

8

ARCHIEF

DS



adres Stieltjesweg 1  
2628 CK Delft  
postadres Postbus 155  
2600 AD Delft  
telefoon 015-788020  
telex 38091

No.: 307.864  
Afd.: Geluid  
Behandeld: ir. C.J.M. van Ruiten  
Meting en verwerking: J. van 't Hof  
Datum: 15 april 1983

## RAPPORT

OVERDRACHTSMETINGEN EN EMISSIE-  
VERGELIJKINGEN IN HET KADER VAN  
ICG-ONDERZOEK RL-04

AAN

Ministerie van Verkeer en Waterstaat  
Directoraat-generaal van het Verkeer  
Den Haag

SAMENVATTING

De invloed van de omgeving kan aanleiding geven tot overdrachtsverschillen bij de bepaling van de geluidemissie van treinen. Aan de hand van overdrachtsmetingen is het mogelijk om per meetlocatie voor deze verschillen te corrigeren. Een aantal van de overige factoren die van invloed zijn op de gemeten geluidemissie worden hier besproken zoals het type bovenbouwconstructie, de loopvlakwaliteiten en de niveautoename tijdens het remmen.

Aan de hand van deze gegevens worden de bronsterkten voor de rekenmethode railverkeer aangepast.

De overdrachtsmetingen en de emissievergelijkingen in dit onderzoek leveren een aantal aanwijzingen op voor verbetering van het emissiemeetvoorschrift. Eén ervan is het meten met een microfoon onder de trein. Er is aangetoond dat het geluidniveau onder de trein voldoende correleert met het geluidniveau dat op enige afstand van de trein wordt gemeten.

<u>INHOUD</u>	<u>Blz.</u>
1. INLEIDING	3
2. OPZET VAN HET ONDERZOEK	3
3. UITVOERING VAN HET ONDERZOEK	4
3.1 Meetmethode	4
3.2 Uitgevoerde metingen	5
4. MEETRESULTATEN	6
5. BESPREKING VAN DE MEETRESULTATEN	7
6. EMISSIEVERGELIJKINGEN	8
6.1 Bepaling van de geluidvermogens per draaistel	8
6.2 Invloed bovenbouwconstructie	9
6.3 Invloed van de kwaliteit van de wielloopvlakken	10
6.4 Remmetingen	11
6.5 Emissieverhoging tijdens het remmen	11
7. VERGELIJKING MET METINGEN ONDER DE TREIN	13
8. CONCLUSIES.	15
Literatuur	17

## 1. INLEIDING

Aanleiding tot dit onderzoek is de wens om de resultaten van emissiemetingen die in het kader van het ICG-onderzoek RL-04 zijn uitgevoerd te Papekop [1] en te Udenhout [2], [3] en [4] met elkaar te kunnen vergelijken.

De sterk afwijkende geometrie tussen de meetlocaties kan aanleiding geven tot verschillen in overdrachtsverzwakking en dus tot verschillen in de gemeten geluidniveaus. Een correctie kan worden uitgevoerd door de gemeten overdrachtsverzwakking in rekening te brengen.

Deze aanpak, die al eerder is gehanteerd [5], levert bronsterkten op die kunnen worden gebruikt als invoergegevens voor de standaardrekenmethode voor railverkeerslawaai.

Naast de beschrijving van de metingen gaat dit rapport in op de oorzaken van de optredende verschillen. Er wordt aandacht besteed aan de correlatie die bestaat tussen metingen langs de baan en onder de trein (zie ook [4]).

Er worden aanbevelingen gegeven voor reken- en meetmethoden.

## 2. OPZET VAN HET ONDERZOEK

De overdrachtsverzwakking wordt bepaald door de geometrie van het overdrachtspad en de akoestische eigenschappen van de bodem. De positie van de bron voor wiel/railgeluid is bij de rekenmethode railverkeerslawaai gekozen op de plaats van de wielen op de dichtstbijzijnde rail.

Bij de overdrachtsmetingen is uitgegaan van vier bronposities boven elkaar. Voor het rolgeluid werden drie bronhoogten gekozen op respectievelijk 0,05 m, 0,25 m en 0,5 m<sup>+</sup> BS (Bovenkant Spoor). De aanstoting bij het remgeluid vindt plaats bij de remblokken waarvoor twee bronhoogten op respectievelijk 0,25 m en 0,75 m<sup>+</sup> BS werden aangenomen. Deze aannamen over de bronposities van wiel/railgeluid zijn gebaseerd op onderzoek dat in het kader van ICG-project RL-04 [5] is uitgevoerd.

Als de bron- en ontvangerposities bekend zijn kan de overdrachtsverzwakking worden bepaald uit de vergelijking van het geluiddrukkniveau t.g.v. een kunstmatige bron (bijv. luidspreker) in de werkelijke situatie bij het gewenste overdrachtspad met een situatie waarbij het overdrachtspad in het "vrije veld" ligt dus zonder invloed van die bodem. De overdrachtsverzwakking  $D$  volgt dan uit:

$$D = L_{p_v} - L_p$$

waarin:  $L_{p_v}$  is het geluiddrukkniveau in het vrije veld.

$L_p$  het gemeten geluiddrukkniveau in het waarnemingspunt.

Uit meettechnische overwegingen zijn de metingen reciprook uitgevoerd d.w.z. de bron- en ontvangerposities zijn verwisseld. De op deze wijze gemeten overdrachtsverzwakking geldt dan voor het geluidpad van een puntbron naar een ontvangerpositie. Bij het wiel hebben we echter te maken met een bron waarvan de afmetingen niet verwaarloosbaar klein zijn t.o.v. de hoogte boven de bodem. De gemiddelde overdrachtsverzwakking voor het wiel kan als volgt uit de afzonderlijke metingen worden bepaald:

$$D_{\text{wiel}} = -10 \lg \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{-D_i/10}$$

waarin:  $D_i$  = de overdrachtsverzwakking bij puntbron  $i$

$n$  = het aantal puntbronnen waarmee het wiel wordt benaderd.

De inhomogene geluidafstraling van het wiel (zie [5]) wordt in rekening gebracht door de keuze van de bronposities boven elkaar.

Het maximale geluiddrukkniveau dat optreedt tijdens de passage van de trein is bepaald door de bijdragen van alle draaistellen. Door uit te gaan van puntbronnen op de plaatsen van de draaistellen zoals in figuur 1 is aangegeven, met de bijbehorende bronsterkte, overdrachtsverzwakking, richteffect en de afstand tot de microfoon is de totale overdrachtsverzwakking voor de trein bepaald.

De verschillende overdrachtsverzwakkingen worden in dit rapport gepresenteerd. De gemeten overdrachtsverzwakking voor puntbronnen is gebruikt om de invloed van de bronhoogte aan te geven.

De gemiddelde overdrachtsverzwakking van het gehele wiel is gebruikt om de overdrachtsverzwakking van de bron naar de verschillende waarneemposities te vergelijken. De vergelijking van de verschillende meetlocaties gebeurt aan de hand van de overdrachtsverzwakking van de gehele trein.

### 3. UITVOERING VAN HET ONDERZOEK

#### 3.1 Meetmethode

De metingen van de overdrachtsverzwakkingen zijn reciprook uitgevoerd, d.w.z. op de plaats waar tijdens de emissiemetingen de geluiddruk is gemeten werd een luidspreker opgesteld terwijl de microfoons boven de dichtstbijzijnde rail waren geplaatst. Deze reciproke meetmethode is vooral gekozen om overdrachtsverzwakkingen behorende bij wegen met een kleine bronhoogte te kunnen meten; de afmetingen van de luidspreker zijn daarvoor bij "directe" metingen te groot. De geluiddruk die de luidspreker in het vrije veld veroorzaakt was vooraf in een echovrije ruimte bepaald. De luidspreker is gevoed met roze ruis, de stroom door de luidspreker is tijdens alle metingen constant gehouden. Bij de ijking van de luidspreker in de echovrije ruimte en tijdens de metingen langs de spoorbaan is rekening gehouden met de richtingskarakteristiek van de luidspreker.

De geluiddruk is gemeten met condensatormicrofoons fabrikaat Brüel & Kjaer type 4165 met bijbehorende voorversterkers fabrikaat General Radio type 1560-P42.

De luidsprekerstroom en de door de microfoons afgegeven signalen zijn vastgelegd op magneetband met behulp van een tweesporige recorder fabrikaat Kudelski type Nagra IV SJ. Per meetpositie is een opname van één minuut gemaakt waarbij steeds op het achtergrondniveau is gelet.

Voor het begin van de metingen zijn ijksignalen op de band vastgelegd. De op de band opgenomen signalen zijn later in het laboratorium geanalyseerd in 1/3-octaaftanden. Hierbij is gebruik gemaakt van een "digital frequency analyzer" fabrikaat Brüel & Kjaer type 2131, die gekoppeld was aan een computer fabrikaat Hewlett & Packard type 9824 A.

### 3.2 Uitgevoerde metingen

De metingen zijn uitgevoerd op 20 oktober 1982 langs de spoorlijn Tilburg-'s-Hertogenbosch ter hoogte van Udenhout op dezelfde locaties die ook bij de emissiemetingen [3], [4] zijn gebruikt.

In figuur 2 zijn de meetplaatsen en in figuur 3 zijn de dwarsdoorsneden van de meetlocaties gegeven. Tabel 1 vermeldt de metingnummers met de bijbehorende bron- en ontvangerposities.

Tabel 1: Metingnummers (1 t/m 15) met bijbehorende bron- en ontvangerposities.

ontvangerposities			metingnummers		
locaties	afstand [m] tot spoor 1	hoogte [m] +BS	bronposities op spoor 1		
			┆	+ 25 m	+ 50 m
D	7,5	1,5	5	4	
	25	3,5	1	2	3
B	7,5	1,5	6		
	15	1,5	7		
	-	3,7	8		
	-	7	9		
	25	3,5	10	14	12
			bronposities op spoor 2		
	25	3,5	11	15	13

Tijdens de metingen waaide er een matige wind uit de richting ZZW met een windsnelheid van 5 à 8 m/s. Als gevolg van windgeluid bij de microfoons zijn bij een aantal metingen de resultaten in de 63 en 125 Hz-octaaftanden minder betrouwbaar.

4. MEETRESULTATEN

Alle gemeten overdrachtsverzwakkingen in 1/3-octaaftanden zijn vermeld in tabel 2. Voor twee metingen van respectievelijk spoor 1 en spoor 2 naar het 25 m - emissiemeetpunt zijn in figuur 4 tevens overdrachtsverzwakkingen voor 3 van de 4 bronposities weergegeven.

De gemiddelde overdrachtsverzwakking ( $D_{\text{wiel}}$ ), die uitgaat van drie even sterke puntbronnen op respectievelijk 0,05 m, 0,25 m en 0,5 m<sup>+</sup> BS, is voor een aantal waarneempunten in de figuren 5 en 6 weergegeven.

Bij het remgeluid ligt de bronhoogte hoger dan voor het rolgeluid. In figuur 7 wordt de overdrachtsverzwakking voor een puntbron op 0,75 m<sup>+</sup> BS gegeven bij verschillende waarneemhoogten. Figuur 8 geeft de gemiddelde overdrachtsverzwakking voor een remmend wiel weer waarbij is uitgegaan van twee even sterke puntbronnen op 0,25 m en 0,75 m<sup>+</sup> BS (zie hoofdstuk 2).

Bij de bepaling van de totale overdrachtsverzwakking voor de gehele sector waarbinnen de trein zich bevindt op het moment dat het maximum geluidniveau wordt bepaald is uitgegaan van even sterke puntbronnen op de plaats van de draaistellen (zie figuur 1). Om overeenstemming te hebben met de gemeten overdrachtsverzwakking te Papekop is uitgegaan van bronnen met gelijke uitstraling in alle richtingen in het horizontale vlak (monopolen).

Bij de rekenmethode voor railverkeerslawaai is gekozen voor bronnen met een dipoolachtig richtingseffect.

De overdrachtsverzwakking voor een gehele trein is berekend volgens:

$$D_{\text{trein}} = -10 \lg \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n 10^{-(D_i + 10 \lg 4\pi r_i^2)/10}}{\sum_{i=1}^n 4\pi r_i^2} \right\}$$

waarin:  $D_i$  = de overdrachtsverzwakking van een puntbron  $i$  op de plaats van een draaistel naar het waarneempunt.

$r_i$  = de afstand van bron  $i$  naar het waarneempunt.

$n$  = het aantal puntbronnen waarmee het totale rolgeluid van alle draaistellen wordt gekarakteriseerd.

Bij de bepaling van  $D_{\text{trein}}$  is uitgegaan van drie puntbronnen boven elkaar (0,05 m, 0,25 m en 0,5 m<sup>+</sup> BS) per draaistel. De op deze wijze bepaalde overdrachtsverzwakking is vergeleken met de op overeenkomstige wijze bepaalde verzwakking in Papekop (zie figuren 9 en 10).

## 5. BESPREKING VAN DE MEETRESULTATEN

Bij een aantal metingen is de overdrachtsverzwakking in de tertsbanden tot ca. 125 Hz onbetrouwbaar als gevolg van het windgeluid bij de microfoons. Het resultaat in de 8 kHz is beïnvloed door het optredende richteffect van de luidspreker bij hoge frequenties. Als gevolg van onvoldoende nauwkeurig richten van de luidspreker naar de microfoons is de overdrachtsverzwakking te hoog.

Ten einde de verschillen in de gemeten overdrachtsverzwakkingen te kunnen verklaren is het nodig om inzicht te verschaffen in de factoren die een rol spelen in de overdracht.

De overdrachtsverzwakking wordt bepaald door de invloed van reflecties tegen, verstrooiing door en absorptie van de bodem en de luchtabsorptie. Zo is het van belang te weten welk gedeelte van de bodem tussen bron en ontvanger een rol speelt in de geluidoverdracht. Bovendien moet dan bekend zijn wat het effect van de verschillende bodemtypen op het geluid is.

De interferentie tussen het directe geluid en het tegen de bodem gereflecteerde geluid bepaalt voornamelijk het beeld van de overdrachtsverzwakking. Dit is afhankelijk van de wijze waarop het geluid wordt gereflecteerd (verstrooiing, absorptie en fasedraaiing) en het weglengte-verschil tussen de directe en indirecte weg.

De plaats waar de reflectie tegen de bodem optreedt kan worden gevarieerd door de geometrie van de bron- en ontvangerposities t.o.v. de bodem te wijzigen. In figuur 4 is de invloed van het variëren van de bronhoogte zichtbaar en in figuur 7 van het variëren van de ontvangerhoogte.

Er wordt bij een spoorbaan onderscheid gemaakt wat betreft het type bodem tussen het ballastbed, het slakkenpad (akoestisch hard) en de omringende grasbodem (akoestisch zacht).

Uitgaande van de geometrie (zie figuur 3) kan verondersteld worden dat voor een aantal bronhoogten de reflecties op het slakkenpad vallen (0,05 en 0,25 m<sup>+</sup> BS op spoor 1). De overdrachtsverzwakking voor een bron op 0,75 m<sup>+</sup> BS wijkt sterk af omdat de reflectie tegen de bodem vermoedelijk in de droge bermsloot optreedt (figuur 4).

De resultaten voor spoor 2 zijn afwijkend omdat hier vermoedelijk reflecties optreden in het absorberende en geluidverstrooiende ballastbed. Ook de overdrachtsverzwakkingen in figuur 7 worden door reflecties op het slakkenpad beheerst. De vergelijking tussen het 7,5 m- en 25 m- meetpunt in figuur 5 toont aan dat er nauwelijks verschillen in de gemiddelde overdracht optreden zolang de geometrie zodanig gekozen is dat de reflecties op het slakkenpad vallen.



Tussen de overdrachtsverzwakkingen van respectievelijk spoor 1 en spoor 2 naar het 25 m - emissiemeetpunt treden wel verschillen op die het gevolg kunnen zijn van de invloed van het ballastbed op de geluidoverdracht vanaf spoor 2.

Uit de vergelijking tussen de metingen te Papekop en te Udenhout mag de conclusie getrokken worden dat de overdrachtsverzwakkingen voor treinen op spoor 1 weinig van elkaar verschillen wanneer de geometrie zodanig is dat de reflecties optreden op de spoorbaan en niet in het plaatselijk maaiveld. Uit figuur 10 blijkt dat dit laatste in Papekop wel het geval is geweest. In dit geval is de ligging van het spoor t.o.v. het maaiveld ter plaatse van invloed op de geluidoverdracht. De geometrie bij de spoorbaan te Papekop is in figuur 11 gegeven. Voor de emissiemetingen volgens het meetvoorschrift zou dit betekenen dat de invloed van de omgeving op het te meten geluidniveau beperkt kan worden tot de spoorbaan zelf door een juiste keuze van de ontvangerhoogte t.o.v. de Bovenkant Spoor en niet t.o.v. het maaiveld. Over de invloed van het ballastbed op de geluidoverdracht, vooral bij spoor 2, is nog weinig bekend.

In dit rapport wordt niet ingegaan op de overdrachtsmodellen die bij wegverkeers- en industrielawaai worden gehanteerd. Deze aspecten zullen naar aanleiding van deze metingen worden besproken in een aparte notitie t.b.v. de opstelling van de rekenmethode voor railverkeerslawaai.

## 6. EMISSIEVERGELIJKINGEN

### 6.1 Bepaling van de geluidvermogens per draaistel

Uitgaande van het maximum geluidniveau gemeten op 25 m afstand van de baan is het equivalente geluidvermogenniveau per draaistel bepaald.

Voor de overdrachtsverzwakking is uitgegaan van puntbronnen op  $0,25 \text{ m}^+ \text{ BS}$ . Per draaistel is één puntbron met een dipoolachtige richtingskarakteristiek in het horizontale vlak verondersteld. Het equivalente geluidvermogenniveau is bepaald volgens:

$$L_{ew} = L_{max} - 10 \lg \left\{ \sum_{i=1}^n 10^{-(D_i + 10 \lg 4 \pi r_i^2 - 10 \lg \cos^2 \phi_i) / 10} \right\}$$

hierin is  $L_{max}$  het maximale geluiddrukkniveau op het moment dat de trein midden voor de microfoon is;

$\phi_i$  de hoek tussen de as van het wielstel en de richting naar de microfoon.

De gevonden geluidvermogens per draaistel, bepaald in Papekop en Udenhout, zijn nu met elkaar vergelijkbaar onafhankelijk van de invloed van de omgeving op de resultaten.

Voor het bepalen van het geluidvermogen per draaistel tijdens het remmen is uitgegaan van het maximale geluiddrukkniveau gemeten op 15 m afstand van spoor 1. Er is verondersteld dat het geluiddrukkniveau wordt bepaald door de bijdrage van slechts twee draaistellen. De overdrachtsverzwakking gaat uit van twee puntbronnen per draaistel op respectievelijk 0,25 m en 0,75 m<sup>+</sup> BS.

## 6.2 Invloed bovenbouwconstructie

In Udenhout en Papekop zijn emissiemetingen uitgevoerd aan treinen van materieel 54 rijdend volgens de dienstregeling. Als er vanuit wordt gegaan dat de kwaliteit van de loopvlakken van de wielen van deze treinen te Udenhout en te Papekop gemiddeld gelijk zijn geweest dan zijn emissieverschillen toe te schrijven aan de bovenbouwconstructies en de loopvlakwaliteiten van de rails. Hierbij is verondersteld dat het wiel/railgeluid in het gehele frequentiegebied de belangrijkste bron is. In de vergelijking is een groot aantal treinen betrokken die over het gehele NS-net rijden.

In het algemeen is de spreiding in het maximum geluiddrukkniveau bij treinen van materieel 54 klein (< 2 dB).

De verschillen, die uit figuur 12 volgen zijn aanzienlijk groter en daarom significant te noemen voor de emissieverschillen t.g.v. de bovenbouwconstructie en de onderhoudstoestand daarvan.

In Udenhout hebben we te maken gehad met een spoor van railtype UIC 54 op betonnen dwarsliggers in ballast. Bij Papekop betrof het railtype NP 46 op houten dwarsliggers in ballast. De onderhoudstoestand van het spoor te Papekop was tijdens de metingen aanzienlijk slechter dan te Udenhout.

De geluidemissie bij houten dwarsliggers te Papekop is aanzienlijk hoger dan bij betonnen dwarsliggers te Udenhout. Vooral in het frequentiegebied tussen 500 en 1250 Hz, hier is de bijdrage van de rail groter dan die van het wiel (zie [5]), is het verschil groot. Er is geen onderscheid aan te geven tussen de invloed van de constructie en de invloed van de onderhoudstoestand. Om een indruk te geven van de significantie van deze verschillen voor de invloed van de bovenbouwconstructie is in figuur 13 een vergelijking in octaafbanden gemaakt met een overeenkomstige situatie [6].

In deze situatie zijn de verschillen bepaald bij dezelfde treinen rijdend op zowel een spoor op houten dwarsliggers als op beton.

### 6.3 Invloed van de kwaliteit van de wielloopvlakken

De emissiemetingen volgens het meetvoorschrift voor typekeuringen worden uitgevoerd aan geconditioneerde treinstellen. Dit betekent dat de wielbanden worden afgedraaid volgens een opgegeven profiel. Een vergelijking tussen meetresultaten van typekeuringmetingen en controlemetingen aan treinen rijdend volgens dienstregeling geeft duidelijke aanwijzingen voor de invloed van de loopvlak-kwaliteiten van de wielen op de geluidemissie (zie meetvoorschrift [7]).

Door het afdraaien van de wielen neemt de ruwheid af die verantwoordelijk is voor de aanstoting van wiel/railgeluid en dan zal in de meeste gevallen de ruwheid van het railloopvlak bepalend worden.

Bij de emissiemetingen te Udenhout is op één locatie zowel aan typekeuringstreinen als aan dienstregelingstreinen gemeten [2], [3]. In figuur 14 is het maximale geluiddrukkniveau tijdens de passage van de typekeuringstrein materieel 54 en materieel 64 vergeleken met die van dienstregelingstreinen van materieel 54 onder overeenkomstige bedrijfsomstandigheden. Uit emissiemetingen te Papekop [1] is gebleken dat de geluidemissie van materieel 54 en 64 in de praktijk onderling weinig verschillen. Omdat er in Udenhout geen materieel 64-treinen volgens dienstregeling passeerden is een vergelijking gemaakt met materieel 54.

De verschillen die in dezelfde figuur zijn weergegeven zijn gecorrigeerd met 1 dB voor de invloed van de lengte van de trein.

Wat opvalt bij de vergelijking van materieel 54 met materieel 64 onder geconditioneerde omstandigheden is het grote verschil in het frequentiegebied tussen 1 en 2 kHz.

De hogere geluidemissie bij materieel 64 kan waarschijnlijk toegeschreven worden aan een golfslijtage (polychronisatie) op het wielloopvlak die is ontstaan tijdens de remproeven die met deze meettreinen zijn uitgevoerd.

Deze frequenties komen overeen met een golfslijtage waarvan de afmetingen ca. 15 cm bedragen (golflengte 30 cm). De betekenis hiervan voor typekeuringmetingen is dat de geluidemissie sterk afhankelijk wordt van wat er met de trein na het afdraaien van de wielen doch vóór de meting gebeurt (remmen, beschadigingen door de rail etc.).

Na het afdraaien neemt de ruwheid zeer snel toe tot de uiteindelijke ruwheid wordt bereikt die uitsluitend nog wordt verslechterd door grote beschadigingen zoals vlakke plaatsen. De invloed van het remsysteem (blok- of schijfgeremd) is hierbij van grote betekenis.

Er is nog geen verklaring te geven voor het feit dat de golfslijtage uitsluitend bij materieel 64 optreedt. Wel moet vermeld worden dat de remblokken bij materieel 64 zijn opgedeeld in een aantal kleinere blokken zgn. multi-remblokken.

Er wordt uitvoerig onderzoek gepleegd bij de NS naar het ontstaan van golf-slijtage op de wielen bij de toepassing van bepaalde remsystemen.

#### 6.4 Remmetingen

De meetresultaten van deze metingen zijn weergegeven in een meetrapport [4]. Eén van de vragen hierbij was welk richteffect loodrecht op de baan in het verticale vlak bij de geluidemissie van een remmende trein verwacht mag worden. Daartoe is op 15 m afstand van het hart van spoor 1 op vier verschillende hoogten het maximale geluiddrukkniveau tijdens de passage van één bepaald draaistel gemeten. Door de invloed van de overdracht uit de geluiddruk te verwijderen is een juiste vergelijking van geluidemissie in verschillende richtingen mogelijk. Met de aanpak beschreven in hoofdstuk 6 zijn de geluidvermogen-niveaus per draaistel bepaald die in drie verschillende richtingen worden uitgestraald. In figuur 15 en 16 worden respectievelijk de bronniveaus van materieel 54 bij bedrijfsremming en snelremming weergegeven. De overdrachtsverzwakking in dB(A) is voor de drie richtingen ongeveer gelijk afgezien van verschillen in de verzwakking door de geometrische uitbreiding. Deze bedragen maximaal 1 dB(A). In de figuren worden slechts voor frequenties onder ca. 500 Hz significante verschillen waargenomen tussen de drie richtingen. In onderstaande tabel worden de niveaus met elkaar vergeleken voor twee belangrijke frequentiebanden.

Tabel 3: Richteffect in de geluidemissie bij remmende treinen in  $L_{ew}$  (re 1 pW).

vert. hoek t.o.v. wielas in graden	250 Hz				400 Hz			
	bedrijfsremming		snelremming		bedrijfsremming		snelremming	
	$L_{ew}$	$\Delta L_{ew}$	$L_{ew}$	$\Delta L_{ew}$	$L_{ew}$	$\Delta L_{ew}$	$L_{ew}$	$\Delta L_{ew}$
5°	113	-3	115	0	114	-3	117	-2
15° (referentie)	116	*	115	*	117	*	119	*
30°	110	-6	113	-2	112	-5	113	-6

Deze frequenties komen overeen met twee axiale eigentrilvormen van het wiel [5]. Het blijkt dat in de referentierichting die overeenkomt met de richting bij emissiemetingen volgens het meetvoorschrift de meeste geluidafstraling plaatsvindt.

#### 6.5 Emissieverhoging tijdens het remmen

Het afremmen bij materieel 54 en 64 gebeurt d.m.v. remblokken die op de loopvlakken van het wiel worden gedrukt. Door de wrijvingskrachten tussen de remblokken en de wielband worden beide delen aangestoten en stralen vervolgens extra geluid af naast het reeds aanwezige rolgeluid.

De grootte van deze wrijvingskrachten worden onder andere bepaald door de ruwheid van de loopvlakken, die tevens een maat is voor de aanstootkrachten van het rolgeluid in het wiel/railkontaktvlak. Daarnaast is de ruwheid van de van de remblokken en de aangebrachte remdruk bepalend voor de wrijvingskracht. Om een indruk te krijgen van de invloed van het remmen op de geluidemissie is van de typekeuringstreinen het emissieverschil bepaald volgens:

$$\Delta L_{\max}(\text{remmen}) = L_{\max}(\text{remmen, 60 km/u}) - L_{\max}(\text{typekeuring, 80 km/u}) + \beta \lg \frac{80}{60}$$

hierbij is  $\beta$  de regressiecoëfficiënt die de invloed van de snelheid op het rolgeluid weergeeft. Deze coëfficiënt is afhankelijk van de frequentie en varieert tussen 0 en +30 (zie [6]).

De metingen van het maximale geluiddrukkniveau zijn uitgevoerd op twee verschillende meetlokaties maar aan dezelfde trein [3], [4]. Ook de bronhoogten verschillen bij de beide bedrijfsomstandigheden. De fout die we maken door de overdrachtsverzwakking buiten beschouwing te laten is klein t.o.v. de verschillen in de emissie.

In figuur 17 is zowel het emissieverschil bij materieel 54 en materieel64 t.o.v. de typekeuringsmetingen gegeven als ook het verschil bij materieel 54 volgens dienstregeling gemeten bij een ander onderzoek [6]. De bovenbouwconstructie was in beide situaties van hetzelfde type.

Allereerst valt op dat het verschil tussen 54 en 64 bij typekeuringscondities niet correspondeert met het verschil tussen de typekeuringsresultaten bij constante snelheid (vergelijk figuur 17 met 14). In onderstaande tabel wordt dit nader geïllustreerd.

Tabel 4: Overzicht van de maximale geluidniveaus gemeten op 25 m afstand van spoor 1. De niveaus zijn gecorrigeerd naar snelheden van 100 km/u.

materieel	conditie	lokatie	maximaal geluidniveau in dB(A)	
			rolgeluid	remgeluid
materieel 54	} typekeuring	Udenhout,	78	89
materieel 64		spoor 1	81	87
materieel 54	} dienstregeling	Abcoude,	81	86
materieel 64		spoor 2	81	84

Hieruit kan de conclusie getrokken worden dat tijdens het remmen het maximale geluidniveau nauwelijks afhankelijk is van het niveau tijdens het rollen van dezelfde trein (het remgeluid overheerst dus).

Hierbij is rekening gehouden met een niveauverschil tussen treinen op spoor 1 en spoor 2 van ca. 2 dB(A).

De aanstoting van het wiel tijdens het remmen wordt boven ca. 500 Hz (zie figuur 17) volledig overgenomen door de wrijvingskrachten die de remvertraging van een 0,5 m/s<sup>2</sup> opleveren.

Als de grootte van de wrijvingskrachten afhangt van de ruwheid van de wiel-loopvlakken die voor het rolgeluid van belang zijn, dan zou dit betekenen dat bij gladdere loopvlakken bij typekeuringstreinen een grotere remdruk moet worden toegepast dan bij dienstregelingstreinen.

Hierbij is het nog de vraag of de soort ruwheid die voor het rolgeluid van belang is ook van belang is voor de grootte van de wrijvingskrachten.

Uit figuur 17 is af te leiden dat de toename van de geluidemissie tijdens het remmen afhankelijk is van de ruwheid van de loopvlakken van wiel en rail.

Het remgeluid kan slechts worden verminderd door vermindering van de geluidafstraling van het wiel en de remblokken of door toepassing van een ander remsysteem waarbij de aanstoting van het wiel wordt vermeden (schijfremmen).

#### 7. VERGELIJKING MET METINGEN ONDER DE TREIN

In het ICG-onderzoek RL-04 [4] is een vergelijking gemaakt tussen de metingen op enige afstand langs de baan en de geluidmetingen onder de trein. Hoewel er een redelijke correlatie aangetoond kon worden bleven er enige onzekerheden bestaan t.g.v. de onbekende overdrachtsverzwakking.

De in de figuren 15 en 16 gegeven geluidvermogen niveaus per draaistel, bepaald uit metingen op 15 m afstand, werden nu ook bepaald uit metingen onder de trein bij dezelfde omstandigheden en op hetzelfde tijdstip gemeten als langs de baan. Voor de berekening van het geluidvermogen niveau uit het geluiddruk niveau onder de trein wordt gebruikt gemaakt van de aanpak die in bovengenoemd onderzoek [4] is gebruikt.

Volgens deze aanpak zoals gebruikt wordt in de "Handleiding meten en rekenen industrielawaai" (IL-HR-13-01) kan het gemeten geluidniveau onder de trein benaderd worden door:

$$L_{p_o} = L_w + DI_o - D'_{geo} - D_{refl} + \Delta L_{stoor, drst}$$

waarin:  $L_w$  = bronvermogen niveau bepaald door bijdragen van het wiel waarbij de microfoon bevestigd is en door dat wiel aangestoten railtrillingen

- $DI_0$  = richtingsindex voor richtingsafhankelijke geluidafstraling  
( $DI \approx -2$  dB) (zie figuur 18)
- $D'_{geo}$  = afname van het geluidniveau door geometrische uitbreiding.  
Het wiel kan echter op deze afstand nog niet als puntbron beschouwd worden waarvoor een correctie wordt aangenomen  
( $D'_{geo} \approx 10 \lg 4 \pi r_0^2 - 2$ )
- $r_0$  = afstand van microfoon tot de bron ( $r_0 \approx 0,5$  m)
- $D_{refl}$  = afname door reflecties tegen de onderkant van de trein;  
we schatten  $D_{refl} \approx -2$  à  $-3$  dB
- $\Delta L_{stoor, drst}$  = verzamelterm voor de extra bijdrage van andere bronnen dan het ene wiel zoals andere wielen, overige draaistellen, aerodynamisch geluid (fluiten e.d.) en stromingsgeluid in de microfoon (turbulenties e.d.).

Als het op deze wijze verkregen geluidvermogen per wiel wordt vergeleken met het langs de baan bepaalde geluidvermogen per draaistel dan volgt hieruit in hoeverre de metingen onder de trein representatief zijn voor het geluid dat op enige afstand van de trein wordt waargenomen.

Als het geluidvermogen per draaistel wordt bepaald door het geluid dat afkomstig is van twee wielen dan volgt:

$$L_{ew} = L_w + 3 \text{ dB}$$

De bijdrage van andere wielen tot het gemeten geluidrukniveau onder de trein wordt geschat op ca. 1 dB. Het equivalente geluidvermogeniveau per draaistel wordt als volgt uit het geluidrukniveau onder de trein bepaald:

$$L_{ew} = L_{p_0} + 5 \text{ dB}$$

In de figuren 19 t/m 21 zijn per bedrijfstoestand van materieel 54 de op verschillende wijze bepaalde geluidvermogeniveaus per draaistel weergegeven. Het geluidvermogeniveau is bepaald volgens de methode beschreven in hoofdstuk 6.1. Voor frequenties hoger dan ca. 500 Hz lijken de meetresultaten onder de trein goed te correleren met die van metingen langs de baan.

De kleine verschillen zijn toe te schrijven aan onnauwkeurigheden bij de schatting van een aantal frequentie-afhankelijke termen zoals  $D_{refl}$  en  $\Delta L_{stoor}$ . Bij alle bedrijfstoestanden waarbij deze vergelijkingen zijn gemaakt treden grote verschillen op tussen 125 en 500 Hz.

Deze zijn waarschijnlijk vooral toe te schrijven aan de richtingsafhankelijke geluidafstraling van het wiel: voornamelijk in asrichting, en nauwelijks in de richting van de positie van de microfoon onder de trein (zie figuur 18).

Bij frequenties onder ca. 125 Hz is de bijdrage van het windgeluid niet meer verwaarloosbaar t.o.v. de bijdrage van wiel/railgeluid en kan daarom aanleiding geven tot fouten.

Op basis van deze resultaten zou geconcludeerd mogen worden dat geluidmetingen onder de trein voldoende representatief zijn voor het geluid dat op enige afstand van de trein wordt waargenomen. Hierbij wordt verondersteld dat het betreffende draaistel voldoende tot het geluidniveau buiten de trein bijdraagt.

De invloed van het sterke richteffect van de wielen voor frequenties onder ca. 500 Hz kan worden verkleind door de microfoon onder de trein onder een kleinere hoek t.o.v. de wielas te plaatsen. Bovendien is het aan te bevelen om de bijdrage van twee wielen te meten in het midden tussen een wielstel. Hierbij worden geen grote verschillen tussen beide wielen verondersteld.

Uit vergelijking van de resultaten bij bedrijfs- en snelremming blijkt dat de verschillen reproduceerbaar zijn.

De verschillen tussen de twee op verschillende wijze bepaalde bronniveaus bij rijden met constante snelheid van 80 km/u wijken af van de verschillen bij het remgeluid.

Dit is toe te schrijven aan de gewijzigde aanstoting tijdens het remmen.

Langs de baan is het niveau t.g.v. rolgeluid bij frequenties tussen 500 en 1250 Hz bepaald door de geluidafstraling van de rail [5]. Onder de trein zal de bijdrage van de rail veel kleiner zijn, hetgeen een lager bronniveau betekent. Bij het remgeluid zijn uitsluitend het wiel en de remblokken van belang voor het geluiddrukkniveau.

## 8. CONCLUSIES

Op basis van dit onderzoek kunnen een aantal conclusies getrokken worden die betrekking hebben op het emissiemeetvoorschrift en de standaard rekenmethode Railverkeerslawaai:

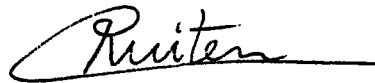
- De equivalente geluidvermogens per draaistel die zijn bepaald uit emissiemetingen en overdrachtsmetingen te Papekop en Udenhout zijn nogal verschillend,
- Deze verschillen zijn voornamelijk toe te schrijven aan de bovenbouwconstructie en de onderhoudstoestand van het spoor,
- Verschillen in de bovenbouwconstructie geven aanleiding tot verschillen in de geluidemissie van ca. 3 dB(A). Spoor op betonnen dwarsliggers blijkt een lagere emissie op te leveren dan spoor op houten dwarsliggers,



- De wrijvingskrachten tussen de remblokken en het loopvlak van het wiel zijn volledig bepalend voor de aanstoting van het remgeluid voor frequenties boven ca. 500 Hz. Het geluidniveau tijdens het remmen blijkt nauwelijks samen te hangen met het geluidniveau t.g.v. rolgeluid,
- Bij geconditioneerde treinen (typekeuring) kan de geluidemissie na het afdraaien van de wielen zeer snel veranderen als gevolg van het ruwer worden van de wielloopvlakken tijdens het rollen en remmen. Dit geldt vooral voor de blokgeremde treinen,
- Geluidmetingen onder de trein zijn voor frequenties boven ca. 400 Hz voldoende representatief voor het geluid dat buiten de trein wordt waargenomen,
- De invloed van het ballastbed op de geluidoverdracht is nog onvoldoende bekend. In het kader van ander onderzoek zal hier aandacht aan moeten worden besteed.

Delft, 15 april 1983

Technisch Fysische Dienst



ir. C.J.M. van Ruiten

EH

Literatuur

- [1] C.J.M. van Ruiten e.a., "Meting van de geluidemissie van treinen te Papekop", TPD-rapport 907.793, december 1979
- [2] C.J. Sangers, "Geluidemissiemetingen van dienstregeling- en posttreinen op het baanvak Tilburg-Den Bosch" M+P-rapportnr. VD.79.1.2, januari 1982
- [3] C.J. Sangers, "Typekeuringsmetingen van geluidemissie van treinen - onderzoekproject RL-04", M+P-rapport nr. VD-79.1.1, april 1982,
- [4] S. Riemens, e.a., "Geluidonderzoek aan NS-materieel-remmetingen". Van Dorsser-rapport nr. 1762 A, april 1982
- [5] C.J.M. van Ruiten, "Studie van het rolgeluid van NS-reizigersmaterieel ICG-project RL-04", ICG-rapport RL-HR-04-01, september 1982
- [6] C.J.M. van Ruiten, "Onderzoek aan treingeluid nabij stations ICG-project RL-11", TPD-rapport 207.861, oktober 1982
- [7] Voorschrift voor het meten van de geluidemissie van railvoertuigen", ICG-rapport RL-HR-01-01, december 1977

Tabel 2a: Gemeten overdrachtsverzwakking in tertsbanden

bronpositie spoor 1, loodrecht - ontvangerpositie : lokatie D, 7,5 m afstand 1,3 m<sup>+</sup>  
BS

band	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
	38	39	40																					
0,05 m <sup>+</sup>	BS -3 -1	-11 -1	-12 -1	-16	-13	-7	-4	-4	-3	2	0	0	-1	-2	1	0	1	-3	-5	-1	-3	-1	0	-2
0,25 m <sup>+</sup>	BS -7 2	-13 3	-13 3	-17	-14	-8	-5	-4	-2	2	-1	0	0	1	0	-2	-4	-1	-6	1	-3	0	-1	-1
0,50 m <sup>+</sup>	BS -10 0	-22 1	-23 1	-25	-21	-14	-11	-9	-4	-2	-2	0	3	-1	-5	-1	3	-4	-2	-2	-2	0	-1	-2
0,75 m <sup>+</sup>	BS -13 2	-22 2	-22 4	-24	-21	-13	-10	-7	-2	-2	0	2	0	-5	-5	3	-2	-2	-4	-2	-3	-1	-1	-2

bronpositie: spoor 1, 25 m uit lood

0,05 m <sup>+</sup>	BS -24 -1	-25 2	-22 5	-22	-19	-13	-8	-4	1	5	8	3	0	1	1	1	5	2	-2	1	-1	-2	-4	-4
0,25 m <sup>+</sup>	BS -27 3	-29 3	-24 4	-24	-20	-14	-8	-5	1	7	5	2	-1	-1	0	3	5	0	-4	-2	-3	-1	-1	0
0,50 m <sup>+</sup>	BS -37 0	-30 0	-34 1	-32	-28	-20	-15	-9	-1	4	1	-1	-2	-1	2	3	3	-2	-5	-2	0	0	-1	-1
0,75 m <sup>+</sup>	BS -31 0	-30 0	-34 1	-31	-27	-19	-13	-7	0	3	-1	-2	-1	0	0	4	-1	-3	-5	2	-2	-2	-1	-2

bronpositie: spoor 1, loodrecht - ontvangerpositie: lokatie D, 25 m afstand 1,3 m<sup>+</sup>  
BS

band	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
	38	39	40																					
0,05 m <sup>+</sup>	BS -20 1	-21 1	-18 2	-20	-19	-12	-8	-5	-3	4	2	4	1	-2	-1	2	3	-1	-7	-2	-2	-1	-1	-1
0,25 m <sup>+</sup>	BS -20 3	-29 4	-23 5	-23	-20	-12	-9	-7	-3	3	1	3	1	-2	-1	1	0	-3	-4	0	-2	-1	0	0
0,50 m <sup>+</sup>	BS -38 1	-38 1	-33 2	-31	-28	-19	-16	-12	-5	-1	-1	2	1	-2	-2	0	-2	-4	-1	-3	-1	-1	-1	-1
0,75 m <sup>+</sup>	BS -34 1	-38 2	-32 3	-31	-28	-18	-15	-11	-4	-1	1	3	1	-3	-4	-3	0	1	-4	1	-2	0	-1	-1

bronpositie: spoor 1, 25 m uit lood

0,05 m <sup>+</sup>	BS -20 3	-30 5	-20 7	-25	-22	-15	-9	-6	-1	6	8	5	2	-2	0	3	4	3	-1	-1	-3	-2	-2	-1
0,25 m <sup>+</sup>	BS -34 4	-34 5	-29 7	-29	-24	-16	-10	-7	-2	5	6	5	0	-2	0	2	5	0	-4	2	-1	1	1	1
0,50 m <sup>+</sup>	BS -43 2	-42 2	-38 4	-36	-31	-23	-18	-12	-4	1	3	3	0	0	0	2	1	-2	-2	2	-2	1	0	0
0,75 m <sup>+</sup>	BS -39 2	-42 3	-39 4	-35	-31	-22	-16	-11	-4	1	3	4	2	-1	-1	-1	-1	-1	-2	0	0	0	-1	1

bronpositie spoor 1, 50 uit lood

0,05 m <sup>+</sup>	BS -34 7	-36 11	-31 13	-31	-20	-18	-12	-7	-3	4	6	3	4	1	0	2	4	3	1	2	-1	0	-1	0
0,25 m <sup>+</sup>	BS -36 8	-37 11	-32 13	-33	-28	-20	-14	-9	-3	4	4	3	3	1	1	2	3	1	-2	1	0	2	1	3
0,50 m <sup>+</sup>	BS -49 6	-48 9	-44 11	-42	-36	-28	-22	-16	-8	-1	-1	0	1	-1	0	2	2	-1	-2	2	0	2	1	1
0,75 m <sup>+</sup>	BS -44 7	-48 9	-44 11	-42	-37	-28	-21	-10	-8	-2	-1	1	1	-2	0	0	0	-1	-1	0	0	2	2	2

Tabel 2b: Gemeten overdrachtsverzwakkingen in tertsbanden.

bronpositie: spoor 1, loodrecht - ontvangerpositie: lokatie B; 7,5 m afstand 1,3 m<sup>+</sup>BS

band	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
	38	39	40																					
0,05 m <sup>+</sup> BS	-10 -1	-14 -1	-12 -1	-16	-14	-7	-1	-1	-3	-3	-4	0	1	-2	0	1	1	-2	-5	0	-5	1	0	-1
0,25 m <sup>+</sup> BS	-14 2	-15 3	-15 3	-16	-14	-7	-1	-2	-3	-3	-4	1	1	0	2	0	-3	-2	-5	-1	0	0	-1	-1
0,50 m <sup>+</sup> BS	-27 0	-26 1	-25 1	-25	-21	-13	-5	-7	-7	-6	-4	5	1	0	-3	-3	1	0	-1	-1	0	-1	-1	-3
0,75 m <sup>+</sup> BS	-21 2	-26 4	-25 5	-25	-22	-12	-7	-7	-6	-4	0	6	-2	-4	-5	2	0	-3	-3	1	-1	0	1	0

ontvangerpositie: lokatie B; 15 m afstand; 1,5 m<sup>+</sup>BS

0,05 m <sup>+</sup> BS	-20 1	-22 1	-19 0	-19	-16	-11	-5	-4	-2	1	-1	1	2	0	-1	-1	1	0	-5	-2	-4	-1	-1	-1
0,25 m <sup>+</sup> BS	-24 2	-27 3	-21 4	-21	-17	-11	-6	-5	-3	0	-1	1	2	1	-1	0	-2	-3	-5	-1	0	-1	0	0
0,50 m <sup>+</sup> BS	-37 1	-37 1	-33 2	-31	-25	-18	-13	-11	-7	-3	-3	1	2	1	-1	-2	-1	-4	0	0	-3	0	0	-1
0,75 m <sup>+</sup> BS	-36 1	-36 2	-35 3	-32	-27	-18	-13	-11	-6	-2	-1	3	2	0	-3	-4	-3	2	-3	1	-1	1	0	0

ontvangerpositie: lokatie B; 15 m afstand; 3,5 m<sup>+</sup>BS

0,05 m <sup>+</sup> BS	-19 1	-21 1	-20 0	-20	-16	-12	-6	-3	-1	1	-2	-2	-3	-3	0	0	1	-2	-6	-2	-6	0	-1	-1
0,25 m <sup>+</sup> BS	-25 2	-25 3	-22 3	-21	-17	-12	-6	-4	-2	1	-2	-2	-2	0	1	0	-3	-2	-6	0	-1	0	-1	0
0,50 m <sup>+</sup> BS	-38 0	-38 0	-34 0	-31	-25	-19	-13	-9	-4	-1	-2	-1	2	0	-5	-3	1	-1	-2	-1	-2	-1	0	-2
0,75 m <sup>+</sup> BS	-32 1	-35 1	-32 2	-29	-24	-17	-11	-7	-1	1	0	1	-1	-4	-4	3	-2	-2	-3	1	-1	0	0	0

ontvangerpositie: lokatie B; 15 m afstand; 7 m<sup>+</sup>BS

0,05 m <sup>+</sup> BS	-16 0	-22 -1	-16 -1	-18	-16	-8	-5	-3	-3	-3	-2	3	0	-4	-3	2	0	-6	-7	-2	-3	1	2	0
0,25 m <sup>+</sup> BS	-23 2	-25 3	-19 4	-20	-17	-9	-5	-4	-6	-3	1	4	-1	-3	0	-2	-3	-2	-5	-2	-2	-1	0	0
0,50 m <sup>+</sup> BS	-34 1	-35 2	-31 2	-28	-24	-15	-11	-9	-8	-1	5	-2	-5	-4	-1	-1	1	-5	-5	-1	-2	0	-1	-1
0,75 m <sup>+</sup> BS	-28 1	-34 2	-28 3	-27	-23	-13	-9	-7	-4	4	-2	-5	-4	1	-3	1	-1	-2	-4	-1	-2	-2	-1	-1

Tabel 2c: Gemeten overdrachtsverzwakkingen in tertsbanden.

bronpositie: spoor 1; loodrecht - ontvangerpositie: lokatie B; 25 m afstand 3,5 m<sup>+</sup>BS

band	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
	38	39	40																					
0,05 m <sup>+</sup> BS	-22 <sub>2</sub>	-23 <sub>1</sub>	-23 <sub>1</sub>	-20	-17	-15	-7	-4	-3	0	-1	0	0	-1	-3	-1	1	-2	-6	-3	-5	-2	-1	0
0,25 m <sup>+</sup> BS	-25 <sub>2</sub>	-27 <sub>3</sub>	-26 <sub>4</sub>	-21	-18	-16	-7	-5	-3	-1	-1	0	0	0	-2	0	-1	-3	-6	0	-2	-2	0	0
0,50 m <sup>+</sup> BS	-27 <sub>1</sub>	-27 <sub>1</sub>	-36 <sub>2</sub>	-30	-26	-23	-14	-10	-7	-3	-2	0	1	-1	-3	-2	-3	-4	-2	-3	-2	-2	-1	-1
0,75 m <sup>+</sup> BS	-30 <sub>1</sub>	-35 <sub>1</sub>	-34 <sub>2</sub>	-29	-25	-21	-13	-9	-5	-1	0	3	0	-2	-5	-3	1	0	-2	0	-2	0	0	-1

bronpositie: spoor 1, 25 m uit lood

0,05 m <sup>+</sup> BS	-21 <sub>3</sub>	-23 <sub>4</sub>	-26 <sub>5</sub>	-21	-18	-14	-7	-5	-4	-1	3	5	2	-2	-5	-3	-1	1	-2	-2	-5	-5	-3	-1
0,25 m <sup>+</sup> BS	-19 <sub>4</sub>	-22 <sub>5</sub>	-27 <sub>6</sub>	-21	-18	-14	-8	-6	-4	-1	3	5	2	-2	-4	-2	1	0	-4	-3	-5	0	0	0
0,50 m <sup>+</sup> BS	-35 <sub>2</sub>	-34 <sub>2</sub>	-37 <sub>3</sub>	-30	-25	-21	-15	-12	-8	-3	1	4	2	-3	-5	-3	0	-1	-5	-1	-2	-2	0	-1
0,75 m <sup>+</sup> BS	-27 <sub>2</sub>	-32 <sub>3</sub>	-36 <sub>4</sub>	-29	-25	-20	-14	-12	-8	-2	2	6	1	-4	-6	-4	-2	0	-5	-1	-2	0	0	0

bronpositie: spoor 1, 50 m uit lood

0,05 m <sup>+</sup> BS	-27 <sub>5</sub>	-29 <sub>8</sub>	-25 <sub>11</sub>	-26	-25	-17	-9	-6	-1	3	7	7	4	1	0	1	2	0	1	4	-1	-1	0	-1
0,25 m <sup>+</sup> BS	-33 <sub>7</sub>	-35 <sub>10</sub>	-30 <sub>13</sub>	-30	-26	-18	-11	-7	-3	2	6	5	4	0	-1	0	0	0	-2	1	-1	2	3	3
0,50 m <sup>+</sup> BS	-42 <sub>5</sub>	-42 <sub>8</sub>	-38 <sub>10</sub>	-37	-34	-25	-17	-12	-6	0	5	5	3	-2	-1	1	0	-3	0	3	1	2	2	1
0,75 m <sup>+</sup> BS	-39 <sub>5</sub>	-44 <sub>8</sub>	-40 <sub>10</sub>	-37	-35	-24	-16	-12	-5	1	5	5	2	-2	-3	-1	0	0	1	1	0	2	2	2

bronpositie: spoor 2, loodrecht

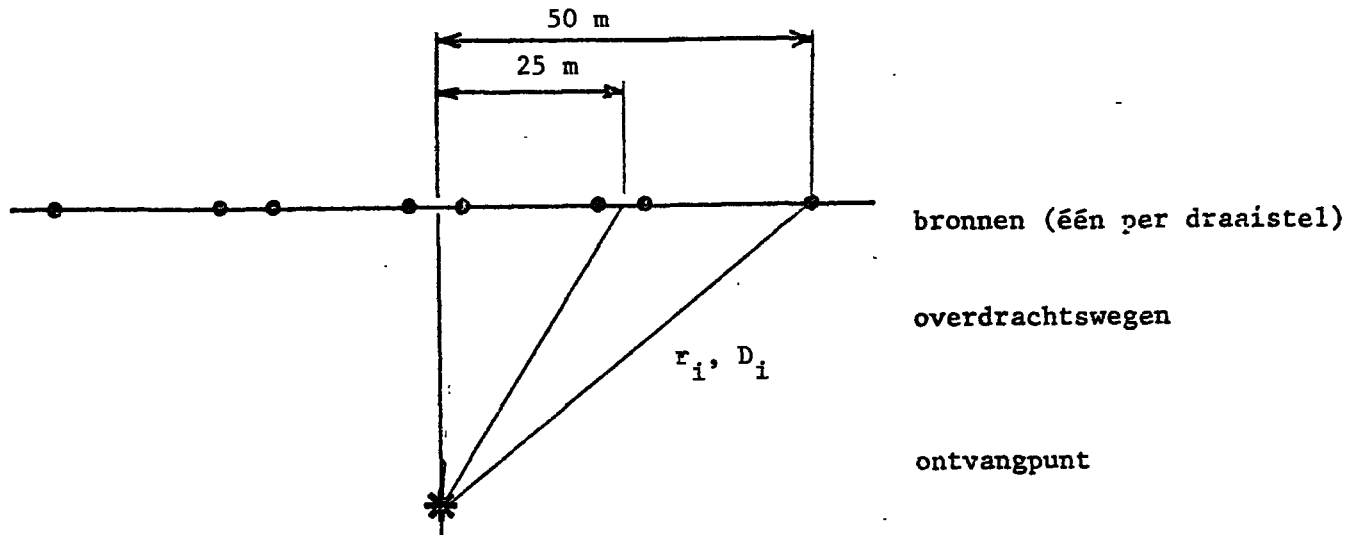
band	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
	38	39	40																					
0,05 m <sup>+</sup> BS	-21 <sub>0</sub>	-23 <sub>0</sub>	-20 <sub>1</sub>	-22	-20	-15	-9	-5	0	3	3	2	2	2	2	3	5	1	-4	0	-3	-1	-2	-1
0,25 m <sup>+</sup> BS	-25 <sub>3</sub>	-26 <sub>4</sub>	-23 <sub>5</sub>	-24	-21	-15	-9	-6	-1	3	1	1	3	3	1	3	0	-2	-5	-2	-4	-3	-1	0
0,50 m <sup>+</sup> BS	-36 <sub>1</sub>	-37 <sub>1</sub>	-34 <sub>2</sub>	-32	-23	-22	-16	-10	-3	-1	-2	1	3	1	-2	-1	-2	-5	-4	0	-1	-1	0	-1
0,75 m <sup>+</sup> BS	-32 <sub>1</sub>	-36 <sub>2</sub>	-33 <sub>3</sub>	-31	-28	-21	-14	-9	-3	-2	-2	3	2	-1	-4	-3	-3	-2	-1	0	-2	0	0	0

bronpositie: spoor 2, 25 m uit lood

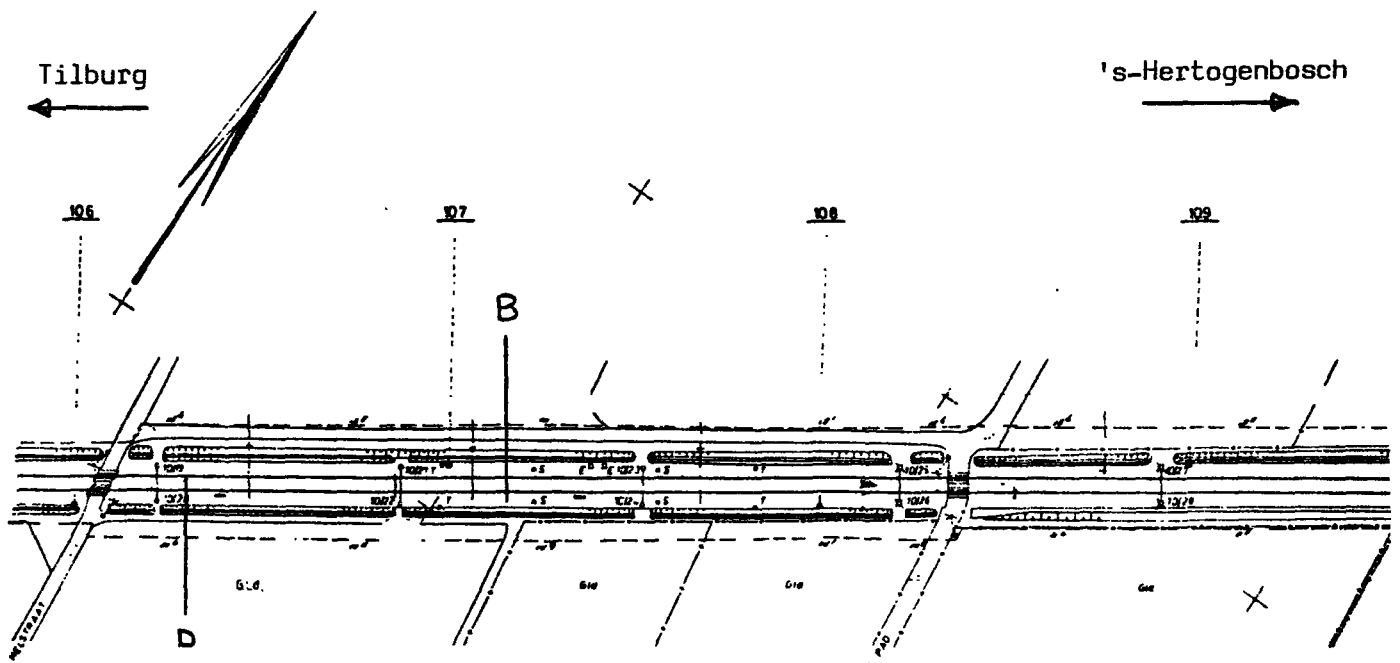
0,05 m <sup>+</sup> BS	-23 <sub>3</sub>	-25 <sub>4</sub>	-25 <sub>5</sub>	-24	-21	-13	-9	-8	-1	4	6	6	5	3	2	5	5	3	-1	-2	-4	-4	-2	-1
0,25 m <sup>+</sup> BS	-29 <sub>5</sub>	-30 <sub>6</sub>	-28 <sub>7</sub>	-26	-22	-14	-10	-9	-2	4	5	5	4	3	2	3	4	1	-4	-3	-5	-2	0	2
0,50 m <sup>+</sup> BS	-38 <sub>3</sub>	-38 <sub>4</sub>	-37 <sub>5</sub>	-33	-29	-20	-17	-14	-5	0	2	4	3	2	0	1	1	-2	-4	-2	0	-1	0	0
0,75 m <sup>+</sup> BS	-38 <sub>3</sub>	-41 <sub>4</sub>	-38 <sub>5</sub>	-35	-31	-20	-16	-13	-5	0	2	4	2	0	-2	-2	-1	0	-1	1	-4	-1	1	1

bronpositie: spoor 2, 50 m uit lood

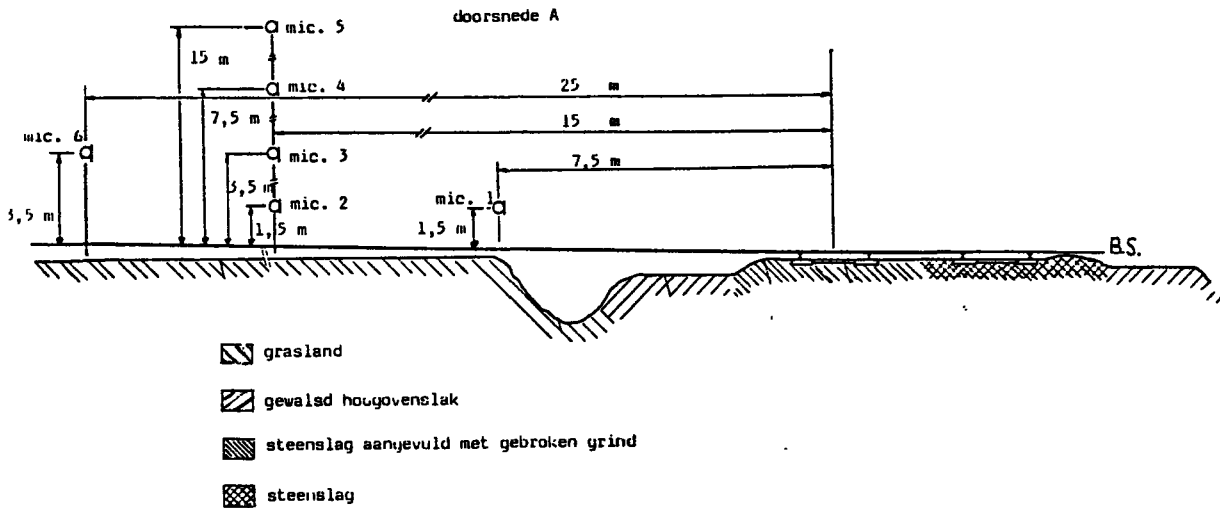
0,05 m <sup>+</sup> BS	-21 <sub>7</sub>	-27 <sub>12</sub>	-26 <sub>14</sub>	-28	-25	-16	-14	-7	-1	6	9	6	4	1	0	3	4	2	0	0	-3	-2	-1	1
0,25 m <sup>+</sup> BS	-24 <sub>6</sub>	-28 <sub>13</sub>	-28 <sub>15</sub>	-29	-25	-16	-14	-8	-1	0	8	5	4	1	0	3	3	-1	-4	-1	-4	-1	3	5
0,50 m <sup>+</sup> BS	-36 <sub>7</sub>	-37 <sub>10</sub>	-38 <sub>12</sub>	-37	-33	-23	-21	-13	-4	4	4	3	2	-1	-1	1	0	-3	-5	-1	-2	2	2	3
0,75 m <sup>+</sup> BS	-32 <sub>7</sub>	-38 <sub>10</sub>	-37 <sub>13</sub>	-39	-32	-22	-22	-12	-6	4	3	3	1	-1	-2	-1	-1	-3	-2	3	-1	1	2	2



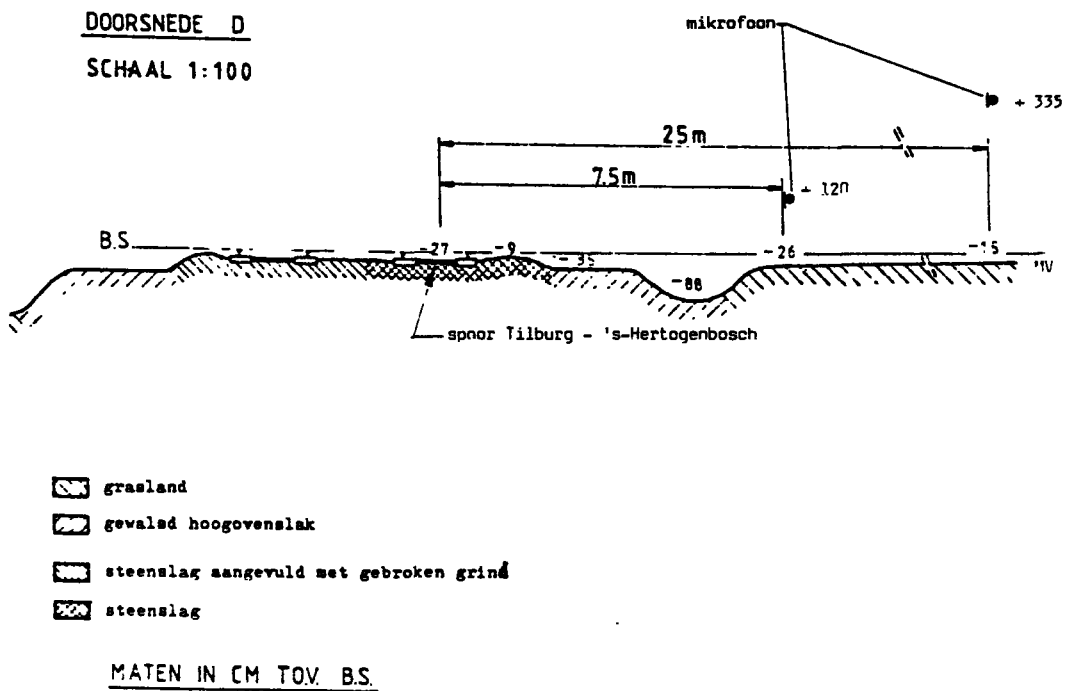
**Figuur 1:** De gekozen bronplaatsen (materieel 64) en de bijbehorende overdrachtswegen



**Figuur 2:** Overzicht van de meetlokaties te Udenhout.

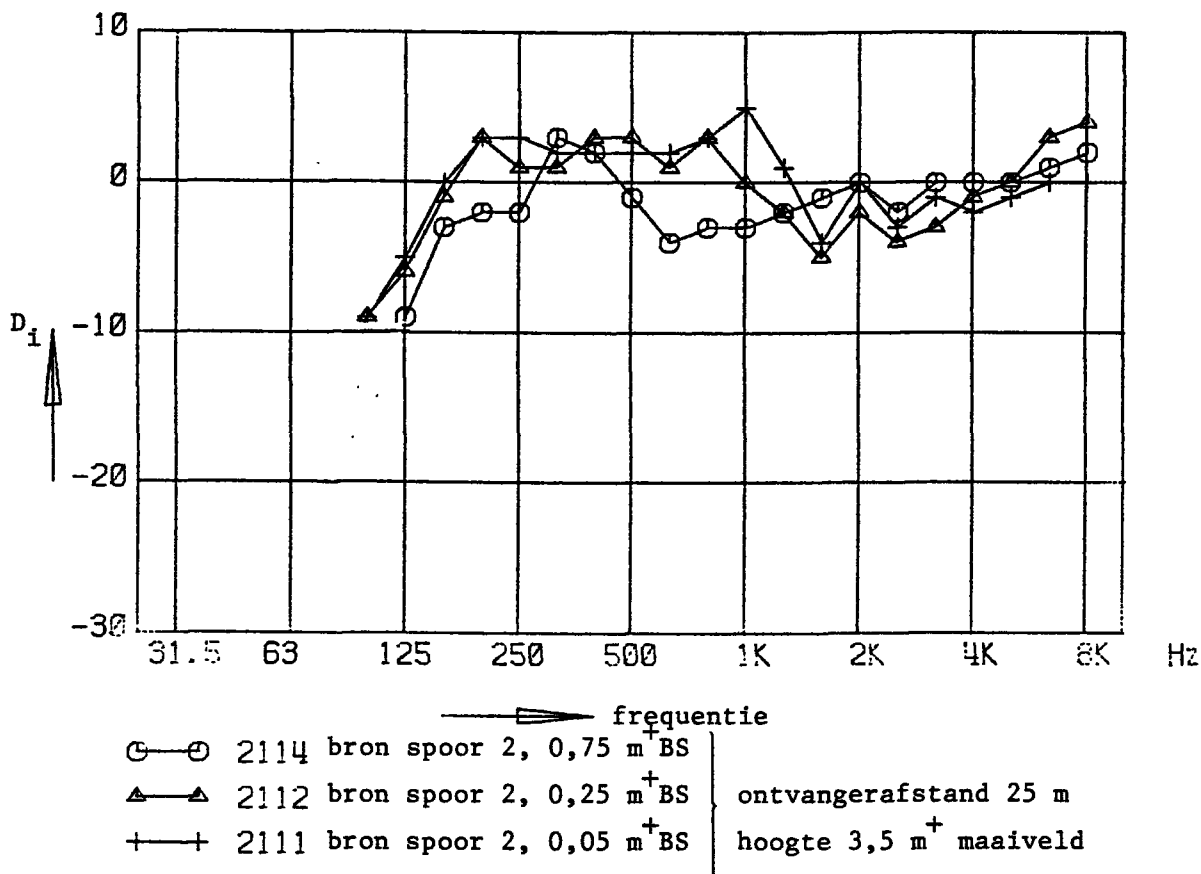
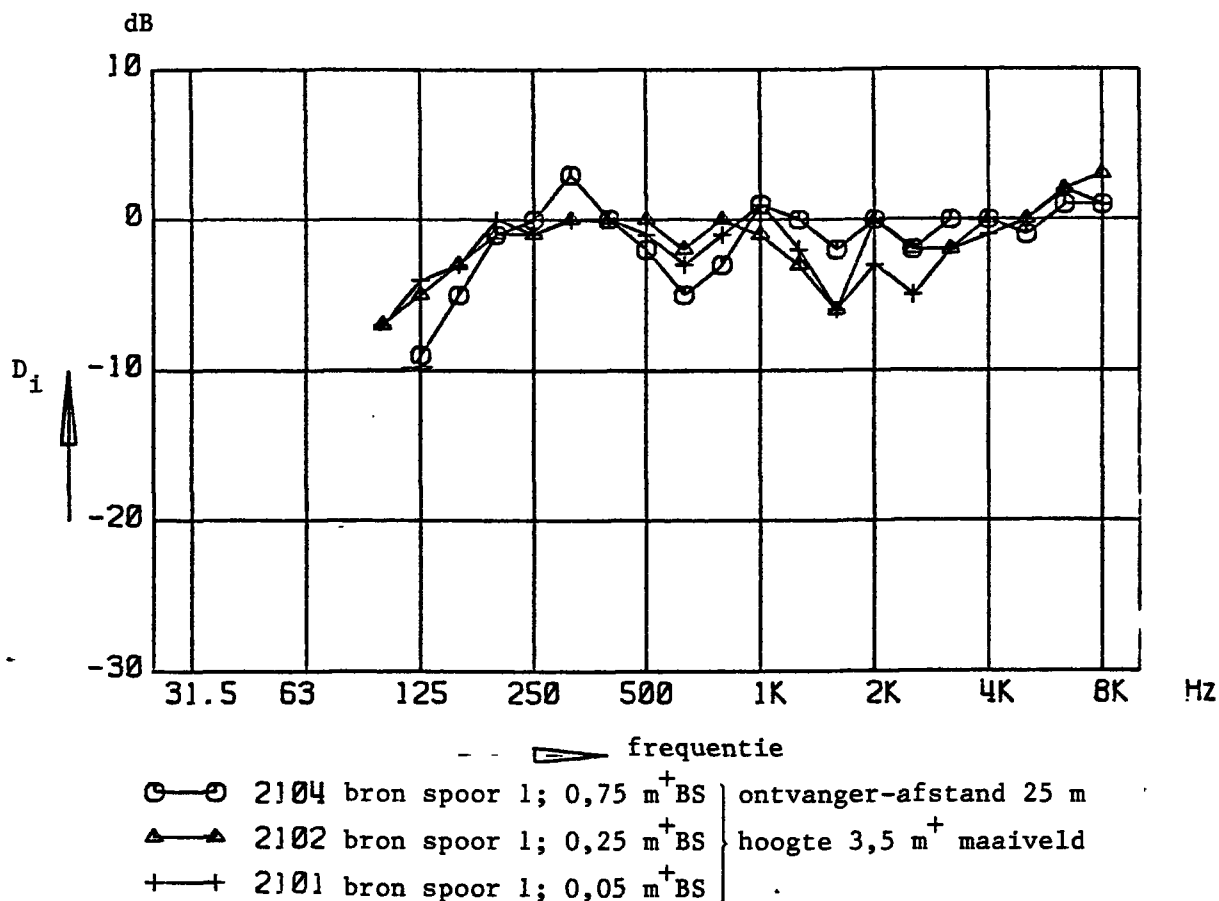


**Figuur 3a:** Dwarsdoorsnede en microfoonposities tijdens remmetingen bij lokatie A (komt overeen met lokatie B).



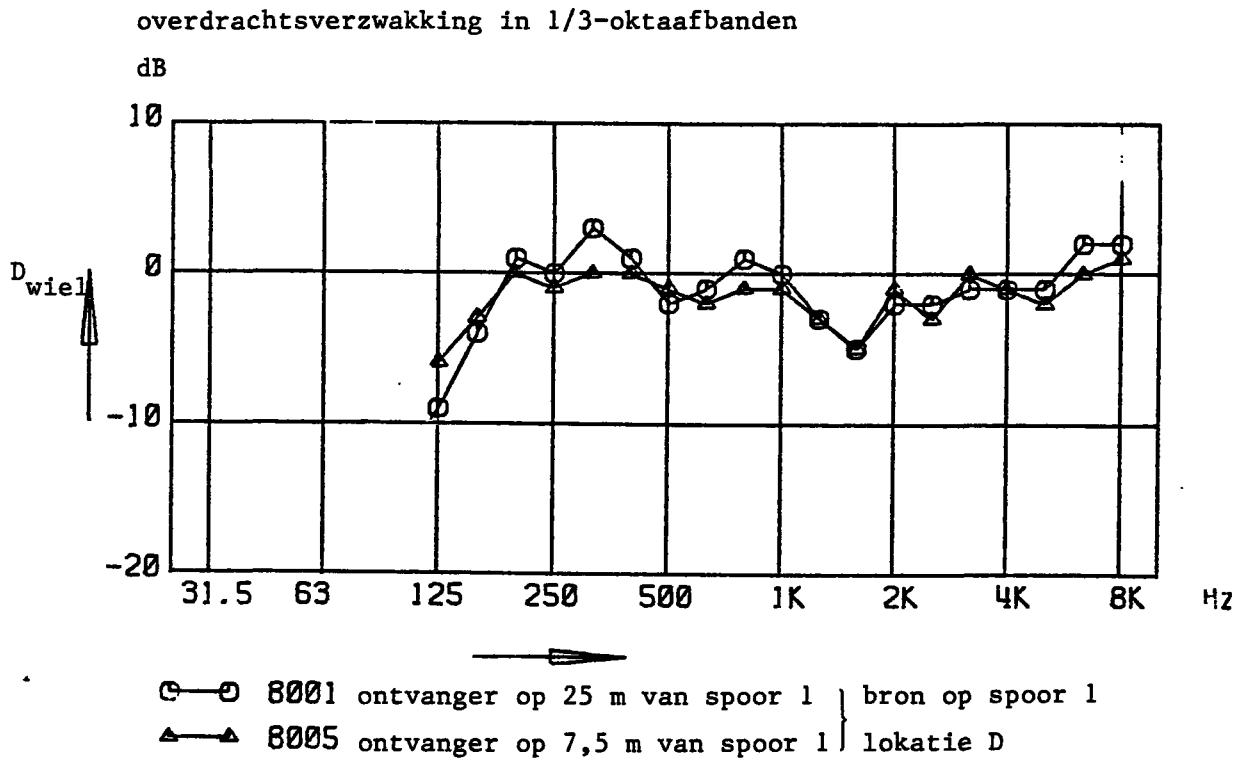
**Figuur 3b:** Dwarsdoorsnede en microfoonposities tijdens emissiemetingen bij lokatie D.

overdrachtsverzwakking in 1/3-oktaafbanden

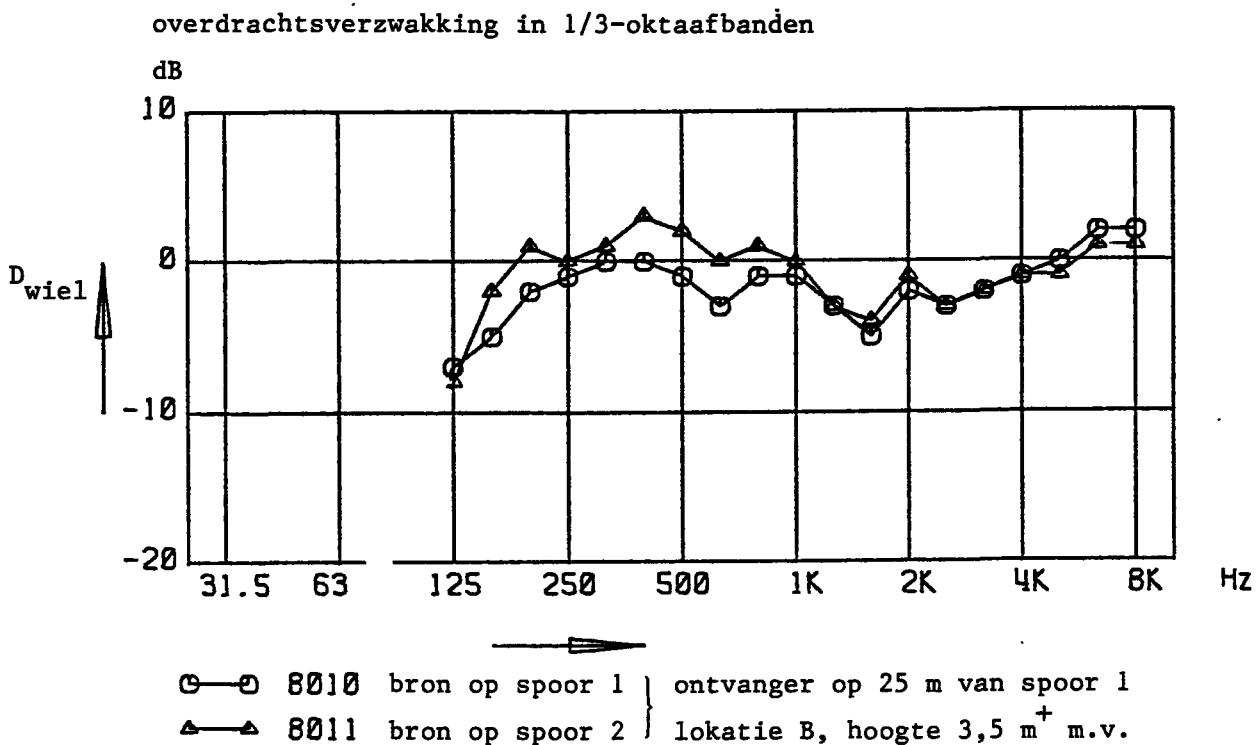


Figuur 4: Gemeten overdrachtsverzwakkingen van puntbronnen boven spoor 1 en spoor 2 naar het 25 m - meetpunt.



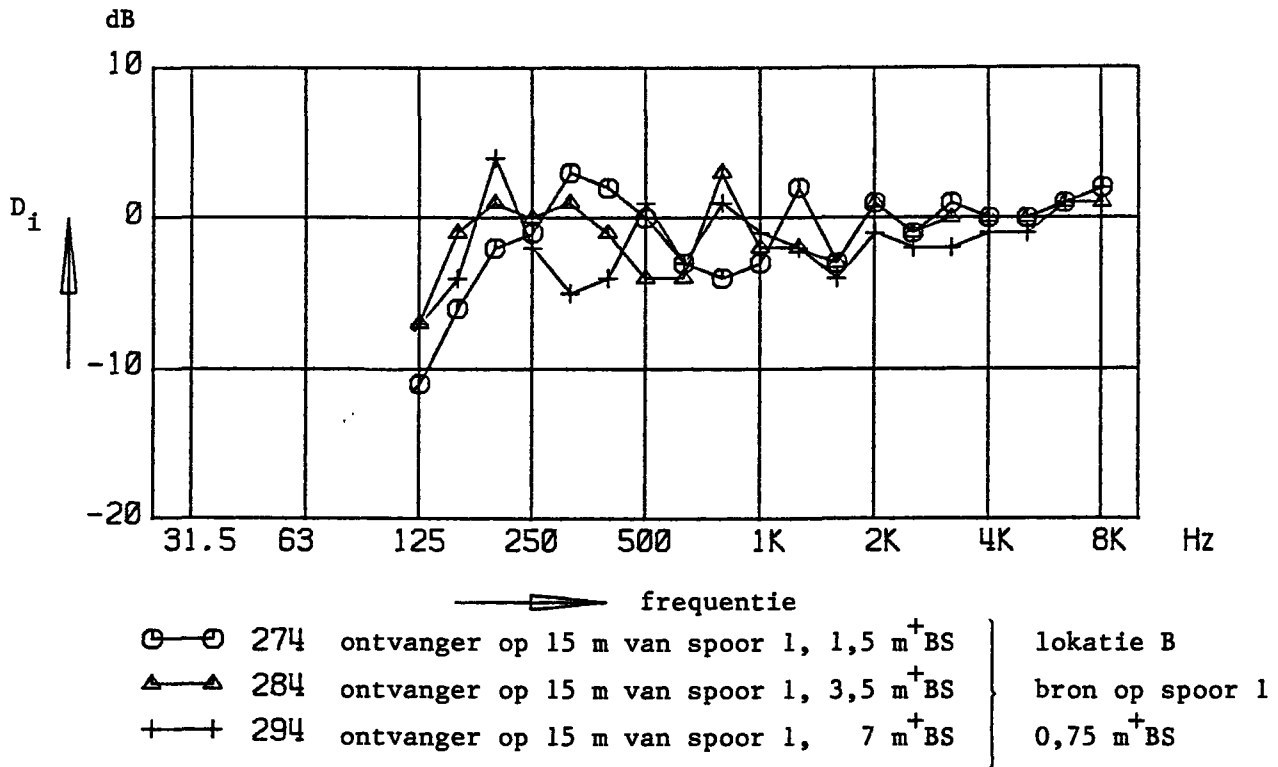


**Figuur 5:** De gemiddelde overdrachtsverzwakking  $D_{wiel}$  uitgaande van drie bronhoogten (0,05- 0,25- 0,5 m<sup>+</sup>BS).



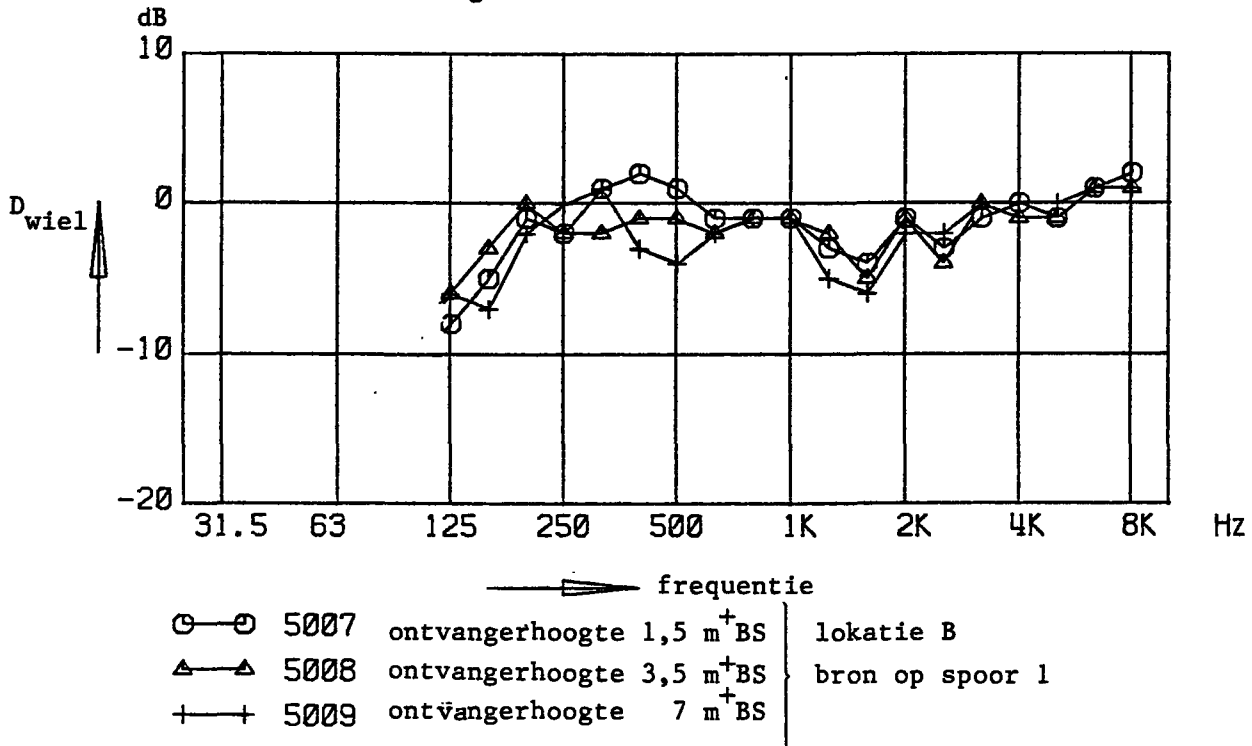
**Figuur 6:** De gemiddelde overdrachtsverzwakking  $D_{wiel}$  uitgaande van drie bronhoogten (0,05- 0,25- 0,5 m<sup>+</sup>BS) op resp. spoor 1 en spoor 2.

overdrachtsverzwakking in 1/3-oktaafbanden



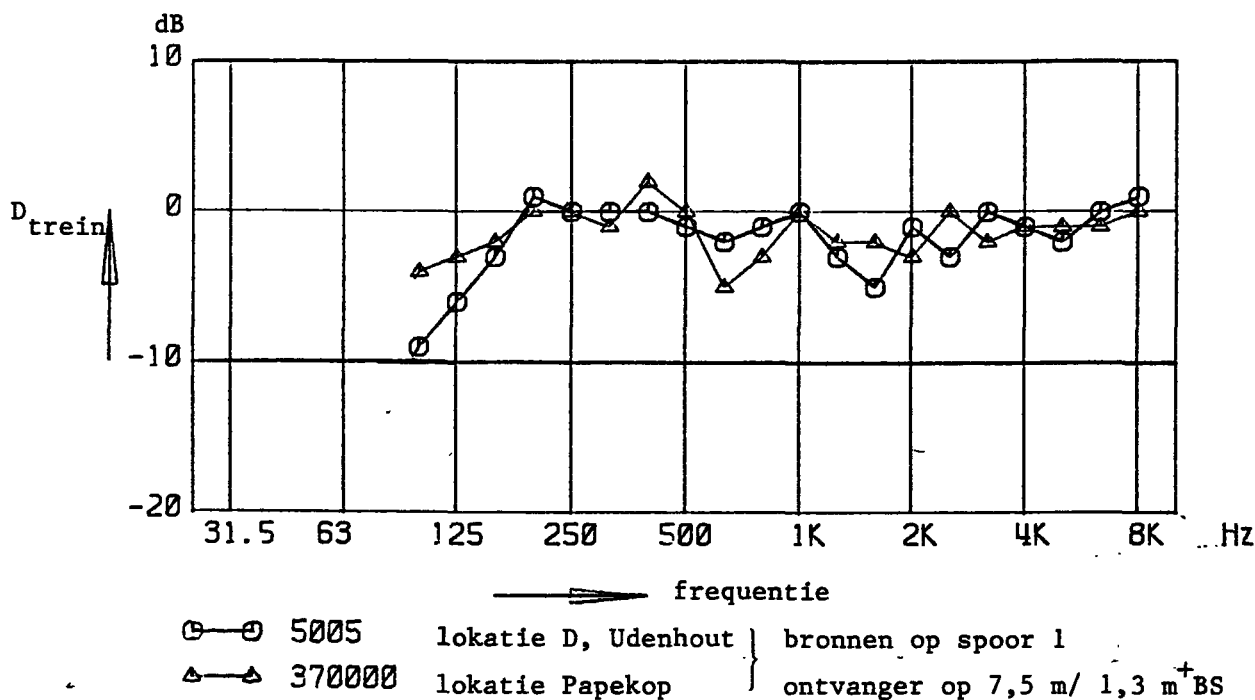
**Figuur 7:** De overdrachtsverzwakkingen van een puntbron boven spoor 1 naar verschillende waarneemhoogten op 15 m afstand van spoor 1.

overdrachtsverzwakking in 1/3-oktaafbanden

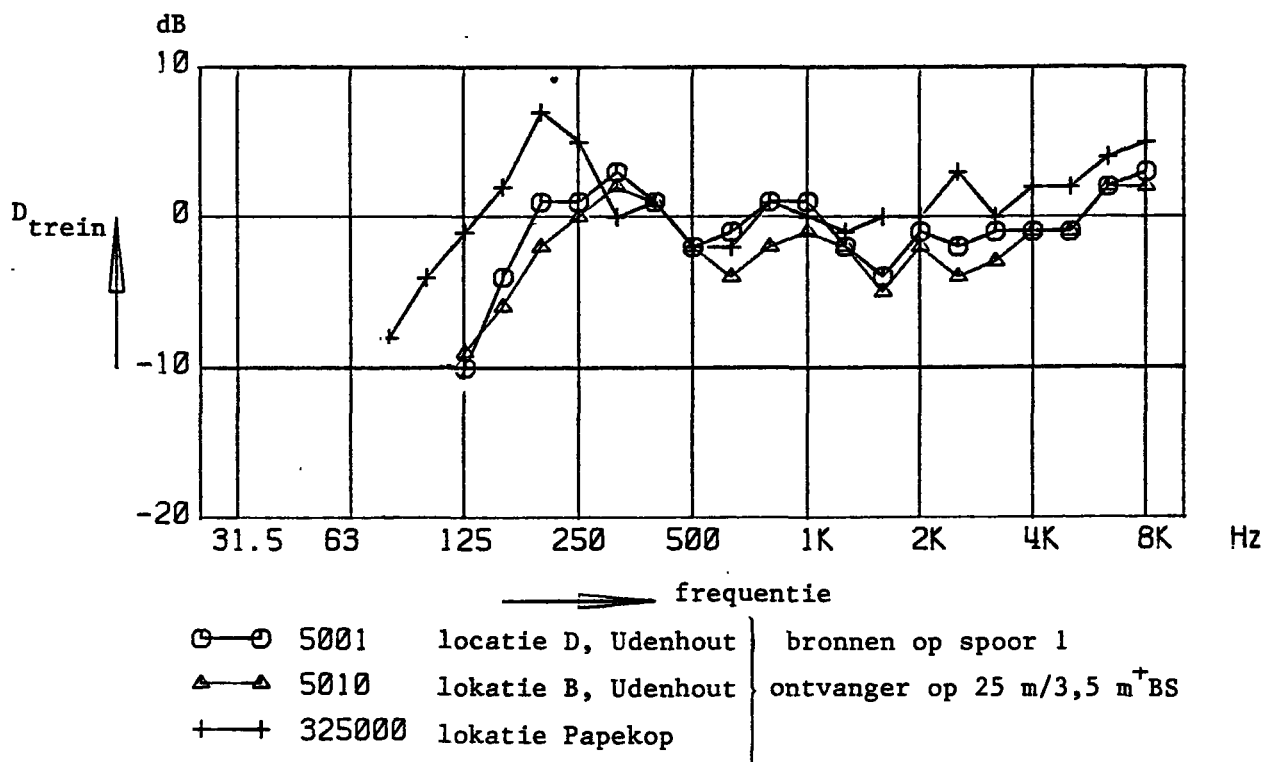


**Figuur 8:** De gemiddelde overdrachtsverzwakking voor een remmend wiel op spoor 1 uitgaande van twee evensterke puntbronnen op respectievelijk 0,25 en 0,75 m<sup>+</sup>BS.

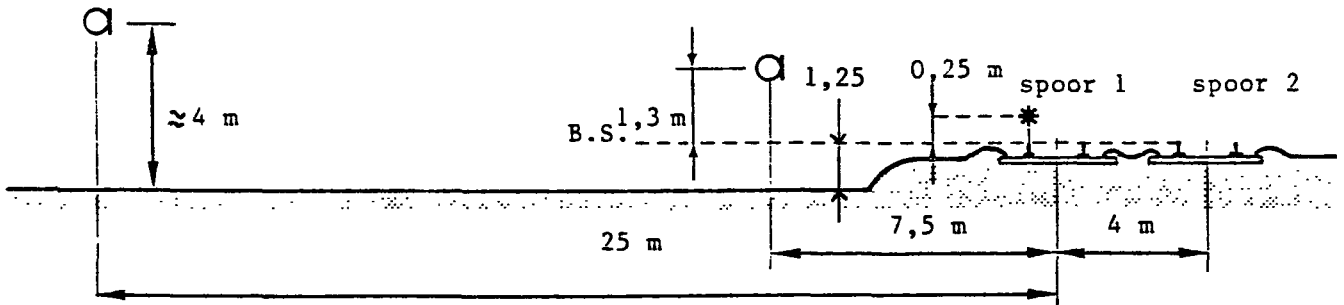
overdrachtsverzwakking in 1/3-oktaafbanden



Figuur 9: Gemiddelde overdrachtsverzwakking voor rolgeluid van een gehele trein uitgaande van drie puntbronnen per draaistel (0,05 m- 0,25m en 0,5 m<sup>+</sup>BS).



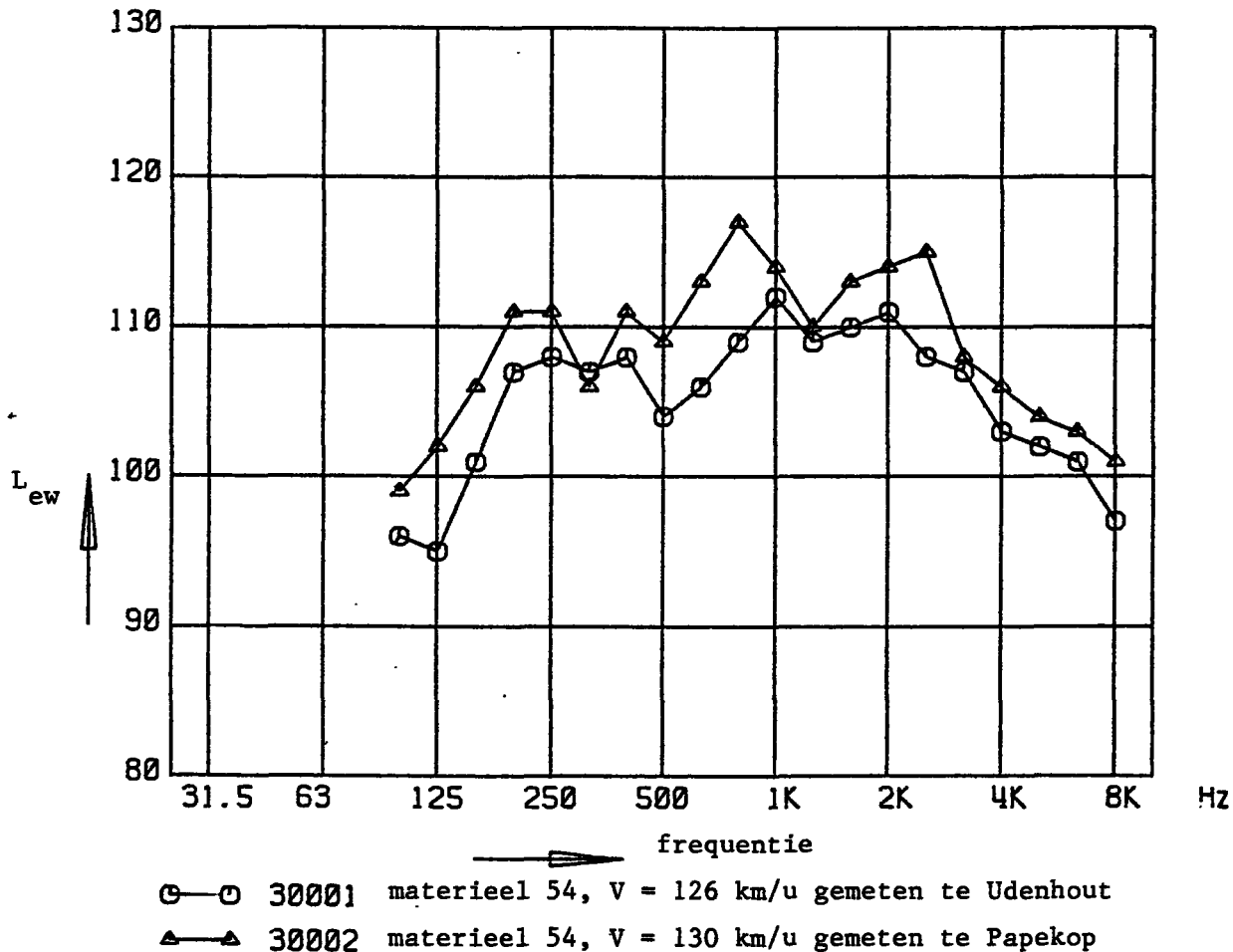
Figuur 10: Gemiddelde overdrachtsverzwakking voor rolgeluid van een gehele trein uitgaande van drie puntbronnen per draaistel (0,05 m- 0,25 m en 0,5 m<sup>+</sup>BS).



Figuur 11: Dwarsdoorsnede van de meetplaats te Papekop

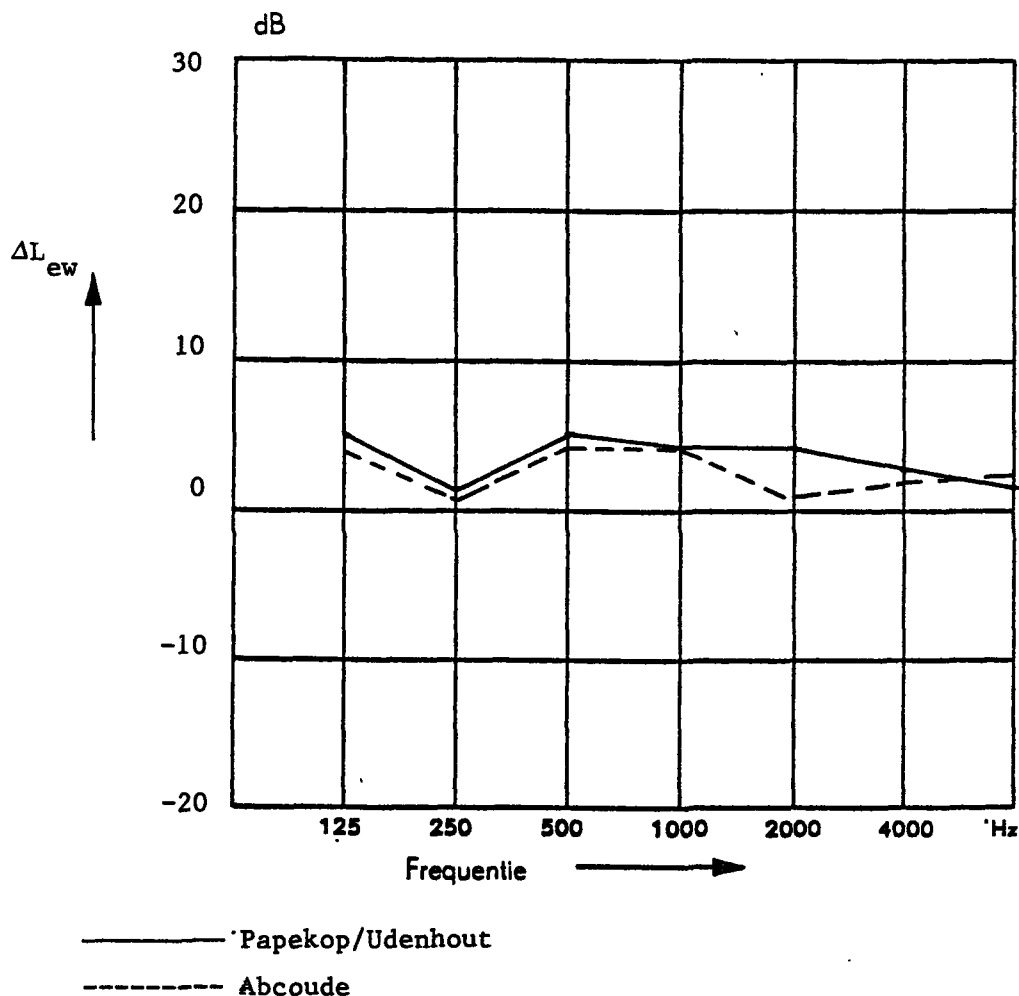
equivalent geluidvermogeniveau in 1/3-oktaafbanden

dB re 1 pW



**Figuur 12:** Equivalente geluidvermogeniveaus per draaistel bepaald uit metingen van het maximale geluidrukniveau op 25 m afstand van spoor 1 bij vier-wagenstellen van materieel 54.

## niveaoverschil in oktaafbanden



**Figuur 13:** Niveaoverschil in oktaafbanden van het geluidvermogeniveau per draaistel van een trein rijdend op een baan met houten dwarsliggers en rijdend op een baan met betonnen dwarsliggers.

$$\Delta L_{ew} = L_{ew}(\text{houten dwls}) - L_{ew}(\text{betonnen dwls}).$$

Gegevens Papekop: materieel 54, 130 km/u

railtype NP46 op houten dwarsliggers

Udenhout: materieel 54, 130 km/u

railtype UIC54 op betonnen dwarsliggers

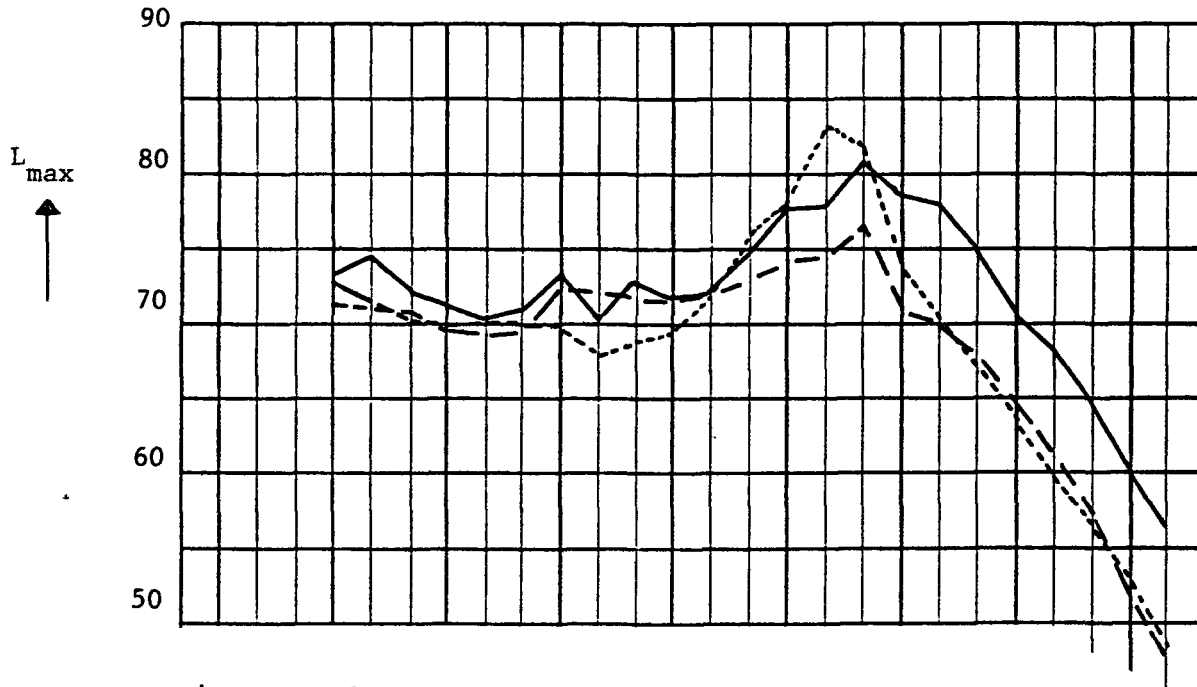
Abcoude : materieel 54, 100 km/u

mtp1. 2 : railtype UIC 54 op betonnen dwarsliggers

mtp1. 3 : railtype UIC 54 op houten dwarsliggers

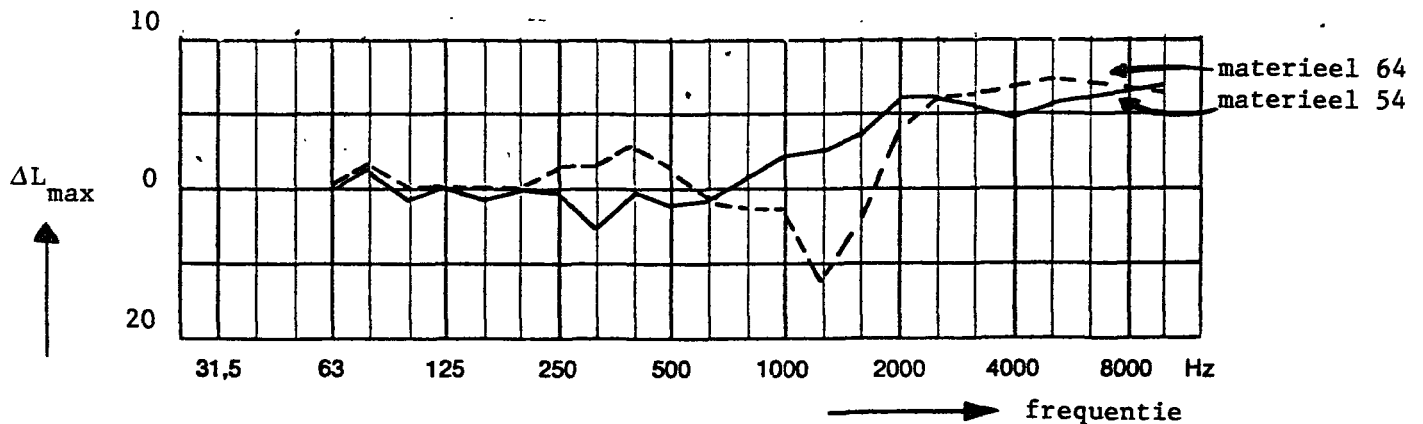
geluiddrukkniveau in 1/3-oktaafbanden

dB re 20  $\mu$ Pa



niveaoverschil

dB

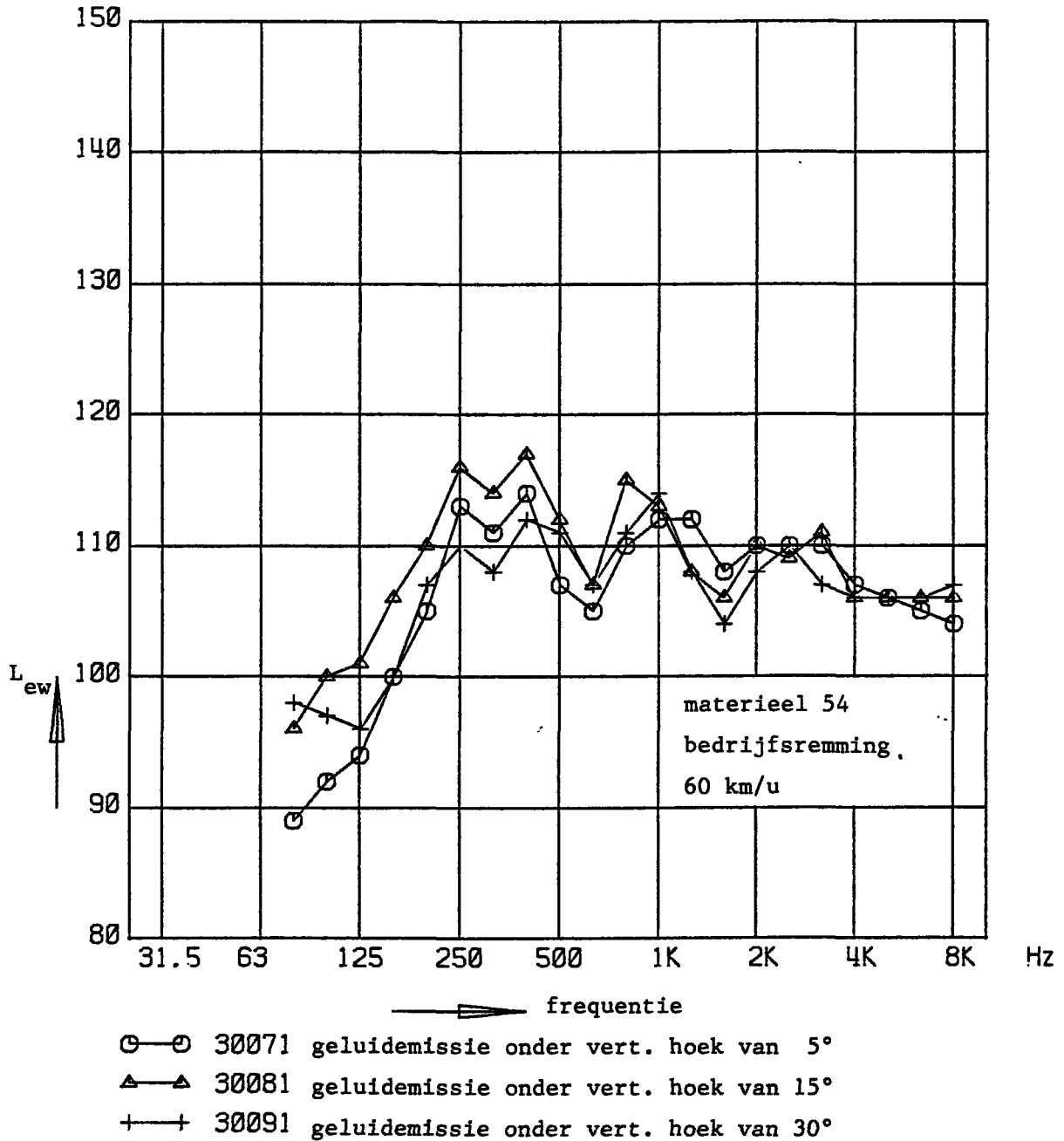


- controlemeting materieel 54, 2x tweewagenstel, V = 130 km/u 87,5 dB(A)
- typekeuringmeting materieel 54, tweewagenstel, V = 130 km/u 82 dB(A)
- ..... typekeuringmeting materieel 64, tweewagenstel, V = 130 km/u 86,5 dB(A)

**Figuur 14:** Maximale geluiddrukkniveaus en niveaoverschillen in 1/3-oktaafbanden van typekeurings- en controlemetingen te Udenhout. Bij de niveaoverschillen is een correctie van 1 dB toegepast voor de invloed van de treinlengte.

equivalent geluidvermogeniveau in 1/3-oktaafbanden

dB re 1 pW

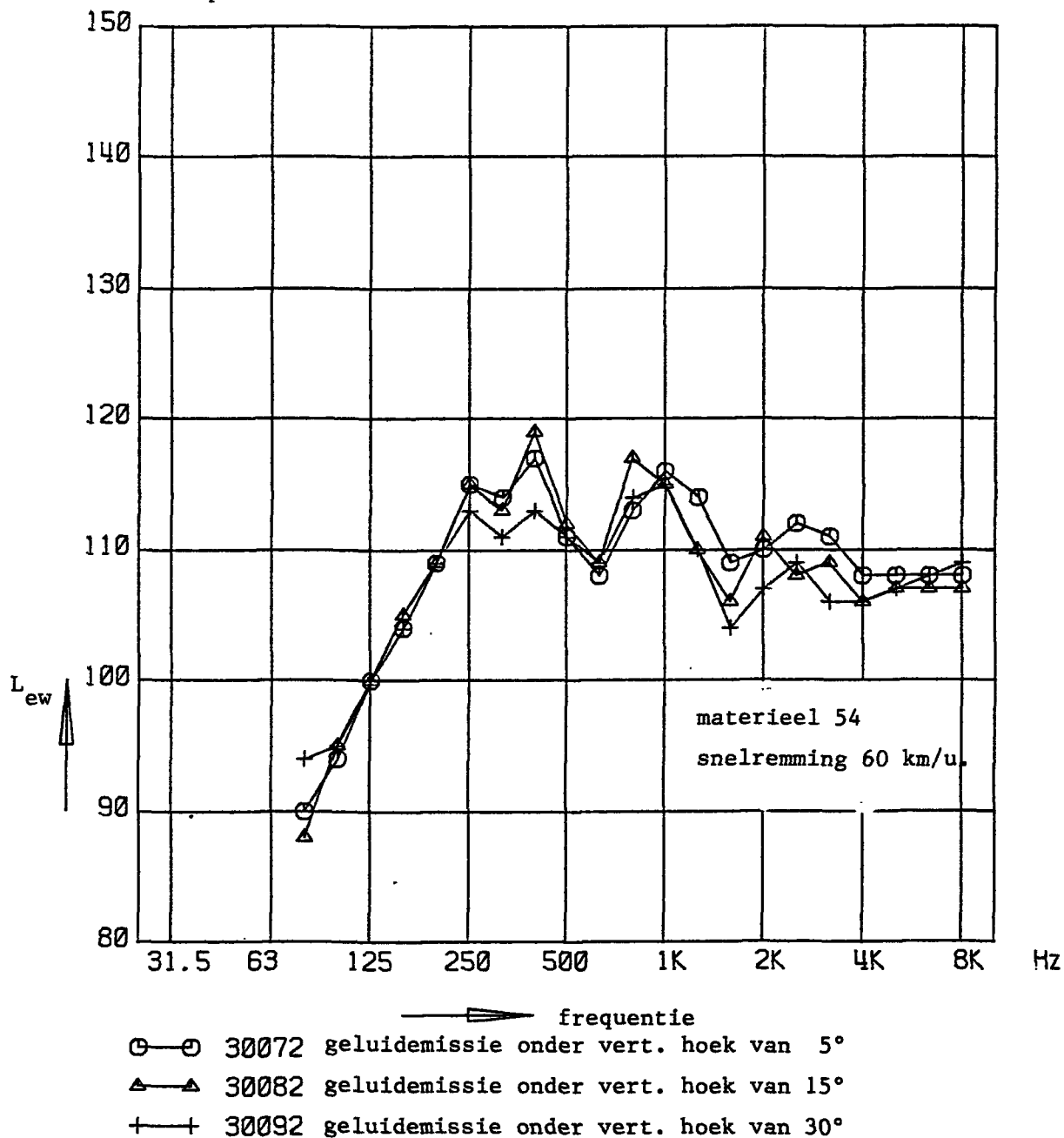


**Figuur 15:** Immissierelevante bronsterkte per draaistel bij bedrijfsremming bepaald uit maximale geluiddruk niveaus op 15 m afstand van spoor 1 op respectievelijk 1,5 m, 3,5 m en 7 m<sup>+</sup> BS.

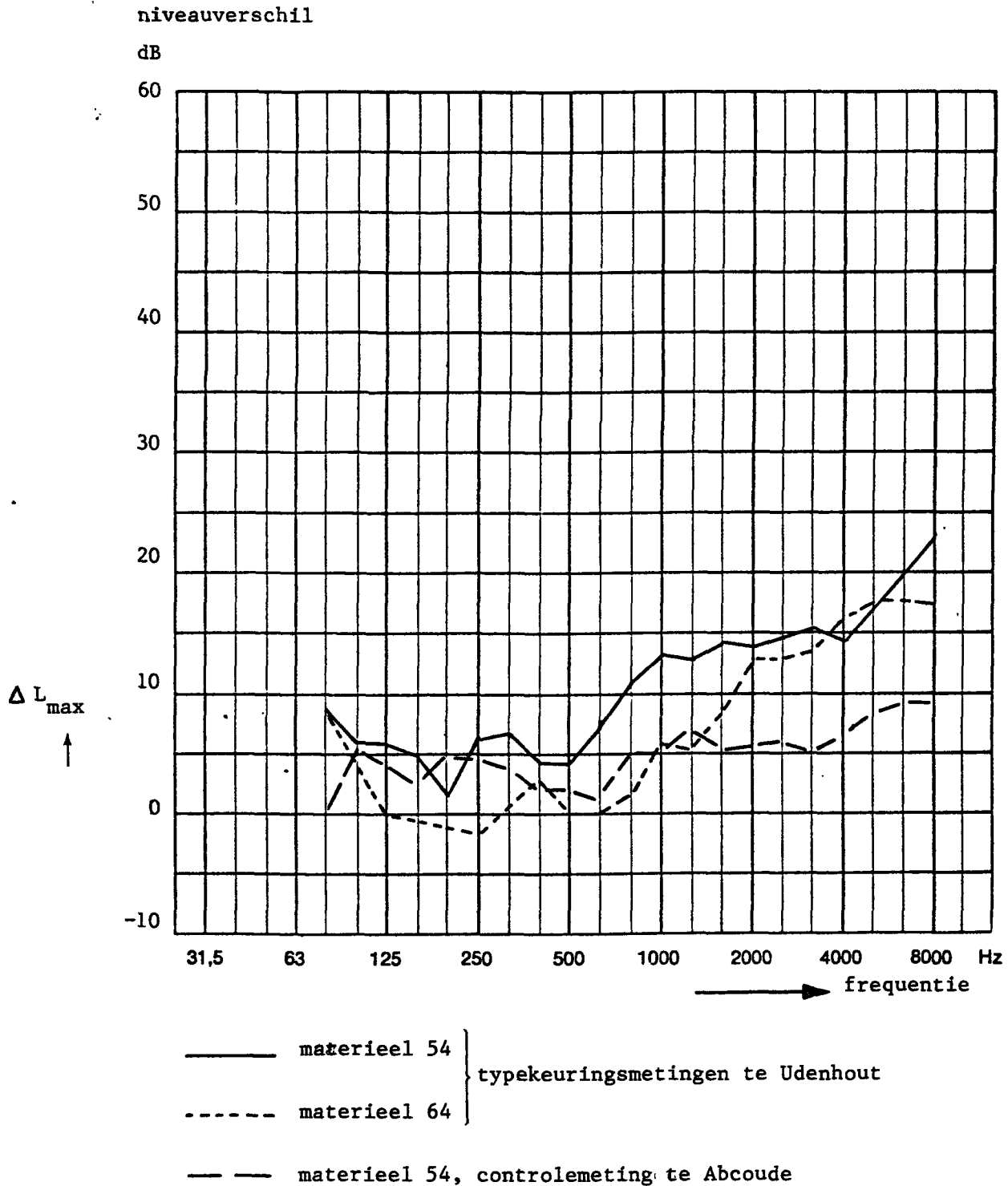


equivalente geluidvermogeniveaus in 1/3-oktaafbanden

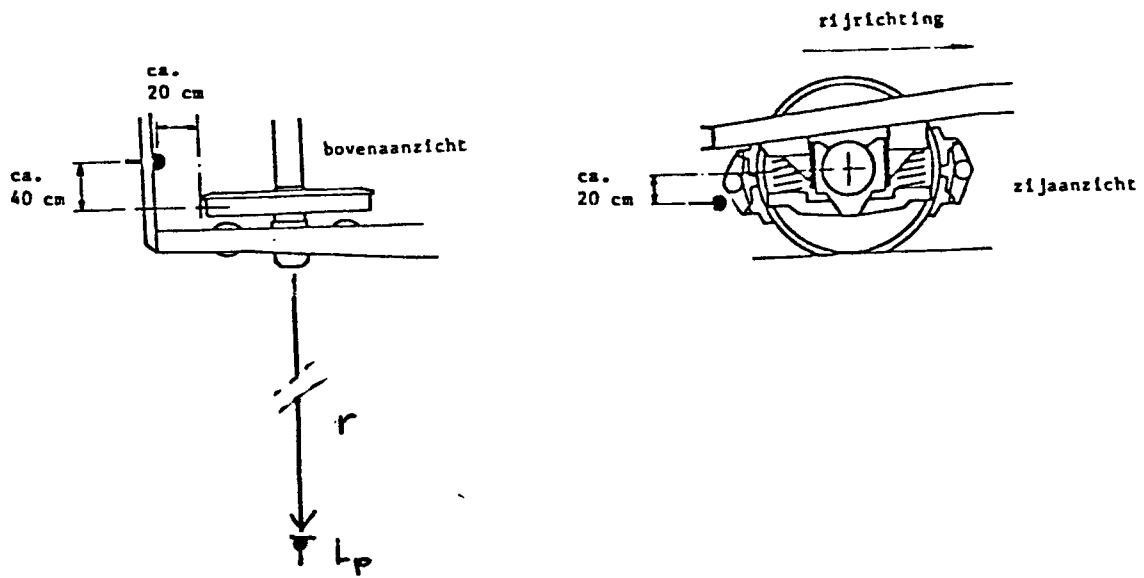
dB re 1 pW



**Figuur 16:** Immissierelevante bronsterkte per draaistel bij snelremming bepaald uit metingen van het maximale geluiddrukkniveau op 15 m afstand van spoor 1 op respectievelijk 1,5 m; 3,5 m en 7 m<sup>+</sup> BS

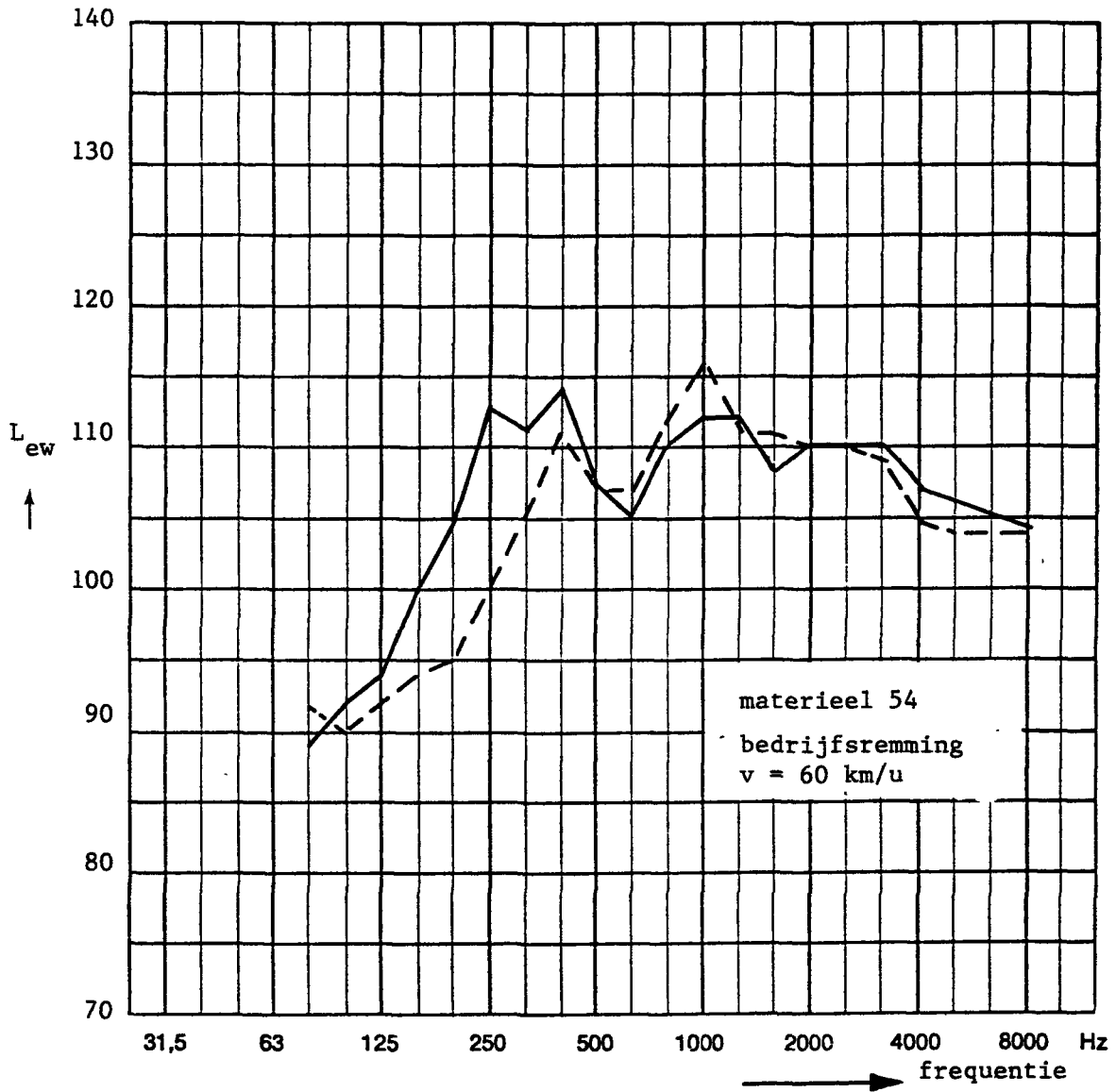


Figuur 17: Niveautoename in de geluidemissie t.g.v. het remmen bij zowel typekeuringen- als dienstregelingtreinen. De verschillen zijn bepaald uit metingen van het maximale geluidsdruk-niveau op 25 m afstand van spoor 1 (3,5 m<sup>+</sup> BS) tijdens de passage van treinen. De verschillen hebben betrekking op bedrijfsremmingen met een vertraging van ca. 0,5 m/s<sup>2</sup>.



Figuur 18: De microfoonpositie t.o.v. het draaistel

equivalent geluidvermogeniveau in 1/3-oktaafbanden  
dB re 1 pW

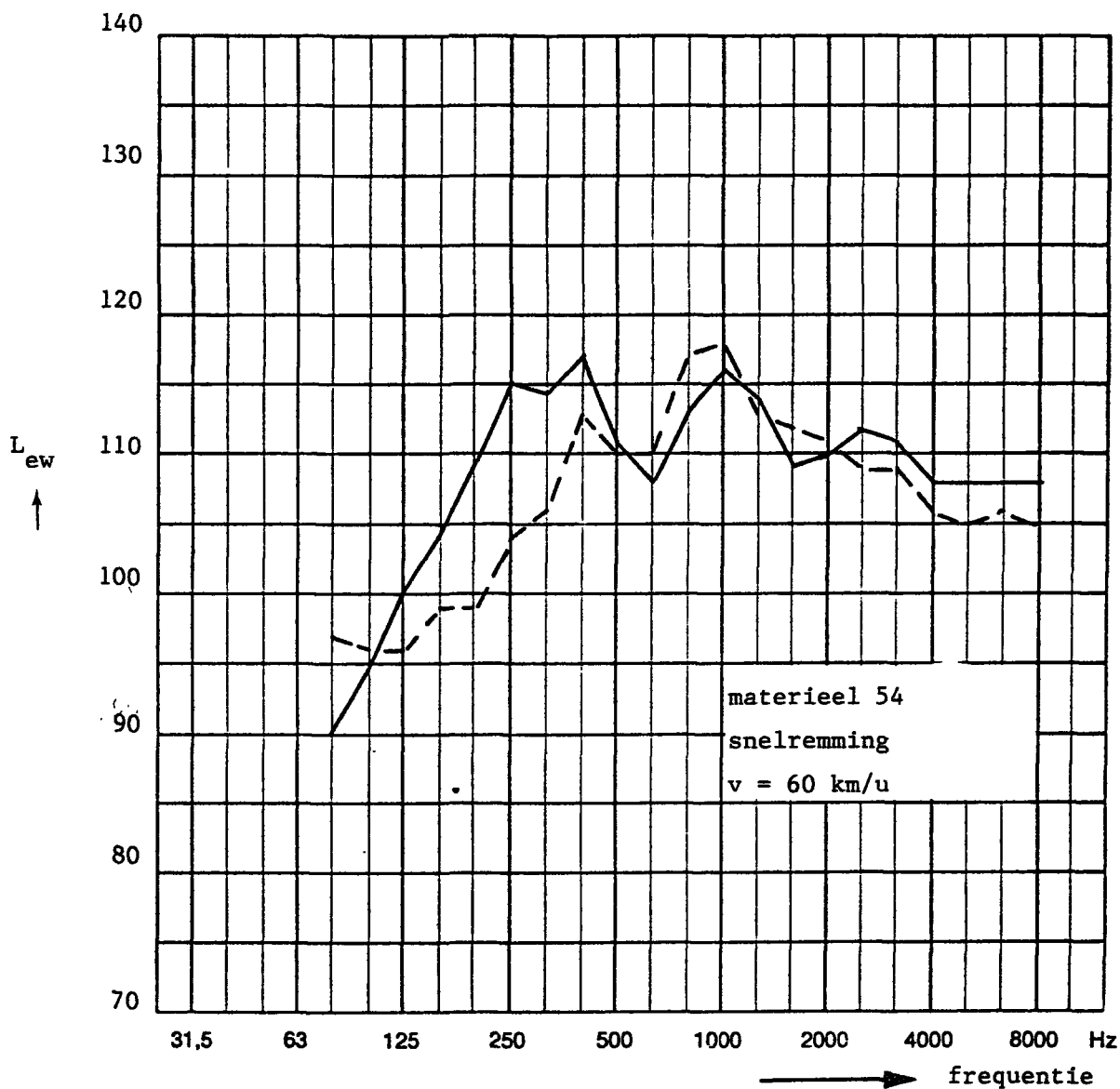


————  $L_{ew}$  uit meting van  $L_{max}$  op 15 m afstand van spoor 1/1,3 m<sup>+</sup>BS  
 - - - - -  $L_{ew}$  uit meting van  $L_p$  onder de trein

**Figuur 19:** Equivalente geluidvermogeniveaus per draaistel van materieel 54 voor bedrijfsremming bij 60 km/u. Vergelijking van bronniveaus bepaald uit metingen langs de baan en uit metingen onder de trein.

equivalent geluidvermogeniveau in 1/3-oktaafbanden

dB re 1 pW

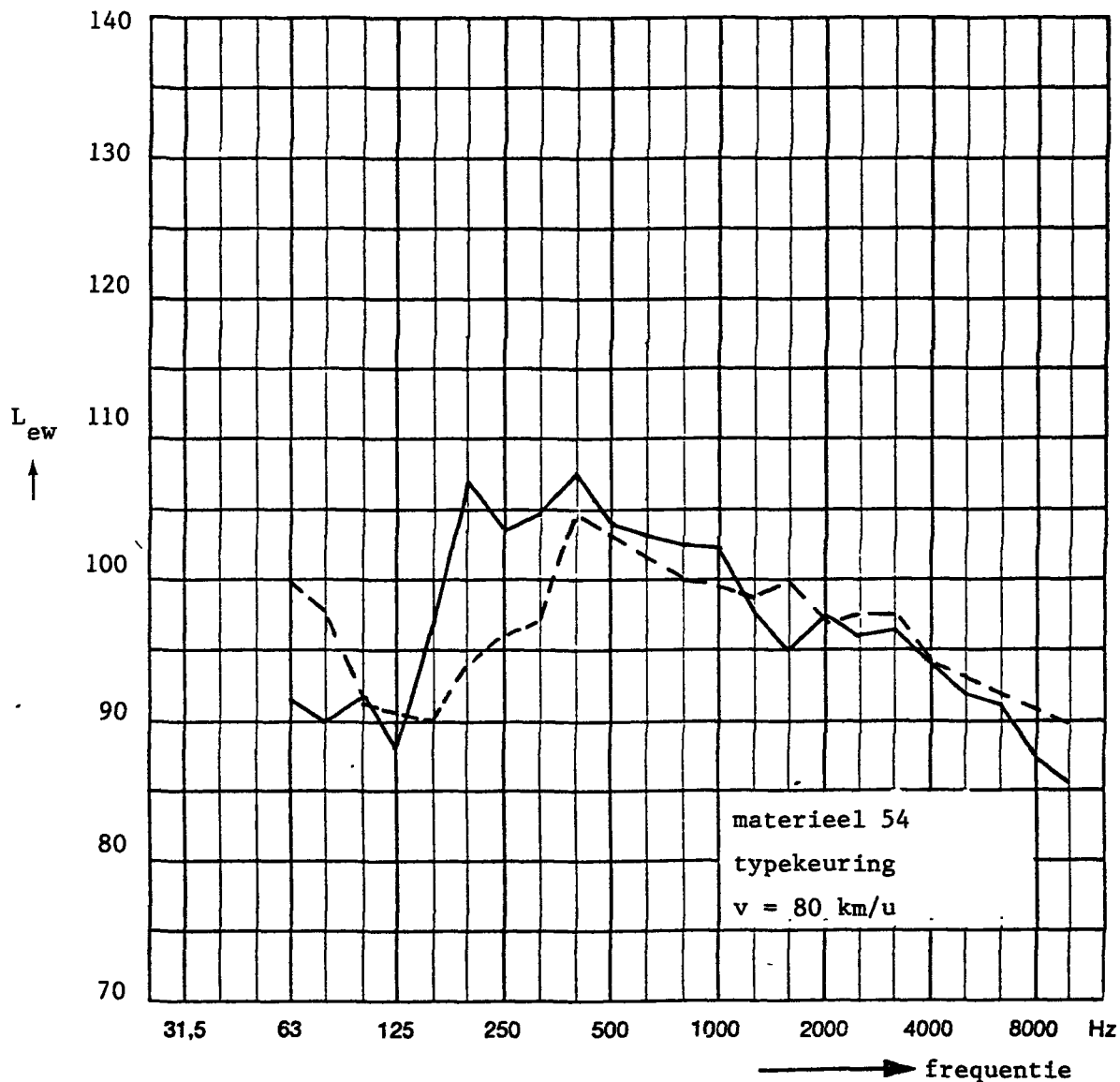


———  $L_{ew}$  uit meting van  $L_{max}$  op 15 m afstand van spoor 1 op 1,3 m<sup>+</sup>BS  
 - - - - -  $L_{ew}$  uit meting van  $L_p$  onder de trein

**Figuur 20:** Equivalente geluidvermogeniveaus per draaistel van materieel 54 voor snelremming bij 60 km/u. Vergelijking van bronniveaus bepaald uit metingen langs de baan en uit metingen onder de trein.

equivalent geluidvermogeniveau in 1/3-oktaafbanden

dB re 1 pw



—  $L_{ew}$  uit meting van  $L_{max}$  op 25 m afstand van spoor 1 op 3,5 m<sup>+</sup>BS  
 - - -  $L_{ew}$  uit meting van  $L_p$  onder de trein

**Figuur 21:** Equivalente geluidvermogeniveaus per draaistel van materieel 54 volgens typekeuring bij 80 km/u. Vergelijking van bronniveaus bepaald uit metingen langs de baan en uit metingen onder de trein.