



M+P - raadgevende ingenieurs
Müller-BBM groep
geluid trillingen lucht bouwfysica

www.mp.nl

Wolfskamerweg 47, Vught
Postbus 2094
5260 CB Vught
T 073-658 9050

Visserstraat 50, Aalsmeer
Postbus 344
1430 AH Aalsmeer
T 0297-320 651

MEMO

Aan DVS
T.a.v. Willem-Jan van Vliet

Van
E-mail
Kenmerk DVS.12.07G1/jh
Datum 11 juni 2012
Pagina 1 van 10

Onderwerp optie nr. 7 Voegovergangen onderdeel 2: Actualisatie en verfijning van de akoestische eigenschappen in de MKM

Aanleiding

In de MeerKeuzeMatrix zijn voor standaard voegfamilies de geluideigenschappen beschreven. De range van de geluidniveaus is in de matrix soms erg groot en slechts beschreven bij één voertuigsnelheid. Het is nu aan de hand van de matrix lastig te beoordelen of een voegovergang geluidtechnisch wel of niet kan voldoen aan de geluideisen. Daarnaast is de matrix gebaseerd op meetresultaten welke tot en met 2008 zijn gemeten. De geluidgegevens van veel geluidarme voegovergangen (na 2008) zijn nog niet in de matrix verwerkt. Momenteel wordt de MeerKeuzeMatrix geactualiseerd. Het is belangrijk om daarbij de nieuwe inzichten voor geluid mee te nemen. Zie ook memo "Projectvoorstel actualisatie geluid en voegovergangen" (kenmerk DVS.12.01/rI), onderdeel A.

Aanpak / Resultaten

- Er wordt een klassenindeling voorgesteld (deels vereenvoudiging, deels verfijning) op basis van geluideigenschappen.
- De analyse wordt aangevuld met resultaten van metingen tussen 2009 en 2012. Er zijn circa 45 extra metingen beschikbaar. Hiervan is 80% interessant voor de uitbreiding en actualisatie van de meerkeuzematrix.
- Per voegfamilie wordt de snelheidsafhankelijkheid van de geluidniveaus bepaald.
- Voor een aantal voegfamilies is het geluidniveau afhankelijk van de situering en detaillering van de voeg (bijv. kruisingshoek bij randprofielvoegen, het aantal lamellen bij lamellenvoegen, vorm van de vingers bij vingervoegen, etc.). Bij die voegovergangen zal de invloed van de detaillering beschreven en gekwantificeerd worden.
- Per voegfamilie en per snelheid wordt één geluidwaarde gepresenteerd in plaats van een range van geluidwaarden. De beoordeling kan daarmee eenduidig worden uitgevoerd. Op voorhand voldoet een bepaalde situatie wel of niet aan de geluideis.

1.1 Akoestisch relevante indeling

Voorgesteld wordt om de volgende differentiatie in de MKM aan te brengen met betrekking tot akoestische eigenschappen:

Cat 1, randprofiel

- 1 standaard (genormeerd op 100 gon)
- 1s met geluidmaatregel

Cat 2, vingervoeg

- 2 vierkante tanden
- 2s sinusvormige tanden

Cat 3, mattenvoegen

- 3a gewapend
- 3b geperforeerd
- 3c gewelfd

cat 4,

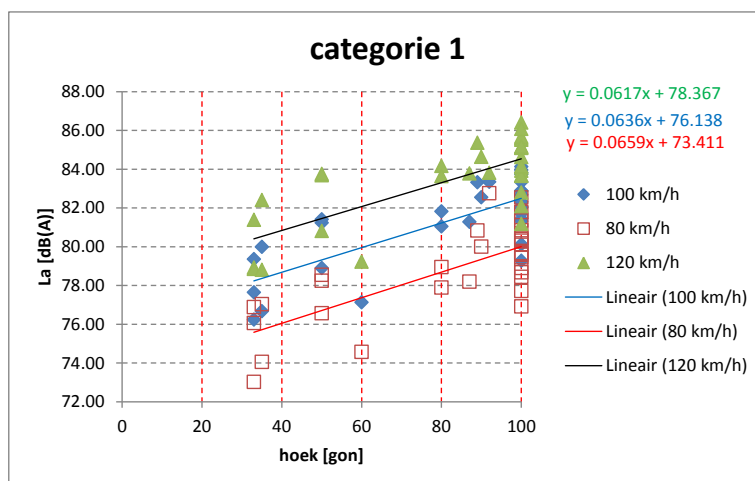
- standaard

Cat 7

- 7 standaard (genormeerd op 4 lamellen)
- 7s met geluidmaatregel

1.2 Invloed kruisingshoek

Op basis van de aangevulde dataset is nagegaan wat de invloed is van de kruisingshoek op het geluidniveau. Uit de analyse van de data blijkt dat alleen voor categorie 1 (randprofielvoegen) een verband bestaat tussen geluidniveau en kruisingshoek. Voor ander categorieën blijkt het verband niet rechtevenredig of is er beperkt data van verschillende kruisingshoeken beschikbaar. Aangenomen kan worden dat ook voor enkele andere categorieën sprake is van hoekafhankelijkheid. In de onderstaande figuur is de afhankelijkheid weergegeven.



figuur 1

Verband tussen kruisingshoek en het geluidniveau

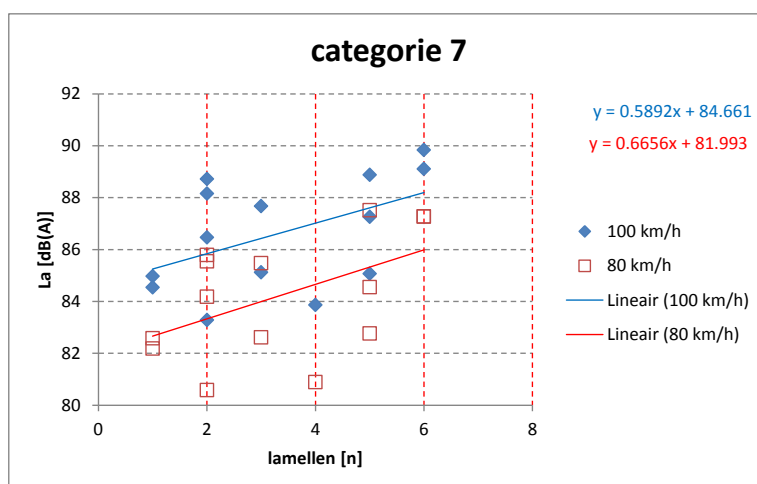
In de figuur is het verband voor drie snelheden onderzocht. De afhankelijkheid blijkt voor deze snelheden nagenoeg gelijk. Een correctie voor kruisingshoek kan berekend worden aan de hand van de volgende formule:

$$\text{Correctie} = (\text{kruisingshoek [gon]} - 100) * 0,0642$$

Alle data van categorie 1 is op basis van de gemiddelde richtingscoëfficiënt genormeerd op 100 gon

1.3 Invloed aantal lamellen

Op basis van de aangevulde dataset is nagegaan wat de invloed is van het aantal lamellen op het geluidniveau. Uit de analyse blijkt dat voor lamellenvoegen (categorie 7) een afhankelijkheid bestaat. Deze afhankelijkheid is voor twee snelheden weergegeven in onderstaande figuur.



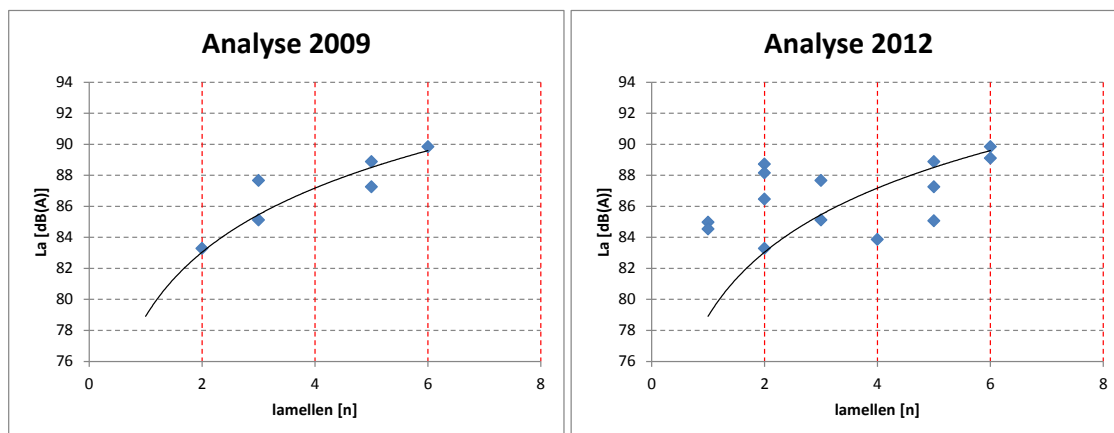
figuur 2 Verband tussen het aantal lamellen op het geluidniveau

Om het geluidniveau op bij een ander aantal lamellen af te schatten wordt de volgende gemiddelde correctie gehanteerd:

$$\text{Correctie} = (\text{lamellen [n]} - 4) * 0,627$$

Alle data wordt op basis van het (gemiddelde) verband genormeerd op 4 lamellen.

In eerder onderzoek [1] werd uitgegaan van een logaritmisch verband. Met het aanvullen van de dataset is duidelijk geworden dat het logaritmisch verband niet goed fit met de meetresultaten. In figuur 3 is te zien dat het geluidniveau van voegen met 1 of 2 lamellen wordt onderschat bij het gebruiken van een logaritmisch verband. Het verband laat zich met de huidige dataset lineair beschrijven.



figuur 3 Beschikbare data en analyse in 2009 (links) en 2012 (rechts)

1.4 Snelheidsafhankelijkheid

De gemeten geluidswaarden zijn afhankelijk van de snelheid van het passerende verkeer. Het geluidniveau kan weergegeven worden als functie van de snelheid. Van elk voegconcept is een gemiddeld geluidniveau als functie van de snelheid bepaald.

De resultaten van categorie 1 (randprofielvoegen) blijkt afhankelijk te zijn van de kruisingshoek. Deze resultaten zijn daarom eerst genormeerd op 100 gon.

De resultaten voor randprofielvoegen zijn afhankelijk van het aantal lamellen. Deze resultaten zijn daarom ook eerst genormeerd op 4 lamellen.

Van categorie 7s is maar 1 meting bij 5 lamellen en 1 meting bij 1 lamel beschikbaar en kan geen snelheidsafhankelijkheid worden bepaald.

Snelheidsafhankelijkheid

Om de snelheidsafhankelijkheid per voertuigcategorie inzichtelijk te maken wordt op basis van de beschikbare meetdata een verband tussen snelheid en geluidniveau berekend dat als volgt beschreven wordt:

$$L_A = a + b \cdot \log\left(\frac{V}{V_0}\right)$$

Waarbij de snelheidsafhankelijkheid wordt weergegeven door de richtingscoëfficiënt.

De berekeningswijze van deze regressielijn is analoog met de methode om C_{wegdek} te bepalen uit SPB metingen. Bij de methode C_{wegdek} wordt er rekening gehouden met het verschil in snelheidsbereiken door het betrouwbaarheidsinterval te gebruiken in de weging van de meetpunten. Per snelheid is er voor elke meting een gewicht van $1/ci^2$ gebruikt, waarbij ci staat voor het 95%-betrouwbaarheidsinterval van het berekende geluidniveau uit de regressieanalyse.

Metingen waarbij het betrouwbaarheidsinterval klein is, krijgen zo een groter gewicht. Vervolgens is er voor deze “gewogen” gemiddelde waarden weer een regressielijn bepaald waaruit de ‘a’ en ‘b’ wordt afgeleid. De resultaten zijn weergegeven in tabel I.

tabel I

Resultaat regressieanalyse

cat.	a _{100 km/h}	b	50	60	70	80	90	100	110	120	130
1	82,4	28,6	73,8	76,0	77,9	79,6	81,1	82,4	83,5	84,6	85,6
1s	77,3	24,0				75,0	76,2	77,3	78,3	79,2	80,0
2	81,9	18,1				80,2	81,1	81,9	82,7	83,3	84,0
2s	80,5	21,5				78,4	79,5	80,5	81,4	82,2	83,0
3a	80,3	20,6				78,3	79,3	80,3	81,1	81,9	82,6
3b	83,8	24,1				81,5	82,7	83,8	84,8	85,7	86,5
3c	80,2	22,9				78,0	79,2	80,2	81,2	82,0	82,8
4	77,1	18,7				75,3	76,3	77,1	77,9	78,6	79,3
7	86,5	25,8				84,0	85,3	86,5	87,5	88,5	89,4

1.5

GeluidLabelWaarde

De GLW dient niet de gemiddelde waarde van een categorie te beschrijven maar een waarde waarvan verwacht mag worden dat die in toekomstige situaties niet zal worden overschreden. De kans dat de GLW bij een volgende realisatie van een bepaalde voegovergang wordt overschreden dient voldoende klein te zijn. Daarom wordt bij de gemiddelde waarde een toeslag opgeteld.

De GLW wordt vastgesteld op basis van de 'a' uit paragraaf 1.4.

De meeste voegmetingen zijn in snelwegsituaties uitgevoerd. De meeste betrouwbare resultaten zijn daardoor bij 100 km/h te vinden. Om de GLW te bepalen is per categorie uitgegaan van een 'a' bij 100 km/h

De GLW wordt berekend volgens:

$$GLW(100km/h) = a(100km/h) + toeslag$$

Methoden voor het bepalen van de toeslag

De toeslag is afhankelijk van de spreiding in geluidniveaus binnen een categorie. Er zijn verschillende methoden om de toeslag te bepalen. Er zijn in dit onderzoek twee methoden getest:

Methode 1

Deze methode stelt de toeslag vast op basis van een standaard spreiding van 4 dB. De toeslag is bepaald volgens:

$$toeslag = standaardtoeslag$$

Met:

Standaardtoeslag = 2 dB

Methode 2

Deze methode gaat uit van een normaal verdeelde dataset waarbij een maximaal overschrijdingspercentage wordt berekend. Gesteld is dat maximaal 10% van nieuwe realisaties van een bepaald voegtype een geluidniveau boven de GLW waarde mogen hebben. De benodigde GLW (gemiddelde + toeslag) volgt uit de berekening van de cumulatieve 90% waarschijnlijkheid.

De toeslag is bepaald volgens:

$$\text{toeslag} = Z \cdot \sigma$$

Met:

$Z = 1,28$ voor het 90% interval (statistiek: "standard normal cumulative probability in right hand tail")

σ = standaarddeviatie

Deze methode is toepasbaar als ' $n \geq 5$ '. Bij kleinere aantallen wordt de standaarddeviatie sterk beïnvloed door de kleine ' n '.

Resultaten

Voor categorie 1, 1s, 2s, 3a, 4 en 7 zijn voldoende geluidmetingen beschikbaar om de GLW volgens beide methoden te bepalen ($n \geq 5$). Tevens is het resultaat gecorrigeerd voor de gewijzigde meethoogte van 5 naar 3 meter. Hiervoor is een vermeerdering van 1,2 dB doorgevoerd op het meetresultaat van 5 meter. De resultaten zijn weergegeven in 0.

tabel II

Analyseresultaat GLW

cat.	V ₀	n	a _{100 km/h}	st.dev.	methode	toeslag	Σ toeslag ^{*)}	GLW _{100km/h}
1	100	28	82,4	1,4	1	2,0	3,2	85,6
					2	1,8	3,0	85,4
1s	100	8	77,3	1,0	1	2,0	3,2	80,5
					2	1,3	2,5	79,8
2	70	4	81,9	1,4	1	2,0	3,2	85,1
2s	100	5	80,5	1,9	1	2,0	3,2	83,7
					2	2,4	3,6	84,1
3a	100	5	80,3	2,0	1	2,0	3,2	83,5
					2	2,5	3,7	84,0
3b	100	2	83,8	0,04	1	2,0	3,2	87,0
3c	100	2	80,2	0,8	1	2,0	3,2	83,4
4	100	17	77,1	0,9	1	2,0	3,2	80,3
					2	1,1	2,3	79,4
7	100	14	86,5	1,9	1	2,0	3,2	89,6
					2	2,4	3,6	90,0

^{*)} 1,2 dB vermeerdering voor het aanpassen van de meethoogte van 5 naar 3 m.

Voor categorie 7s, de geluidarme variant van de lamellenvoegen zijn slechts twee metingen beschikbaar. Doordat het aantal lamellen sterk verschilt, kan geen representatief gemiddelde worden berekend. In eerder onderzoek is bepaald dat de verschillende categorie 7s voegen steeds 5 dB stiller zijn dan de categorie 7 varianten met evenveel lamellen [1]. De GLW voor categorie 7s wordt daarom gekoppeld aan de waarde van categorie 7.

Keuze analysemethode

Uit 0 blijkt dat het verschil tussen methode 1 en 2 varieert per categorie (binnen 1 dB). Een verklaring hiervoor is dat een kleine 'n' in methode 2 zwaarder meeweegt. Daar tegenover staat dat 'uitschieters' in methode 1 tot een hogere toeslag leiden.

Voor categorieën met een 'n' ≥ 5 wordt methode 2 toegepast. Voor de andere categorieën methode 1. Het resultaat is weergegeven in tabel III.

tabel III Snelheidsafhankelijkheid en GLW bij 100 km/h

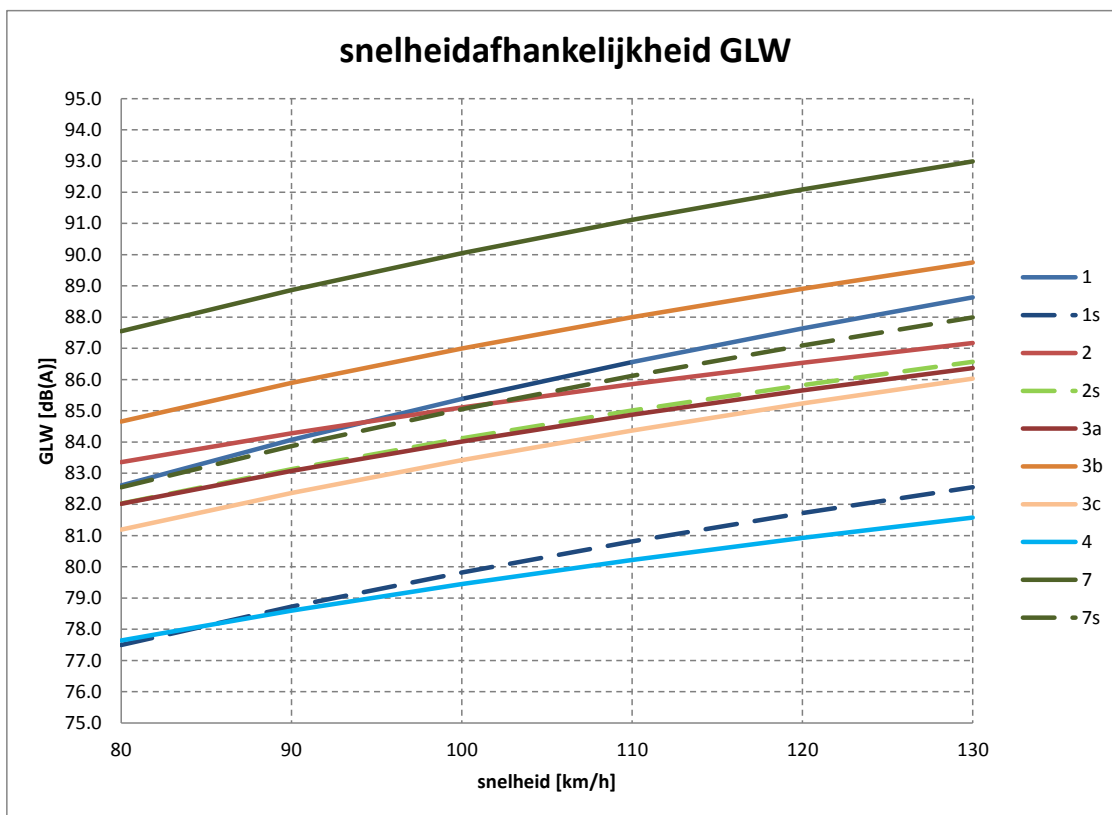
cat.	methode	b	GLW _{100 km/h}
1	2	28,6	85,4
1s	2	24,0	79,8
2	1	18,1	85,1
2s	2	21,5	84,1
3a	2	20,6	84,0
3b	1	24,1	87,0
3c	1	22,9	83,4
4	2	18,7	79,4
7	2	25,8	90,0
7s	alternatief	25,8	85,0

1.6 GLW per snelheidsdecade

Met de gegevens uit 0 kan een GLW per snelheidsdecade worden berekend. De GLW per snelheidsdecade kan nu berekend worden met:

$$GLW(V) = GLW(100) + b \cdot \log\left(\frac{V}{100 \text{ km/h}}\right)$$

In figuur 4 is de berekende GLW per voegcategorie weergegeven voor verschillende snelheden.



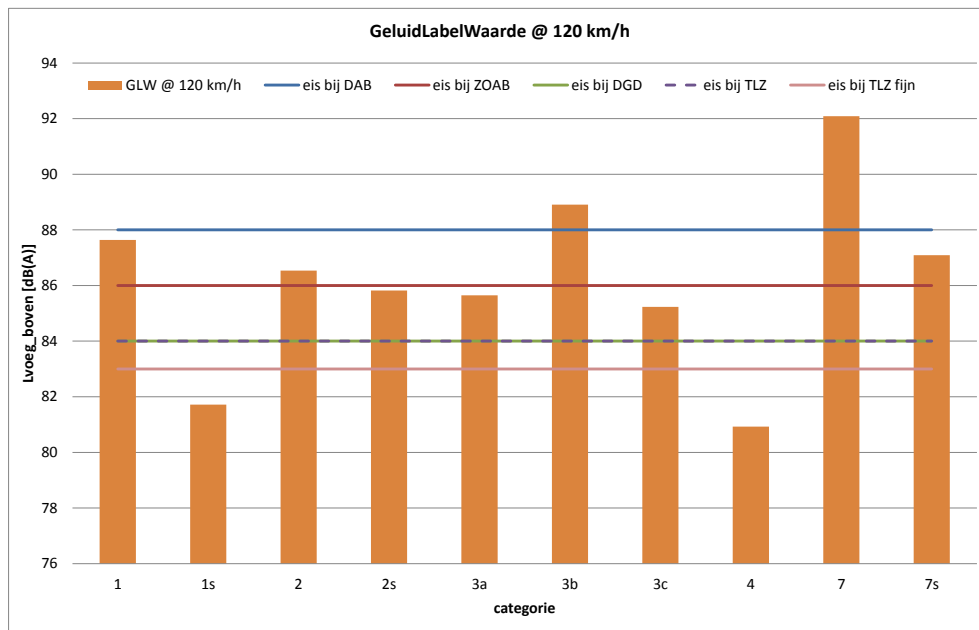
figuur 4 Snelheidsafhankelijkheid GLW per voegcategorie

1.7 GeluidLabelWaarden voor de MKM

In de MeerKeuzeMatrix wordt de GLW bij 120 km/h gepresenteerd. In de factsheets van de specifieke voegcategorieën wordt tevens de snelheidsafhankelijkheid en de resultaten over een groter snelheid interval gepresenteerd.

Het snelheid interval is afhankelijk van de beschikbaarheid van betrouwbare meetdata. Voor categorie 1 zijn een aantal metingen bij lage snelheid uitgevoerd. De GLW voor deze categorie kan daarom tussen 50 en 130 km/h worden bepaald. Voor de overige categorieën geldt een snelheid interval van 80 tot 130 km/h.

De resultaten bij 120 km/h zijn weergegeven in figuur 5. De resultaten met de GLW waarden per snelheid decade zijn weergegeven in tabel IV.



figuur 5 Algemene GLW voor de verschillende voegcategorieen bij 120 km/h

tabel IV Snelheidsafhankelijkheid en GLW per snelheid decade

cat.	b	50 km/h	60 km/h	70 km/h	80 km/h	90 km/h	100 km/h	110 km/h	120 km/h	130 km/h
1	28,6	76,8	79,0	80,9	82,6	84,1	85,4	86,6	87,6	88,6
1s	24,0				77,5	78,7	79,8	80,8	81,7	82,6
2	18,1				83,4	84,3	85,1	85,9	86,5	87,2
2s	21,5				82,0	83,1	84,1	85,0	85,8	86,6
3a	20,6				82,0	83,1	84,0	84,9	85,6	86,4
3b	24,1				84,7	85,9	87,0	88,0	88,9	89,7
3c	22,9				81,2	82,4	83,4	84,4	85,2	86,0
4	18,7				77,6	78,6	79,4	80,2	80,9	81,6
7	25,8				87,5	88,9	90,0	91,1	92,1	93,0
7s	25,8				82,5	83,9	85,0	86,1	87,1	88,0

1.8 Literatuur

[1] 'Analyse akoestische eigenschappen van voegovergangen', M+P.DVS.09.03.1, 8 februari 2010.