								
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	A
Mat64	25;5	1,5	2,8	3,2	3,8	4,3	5,5	5,5	6,4	4,9
	25;1	1,2	4,0	3,2	5,9	7,3	9,2	11,6	11,1	8,2
	100;5	4,5	8,0	4,3	3,6	7,5	9,1	11,0	11,3	7,6
Goederen	25;5	-1,4	2,6	3,2	4,1	3,9	4,5	3,9	3,0	4,0
	25;1	1,6	3,7	1,9	5,6	5,5	7,0	8,0	7,0	5,7
	100;5	1,1	5,3	3,1	4,3	4,9	6,5	7,4	6,9	4,9

Troglijgerbrug Diemen [4]

materieel	positie r; h (m)	geluidniveau brug-geluidniveau aarden baan; octaafbanden en dB(A)								
		63 ¹⁾	125 ¹⁾	250	500	1k	2k	4k	8k ²⁾	A
Mat64	7,5;1,2	6,5	2,5	-5,1	-4,3	-2,9	-6,4	-6,7	-10,3	-4,6
	25; 3,5	6,8	1,8	-5,0	-1,6	0,4	-4,5	-6,3	-7,3	-1,9
	25; 0,0	4,4	0,6	-5,4	-4,1	-1,1	-7,3	-8,1	-9,0	-4,2
	25;-2,5	1,8	-0,1	-4,7	-4,3	-0,7	-6,1	-8,8	-10,9	-3,8
SGM	7,5;1,2	6,5	-4,5	-8,1	-3,7	-5,9	-8,2	-9,5	-6,3	-7,1
	25; 3,5	5,2	-3,2	-7,3	-1,4	-2,6	-5,3	-9,1	-6,9	-4,4
	25; 0,0	3,8	-4,4	-8,5	-4,6	-4,4	-9,6	-11,6	-10,1	-7,7
	25;-2,5	1,0	-4,8	-7,2	-4,9	-4,0	-8,9	-14,2	-12,8	-7,6
DDM	7,5;1,2	7,5	1,0	-3,3	-1,6	-1,4	-4,9	-5,2	-8,0	-3,4
	25; 3,5	7,1	2,1	-1,4	0,6	1,6	-1,7	-4,3	-3,8	-0,5
	25; 0,0	5,7	0,0	-3,2	-2,0	-0,1	-6,8	-7,0	-5,6	-4,1
	25;-2,5	2,8	-0,6	-2,1	-2,0	-0,5	-6,6	-9,4	-8,3	-4,1

¹⁾ resultaat beïnvloed door directe geluidafstraling van de brugconstructie.

²⁾ resultaat beïnvloed door stoorgeluid.

BIJLAGE B: Galmveld onder trein

Door de baanconstructie bij een trogliggerbrug en de M-baan ontstaat een vrij gesloten ruimte onder de trein. Via meervoudige reflecties kan hieruit geluid naar buiten dringen, vanaf de wielstellen en rail aan beide treinzijden, dat niet wordt meegenomen bij de overdrachtsmodellering met TOMAS.

Een globale benadering van deze bijdrage voor waarneemposities ruim boven de baanconstructie levert de volgende relaties.

$$\text{TOMAS: } L_p \approx \text{constante} - D_{\text{baan}}$$

$$\begin{aligned} \text{Galm} : L_p &\approx \text{constante} - 10 \lg \frac{A}{2S_o(1 - \bar{\alpha})^2} \\ &= \text{constante} - D_{\text{galm}} \end{aligned}$$

met:

$$A = \alpha_b S_b + 2S_o + 2\alpha_w S_w + \alpha_{tr} S_{tr}$$

Hierin is D_{baan} het met TOMAS berekende niveauverschil ten opzichte van de referentiesituatie, welke dus direct vergeleken kan worden met de laatste term voor het galmveld, D_{galm} . De oppervlakken S en absorptiecoëfficiënt α hebben resp. betrekking op het ballastbed (b), de opening (o) naast de trein, de wanden (w) van de baanconstructie en de treinonderzijde (tr).

Gaan we uit van 10% absorptie van alle harde vlakken en 50% voor de treinonderzijde (diverse verstrooiende obstakels) dan resulteert voor de trogliggerbug voor $D_{\text{galm}} = 6$ dB. Rekening houdend met enige absorptie door het ballast tussen de rails kan dat oplopen tot 9 dB.

Het met TOMAS berekende effect van de baanconstructie zou dus tot deze waarde beperkt kunnen worden door het galmveld. Gezien de meetresultaten lijkt dit een te pessimistische inschatting.

Voor de M-baan resulteert met dezelfde benadering een waarde van 17 dB, dus tenminste 8 dB gunstiger. Het absorberend maken van de zijwanden van de M-baan voegt hieraan niet veel meer toe.