

L400 predicties Botlek spoortunnel

TNO Bouw

Lange Kleiweg 5, Rijswijk
Postbus 49
2600 AA Delft

Telefoon 015 284 20 00
Fax 015 284 39 90

Datum
8 november 2000

Auteur(s)
Dr.Ir. W.M.G. Courage

Opdrachtgever : Project Managementbureau CUR/COB F320
T.a.v. C.B.M. Blom
Postbus 524
3190 AL Hoogvliet

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, 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 onder-
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel
de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

Projectnaam : K320 predictie
Projectnummer : 006.01602/01.01

Aantal pagina's : **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
Aantal tabellen : 1
Aantal figuren : 79
Aantal bijlagen : 2

2000

Inhoud

1	Inleiding.....	3
2	MODELLERING.....	4
2.1	Emissie en immissie punten.....	4
2.2	Module tunnel.....	5
2.3	Module bodem.....	7
2.4	Module trein.....	9
2.5	Trein met aangepaste rijsnelheid	11
2.6	Module solver	12
2.7	Harmonische belasting.....	14
2.8	Paalfundering	14
3	Resultaten.....	15
3.1	Overdrachtsfuncties.....	15
3.2	Treinpassage 80 km/u	22
3.3	Treinpassage 70 km/u	27
4	Conclusies.....	31
5	Referenties.....	32

Bijlage A : Treinpassage 80 km/u

Bijlage B : Treinpassage 70 km/u

1 Inleiding

In opdracht van Projectbureau CUR/COB K300 zijn trillingsprognoses voor de Botlekspoortunnel uitgevoerd. De prognoses dienden uitgevoerd te worden met het predictiemodel L400 en met betrekking tot trillingsgrootheden en immissiepunten aan te sluiten bij ‘Predicties K300 – dynamisch gedrag’ (oktober 1999 Holland Railconsult) en ‘Specificatie instrumentatie en dynamische metingen Botlekspoortunnel’ (maart 1999 Geodelft).

Met bestaande modules uit het L400 model - trein, tunnel en bodem - zijn bron en transmissiepaden naar de immissiepunten opgesteld en doorgerekend. De bronnen omvatten:

- Een harmonische excitatie op een vast punt in de tunnel,
- Een treinpassage.

In hoofdstuk 2 van dit rapport wordt de modellering beschreven en zijn de gebruikte parameters voor de berekeningen vastgelegd.

De resultaten worden gepresenteerd in hoofdstuk 3. Voor de harmonische belasting gebeurt dit in termen van snelheden per eenheid kracht. Deze overdrachten worden in het frequentiegebied tot 50 Hz gepresenteerd.

De resultaten van de treinpassage worden gepresenteerd als tijdssignalen voor de optredende snelheidsniveaus. Voor deze tijdssignalen zijn bovendien frequentie analyses uitgevoerd. Top- en effectieve waarden voor de snelheden in de immissie punten worden grafisch gepresenteerd.

Tenslotte zullen in hoofdstuk 4 de belangrijkste conclusies worden samengevat.

2 MODELLERING

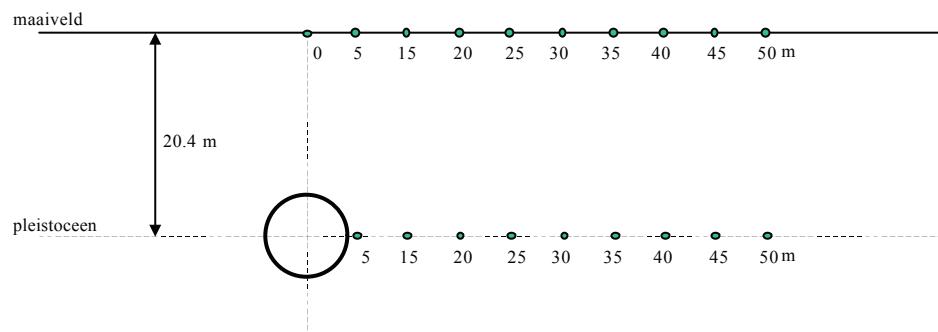
2.1 Emissie en immissie punten.

Trillingsniveaus en overdrachten worden berekend op:

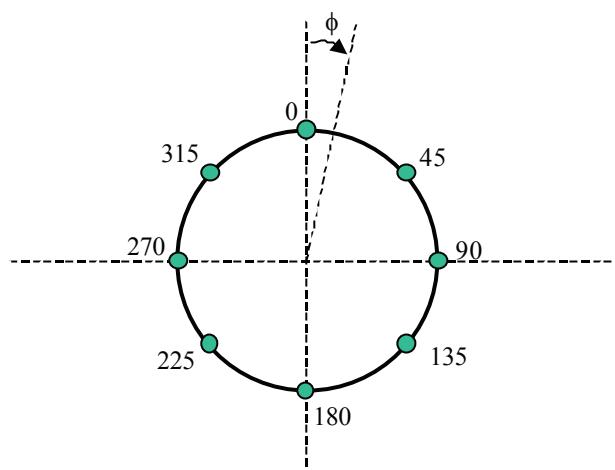
- maaiveld,
- op diepte, i.e. de pleistocene laag
- en op de tunneldoorsnede.

Op maaiveld en op de pleistocene laag zijn punten gedefinieerd op een onderlinge afstand van 5 m tot op een afstand van 50 m uit het hart van de tunnel, zie figuur 2.1. Voor de tunneldoorsnede geldt dat 8 punten op de omtrek van de tunnel zijn gedefinieerd. Figuur 2.2 geeft de ligging van deze punten aan. Deze worden benoemd met de hoek tot de verticale as.

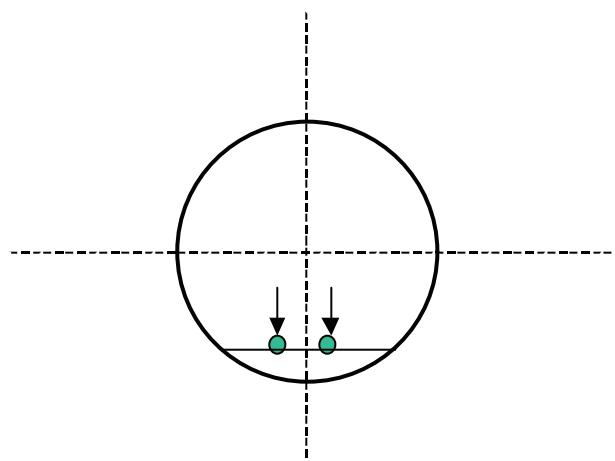
De belasting grijpt aan ter plekke van de spoorstaven, zoals geïllustreerd in figuur 2.3.



Figuur 2.1 Responsie punten op maaiveld en pleistocene.



Figuur 2.2 Responsie punten op tunneldoorsnede.



Figuur 2.3 Aangrijppunten voor belasting.

2.2 Module tunnel

In het L400 model zijn in een bibliotheek een aantal tunnelvarianten aanwezig in de vorm van massa en stijfheidsmatrices waarmee impedantiematten zijn op te zetten. De Botlek spoortunnel, zoals gerapporteerd in [1], heeft een binnenstraal van 4,625 m met een wanddikte van 0,4 m. De breedte van de inlay is 4,5 m; spoorbreedte 1,5 m.

Op grond hiervan is gekozen voor de geboorde tunnel uit de L400 bibliotheek die hierbij het dichtst bij aansluit. Deze tunnel heeft een binnenstraal van 3,8 m en een wanddikte van 0,35 m. De inlay heeft een breedte van 4,74 m; spoorbreedte is 1,5 m.

Met de gekozen tunnel wordt een impedantiematrix opgesteld voor alle door te rekenen frequenties in de prognoses. De impedantiematrix wordt bepaald tussen alle in het tunnelmodel geselecteerde knooppunten.

De frequenties zijn afhankelijk gesteld van de duur van de treinpassages waarvoor de prognose worden uitgevoerd, zie paragraaf 2.4. Dit heeft geleid tot een frequentie stap van 1/10,24 Hz. Verder zullen de prognoses voor de treinpassages inhouden dat frequenties tot 100 Hz worden meegenomen. In totaal zijn derhalve impedantiematrixen opgesteld voor 1024 frequenties.

Ten behoeve van de berekeningen is het aantal van 1024 frequenties opgeknipt in 4 stukken van elk 256 frequenties. Hiermee wordt bereikt dat de ascii files waarin de impedanties worden opgeslagen in grootte worden beperkt. Verder geldt ook dat de berekeningen voor de L400 solver, die een aantal impedantiematrixen voor een relatief groot aantal responsie punten zal moeten combineren, beter hanteerbaarder zijn. Onderstaand wordt als voorbeeld de commando file gepresenteerd waarmee de impedantiematrix voor de eerste 256 frequenties wordt opgesteld.

TRANSIENT

256
2.86
2.89E-04
0.09765625
0.1953125
0.2929688
0.390625
.....
.....
.....
24.80469
24.90234
25.

150
1
2
3
.....
.....
.....
148
149
150

2.3 Module bodem

De bodem bij de Botlek tunnel wordt in [1] geschematiseerd als bestaande uit 7 lagen. Ten behoeve van de rekensnelheid is dit voor het L400 model verder geschematiseerd tot 4 lagen. In tabel 1 worden de hiervoor gehanteerde parameters samengevat.

Tabel 2.1

laag	Compressie-modulus [N/m ²]	Compressie-modulus [N/m ²]	Dichtheid [kg/m ³]	Laagdikte
	58E6	27E6	1900	6.45
	106E6	49E6	1900	8.25
	147E6	68E6	1900	10.8
	225E6	105E6	2000	20.1

In [1] worden gehanteerde dempingswaarden gerapporteerd variërend van 0,8 tot 4,1 % van de kritische demping. E.e.a. afhankelijk van grondlaag en frequentie.

In deze L400 prognose is de conservatieve aanpak gehanteerd om geen demping in de grondlagen in rekening te brengen.

Evenals bij de module tunnel, zijn de op te stellen impedantiematrixen opgedeeld in de 4 frequentiegebieden van elk 256 frequenties. Daarnaast zijn deze opgesteld voor drie groepen van responsie punten: op maaiveld, het pleistoceen en de tunneldoorsnede. Deze drie groepen van responsie punten zijn apart door de solver verwerkt. Onderstaand de invoerfile voor de eerste 256 frequenties en de responsie punten op maaiveld.

```

NUMBFREQ TRANSIENT 256
0.09765625
0.1953125
0.2929688
.....
.....
.....
24.80469
24.90234
25.
COMMENT NODES NUMBER-OF-NODES
NODES 27
INITIALISE
GDMODEL
4
1 5 0
58E6 27E6 1900 0.0 6.45

```

106E6 49E6 1900 0.0 8.25
147E6 68E6 1900 0.0 10.8
225E6 105E6 2000 0.0 20.1
2
2
1 10

7
0.20 0.20 0.20 0.20 0.2 0.2 10.0
2
0. 0. -20.4
1. 0.
4. 8.

2
1 2
4
0.0 0.50 1.0 0.50
READNODES
35 -3. 0. -16.4
36 -3. -2.8284 -17.5716
37 -3. -4. -20.4
38 -3. -2.8284 -23.2284
39 -3. 0.001 -24.4
40 -3. 2.8284 -23.2284
41 -3. 4. -20.4
42 -3. 2.8284 -17.5716
43 0. -2.8284 -17.5716
44 0. -4. -20.4
45 0. -2.8284 -23.2284
46 0. 0.001 -24.4
47 0. 2.8284 -23.2284
48 0. 4. -20.4
49 0. 2.8284 -17.5716
50 0. 0. -16.4
51 0. 0.001 -0.001
52 0. 5. -0.001
53 0. 10. -0.001
54 0. 15. -0.001
55 0. 20. -0.001
56 0. 25. -0.001
57 0. 30. -0.001
58 0. 35. -0.001
59 0. 40. -0.001
60 0. 45. -0.001

61 0. 50. -0.001
 END

2.4 Module trein

Voor de prognoses uit [1] is door TNO de treinbelasting gegenereerd met de L400 module trein. Dezelfde treinbelasting is gebruikt in de onderhavige studie. Het betreft hierbij een ertstrein met een rijnsnelheid van 80 km/h.

De trein bestaat uit 3 1600 locomotieven en 9 lege bakken. De trein heeft daarmee een lengte van om en nabij de 200 m en een bijbehorende passage tijd van 9 s.

Frequenties tot 100 Hz zijn in de prognose meegenomen. E.e.a. heeft geleid tot de volgende discretisatie in tijd en frequentie domein:

Tijdstap: $dt = 0,005 \text{ s}$

Passage tijd: $T = 10,24 \text{ s}$

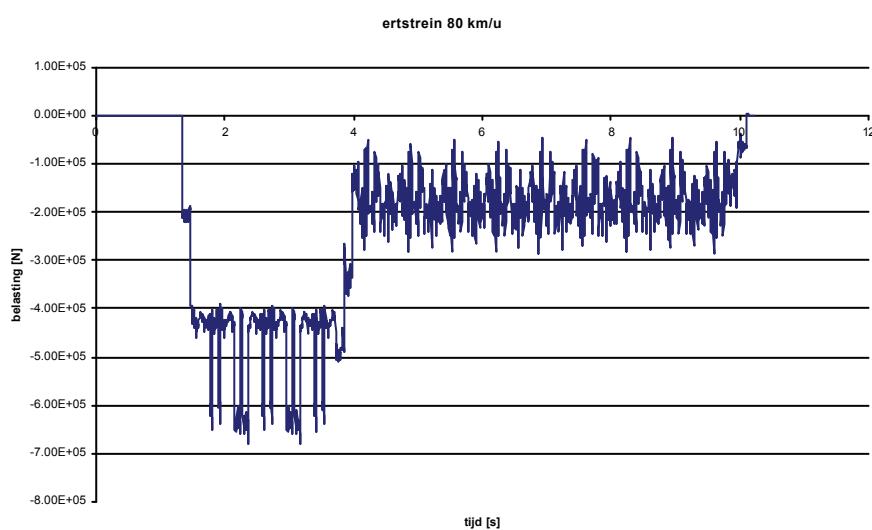
Aantal tijdstappen: $N = 2048$

Frequentiestap: $df = 1/T = 0,0976562 \text{ Hz}$

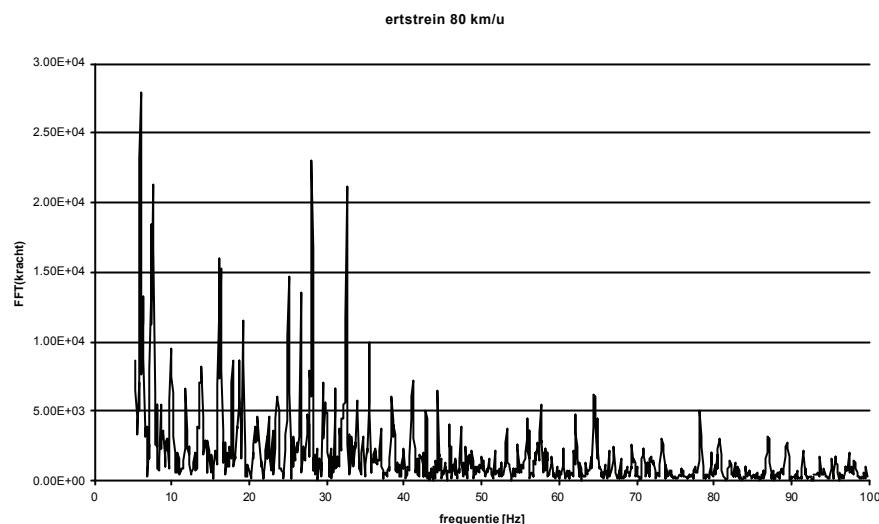
Frequentiegebied: $f_{\text{fold}} = df * N/2 = 100 \text{ Hz}$

Aantal frequenties: $N/2 = 1024$

Figuur 2.4 toont het geselecteerde treinsignaal; weergegeven is de belasting werkend op 10 m spoor. De belasting geldt als belasting op beide spoorstaven samen. In figuur 2.5 worden de Fourier amplituden per frequentiestap weergegeven. Frequenties lager dan 5 Hz zijn in deze figuur weggelaten in verband met de schaling. De berekeningen met de module solver zullen worden uitgevoerd met het reële en imaginaire deel van dit spectrum, zodat de fase informatie meegenomen wordt.



Figuur 2.4 Belasting op spoor (over 10 m)



Figuur 2.5 FFT van belasting op spoor

De trein samenstelling is met behulp het programma GENTRAIN gegenereerd conform de definitie zoals in onderstaande listing:

*EL1600
EL1600
EL1600
FAALS
FAALS
FAALS
FAALS
FAALS
FAALS
FAALS
FAALS
FAALS
FAALS*

Vervolgens is met onderstaande file het belastingsignaal berekend met module trltrein:

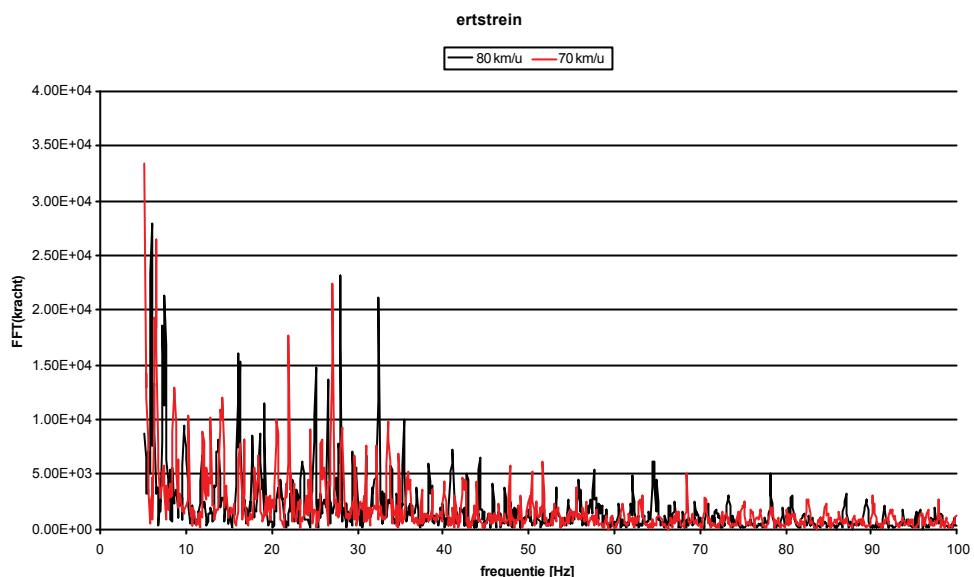
*2048
2048
0.005
0.6
1.5
19.698e6
2.8e8
80.
10.
310.
30*

```
generate
0.1
1.
3.
0.02
3.1
300
end
0.1
1.
3.
0.02
3.1
300
end
```

2.5 Trein met aangepaste rijsnelheid

Er is een treinbelasting gegenereerd voor een lagere rijsnelheid. Hierbij is de keuze gemaakt om de passage tijd binnen de 10,24 s te houden zodat de discretisatie in het tijd en frequentie gebied hetzelfde kan blijven als bij de rijsnelheid van 80 km/h. Dit heeft als voordeel dat de opgestelde impedantiematrixen uit paragraaf 2.2 en 2.3 voor tunnel en grond kunnen blijven gebruikt.

De laagste rijsnelheid waarmee dit mogelijk was betrof 70 km/u. Figuur 2.6 toont het Fourier spectrum voor deze rijsnelheid. Ter vergelijking is het Fourier spectrum voor de 80 km/u simulatie in dezelfde figuur nogmaals opgenomen. De verschillen in de spectra vinden niet alleen hun oorsprong in de veranderde rijsnelheid. Door de wijze van generatie is tevens de spoorligging in beide situaties anders. De spectra dienen geïnterpreteerd te worden als één trekking voor een rijsnelheid van 80 km/u en één trekking voor een rijsnelheid van 70 km/u uit verzamelingen van mogelijkheden.



Figuur 2.6 FFT van belasting op spoor bij 2 rijsnelheden

2.6 Module solver

De module solver is herhaald aangeroepen met de desgewenste combinaties van frequenties en responsiepunten.

De aansturing naar de betreffende impedantie matrices vindt per combinatie met een sturingsfile plaats, b.v.:

```
3
datam11
..\tunnel1\tunn11.imp
..\bodem3\maai11.imp
```

Hierin verwijst ‘datad11’ naar een commandofile met belastingen en probleem definitie. Onderstaand voorbeeld bevat een dergelijke commandofile voor de responsie punten op maaiveld en de eerste 256 frequenties van de belastingen die bij de erts-trein – 80 km/u – horen. Bij de belastingen zijn 2 punten ter plaatse van de spoorstellen in de tunnel aangestoten. Dit betekent dat op elk punt de helft van de in paragraaf 2.4 en 2.5 gedefinieerde spectra in rekening worden gebracht.

COMMENT F320 tunnel predictie
NUMBFREQ 256
LOADINGTYPE TRANSIENT
NODES
61
INITIALISE
OUTPUT 11
51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61
EMISSIONPOINT 1
COMMENT ANGLE 0.
FREQVERLOADING
0.09765625 4985.664 105482
0.1953125 73777.8 -5194.925
0.2929688 -8117.395 -32129.135
.....
.....
.....
24.70703 -630.3195 1567.546
24.80469 2140.3415 227.0913
24.90234 886.1535 -3924.344
25. -4652.339 -2357.5035
EMISSIONPOINT 2
COMMENT ANGLE 0.
FREQVERLOADING
0.09765625 4985.664 105482
0.1953125 73777.8 -5194.925
0.2929688 -8117.395 -32129.135
.....
.....
.....
24.80469 2140.3415 227.0913
24.90234 886.1535 -3924.344
25. -4652.339 -2357.5035
ELEMENT 50 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 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
41 42 43 44 45 46 47 48 49 50
DATA 3D
END

2.7 Harmonische belasting

Voor de harmonische belasting wordt gebruik gemaakt van de frequenties waarvoor de impedantiematriices reeds zijn gedefinieerd. Slechts de commandofiles voor de module solver worden hiervoor aangepast in de zin dat per frequentie een eenheidsbelasting wordt opgegeven. Bovendien zullen de ovedrachtsfuncties tussen responsie en excitatie slechts worden berekend tot een frequentie van 50 Hz.

2.8 Paalfundering

Om de invloed van een palenveld in de bodem op enige afstand van de tunnel te onderzoeken is geprobeerd een funderingsmodule uit het L400 model te combineren met bodem en tunnel.

Dit heeft niet geleid tot een werkend model. Vermoed wordt dat een eenduidige definitie van knoopnummering in de verschillende modules ontbreekt.

3 Resultaten

3.1 Overdrachtsfuncties

In figuren 3.1 tot en met 3.4 worden de overdrachtsfuncties gepresenteerd voor punten op de tunneldoorsnede. Dit gebeurd achtereenvolgens voor de horizontale bewegingen (loodrecht op de tunnel-as) en de verticale bewegingen. Om het aantal lijnen per figuur te beperken zijn de punten opgesplitst in punten per tunnelhelft: van 0 tot 180 graden en van 180 graden tot 260 graden.

De overdrachtsfuncties geven duidelijke frequentiegebieden te zien waarbij de trillingsniveaus toenemen.

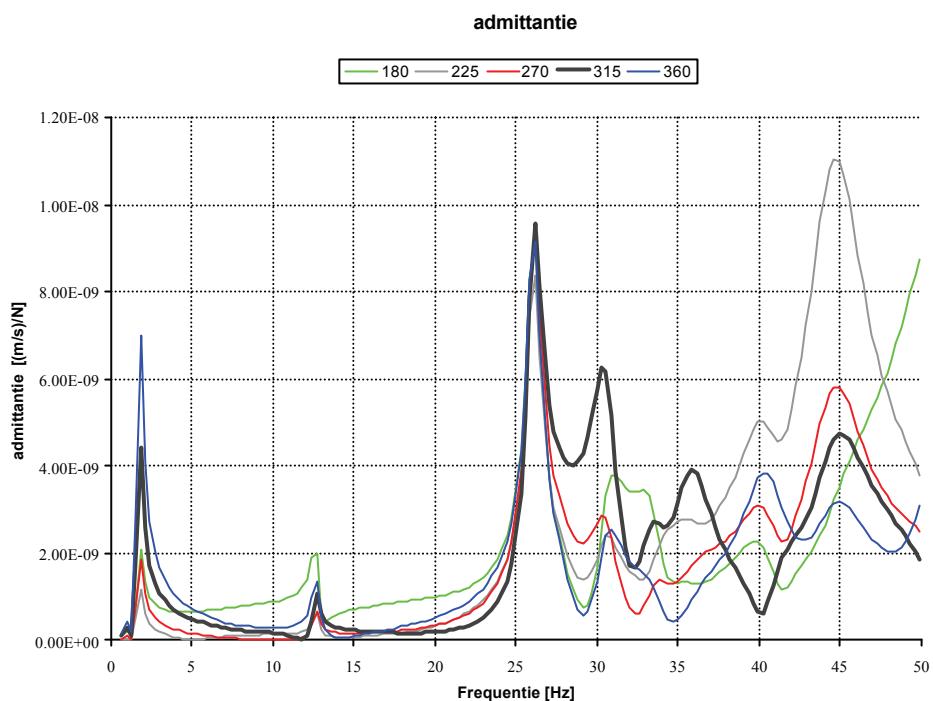
De horizontale admittantiewaarden zijn zoals te verwachten een orde lager dan in verticale richting aangezien de belasting in verticale richting werkt.

Wat opvalt is dat geen symmetrie aanwezig is voor de punten aan weerszijden van de verticaal door de tunnel-as.

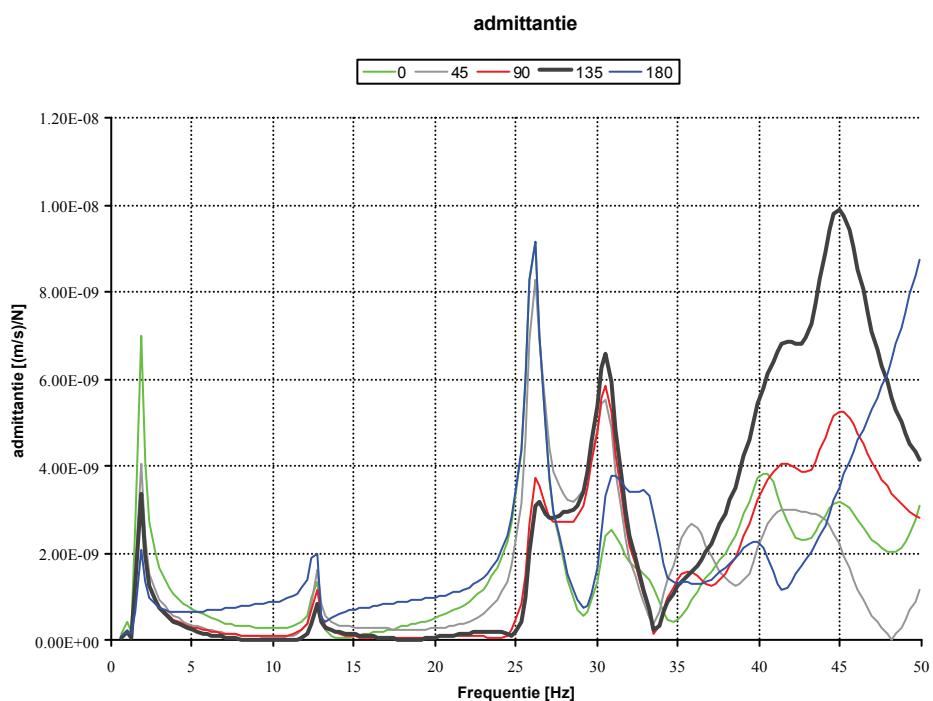
Figuren 3.5 tot en met 3.8 tonen de overdrachtsfuncties voor de punten op de pleistocene laag. Wederom is een splitsing gemaakt voor horizontale en verticale richting en zijn de responsiepunten verdeeld over twee grafieken.

Vergelijkbare frequentiegebieden als op de tunnelwand zijn te onderscheiden. Direct naast te tunnel treden hoge laagfrequente admittantie waarden op in horizontale richting.

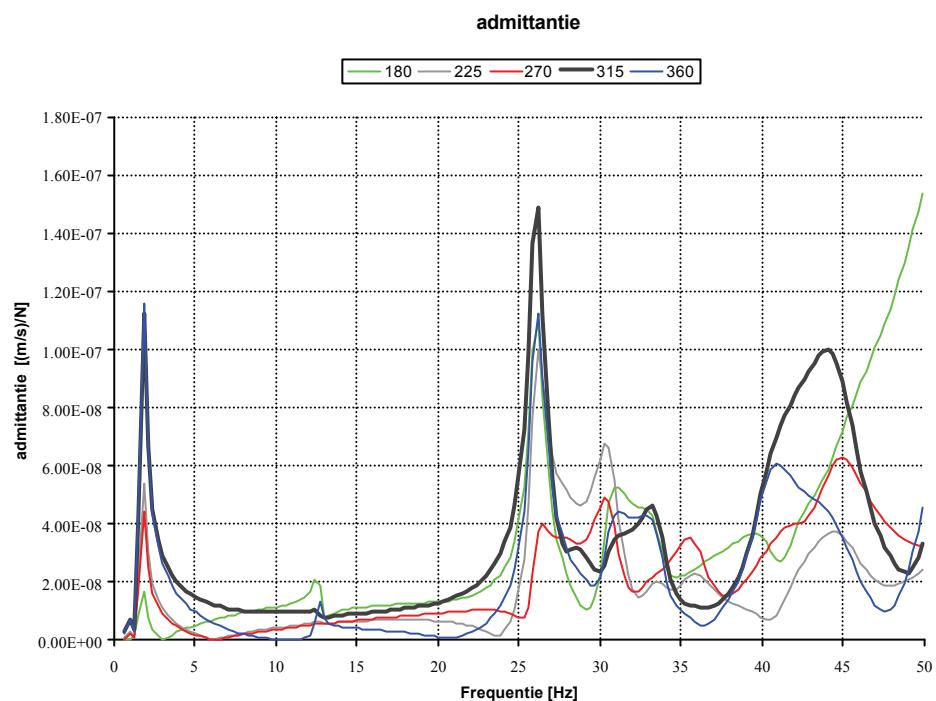
Tenslotte worden in figuren 3.6 tot en met 3.9 de resultaten getoond voor de responsiepunten op maaiveld.



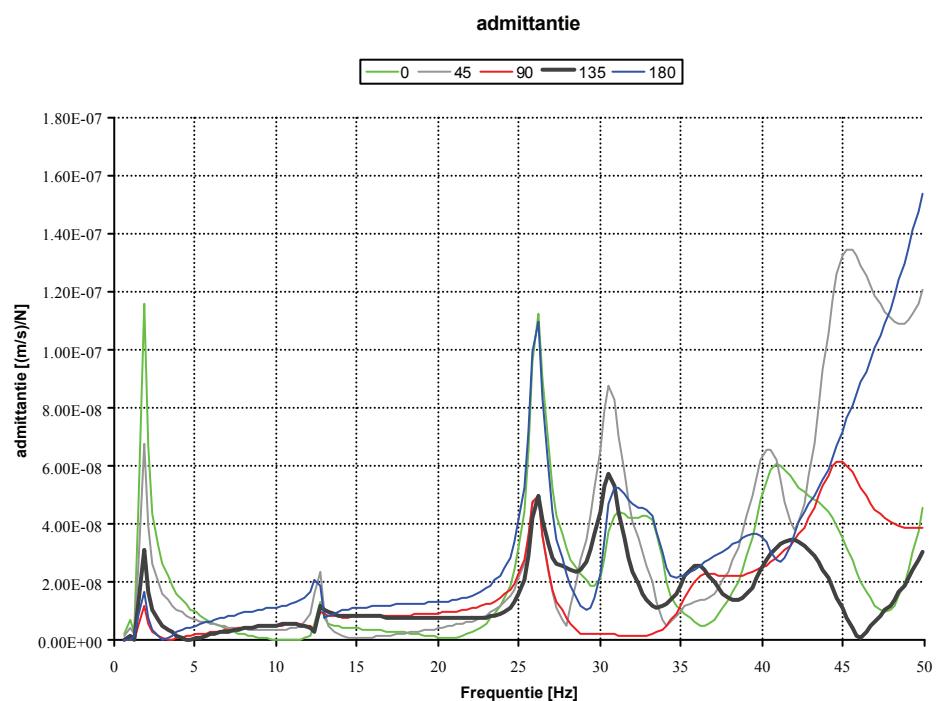
Figuur 3.1: tunnel horizontaal



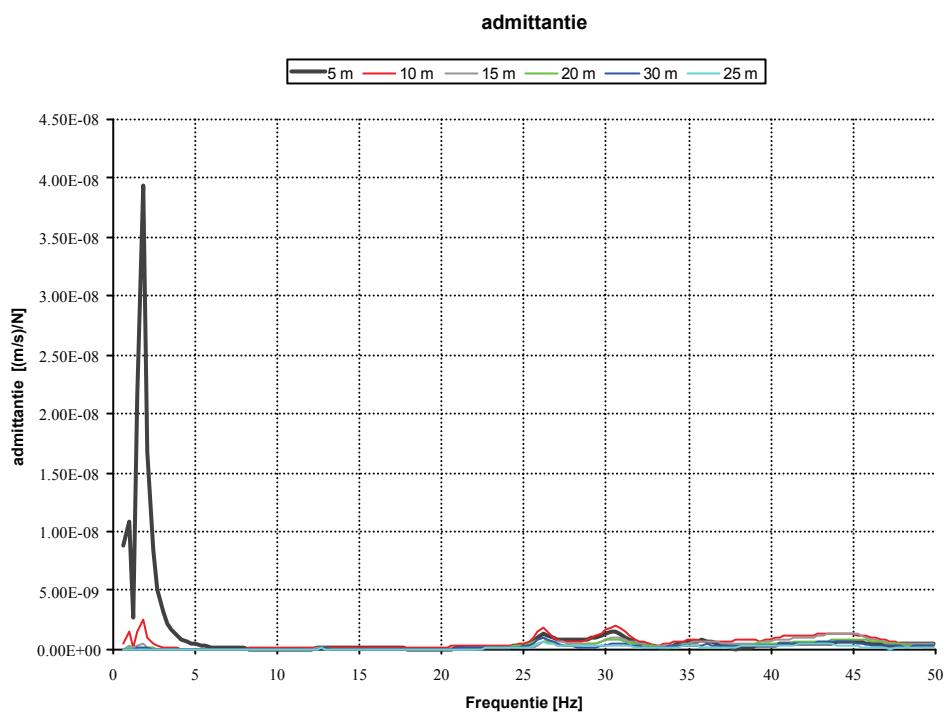
Figuur 3.2: tunnel horizontaal



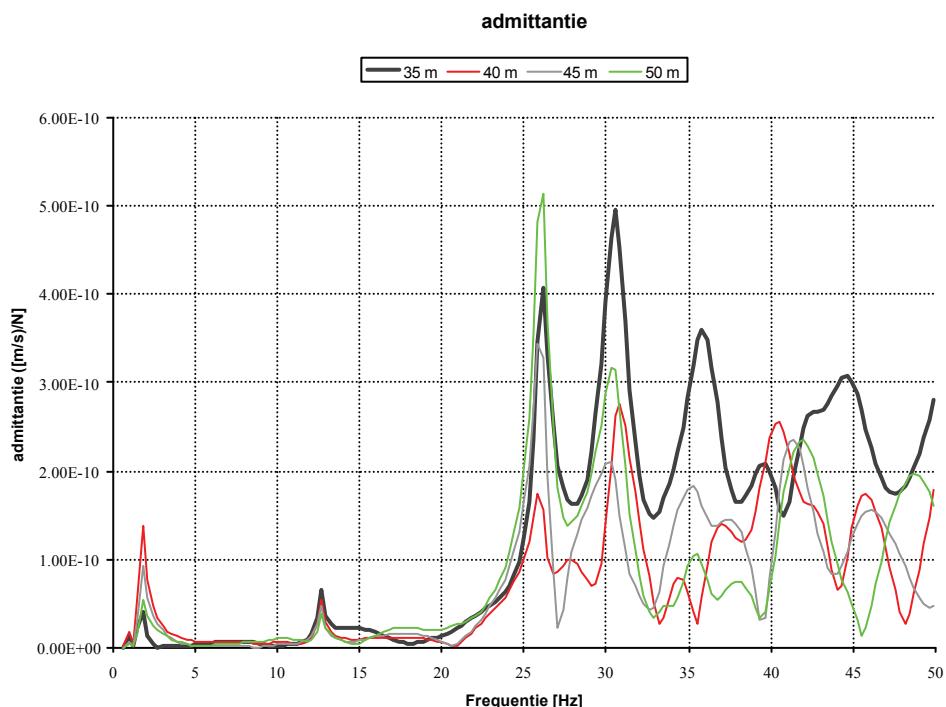
Figuur 3.3: tunnel verticaal



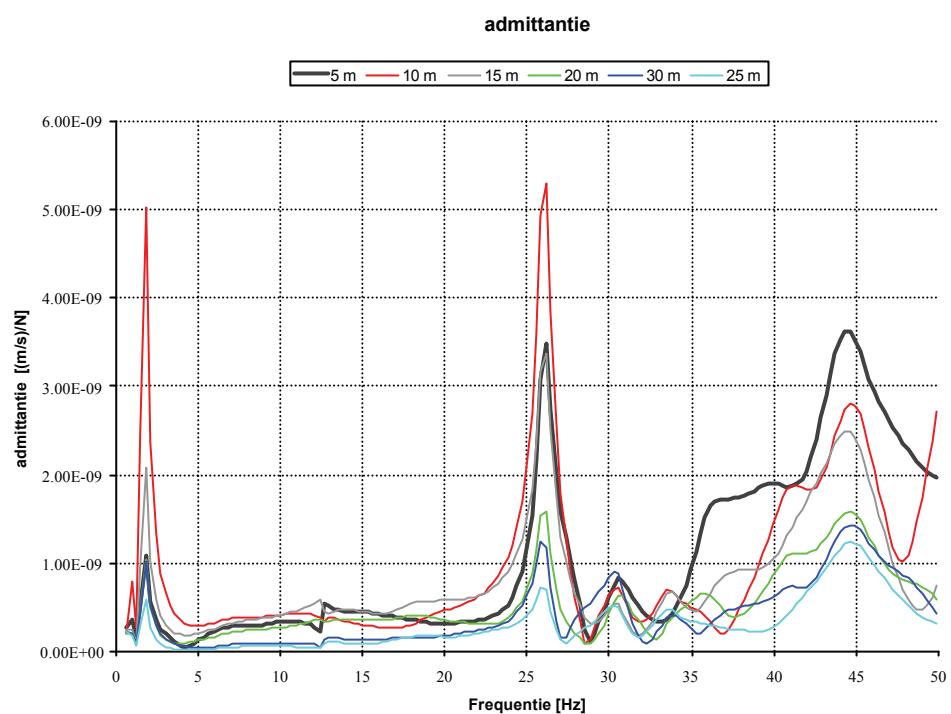
Figuur 3.4: tunnel verticaal



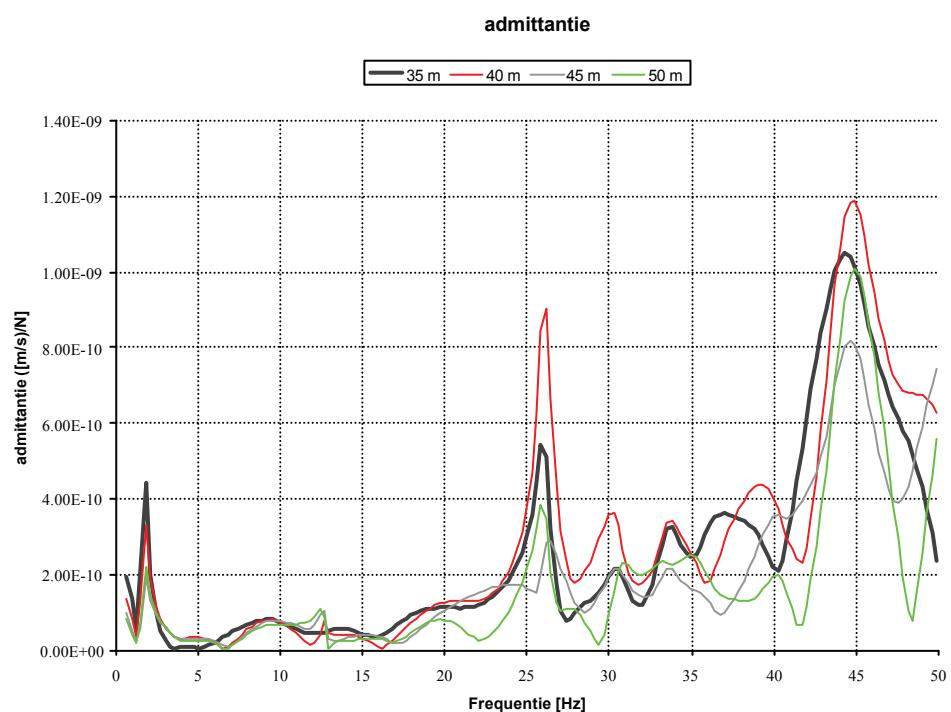
Figuur 3.5: pleistoceen horizontaal



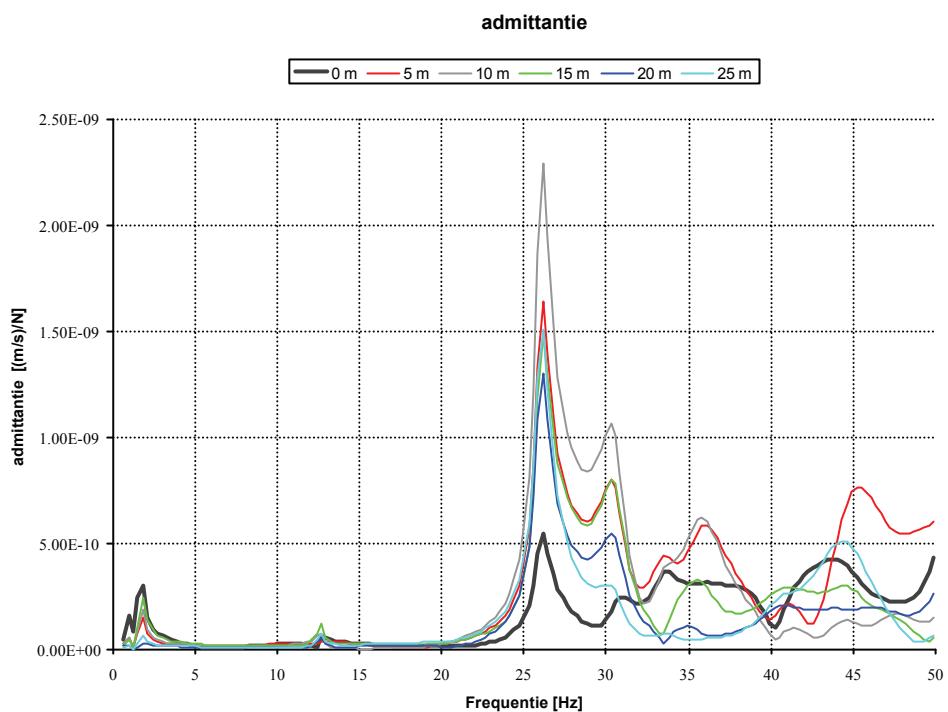
Figuur 3.6: pleistoceen horizontaal



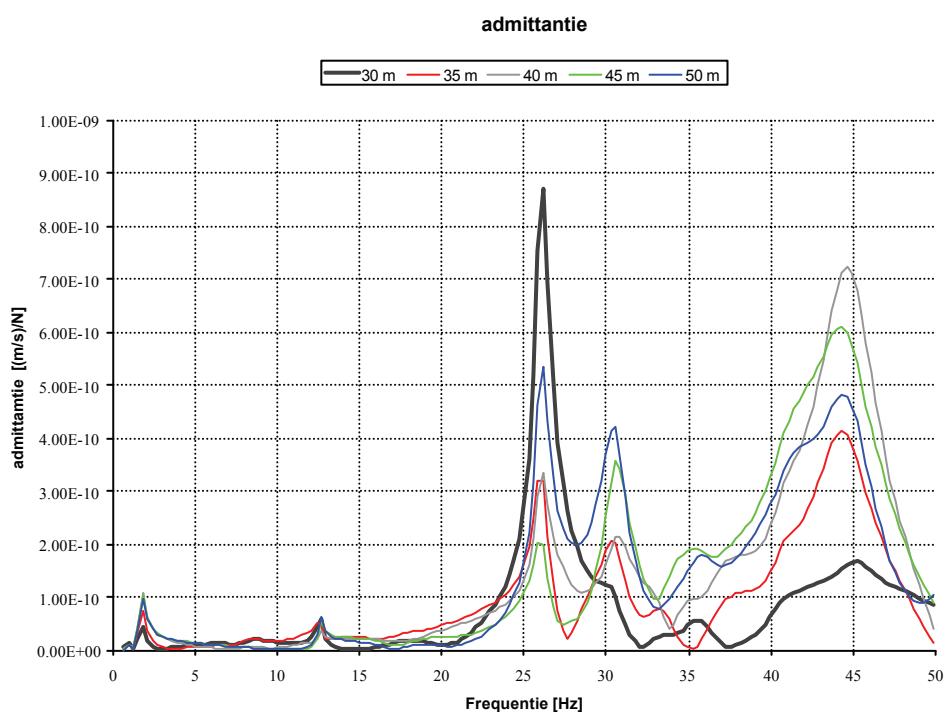
Figuur 3.7: pleistoceen verticaal



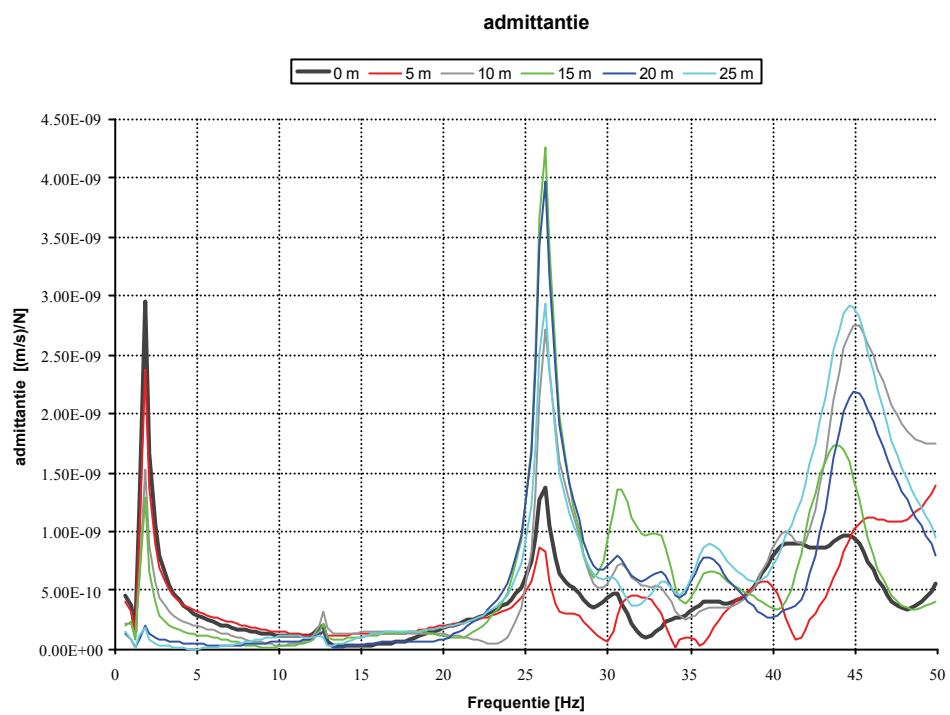
Figuur 3.8: pleistoceen verticaal



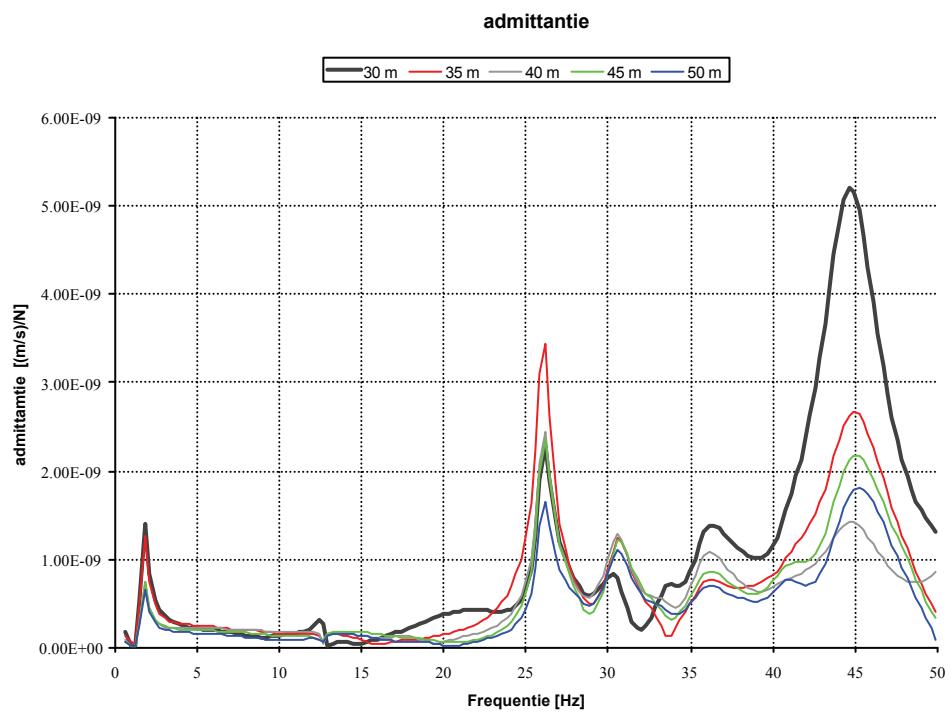
Figuur 3.9: maaiveld horizontaal



Figuur 3.10: maaiveld horizontaal



Figuur 3.11: maaiveld verticaal



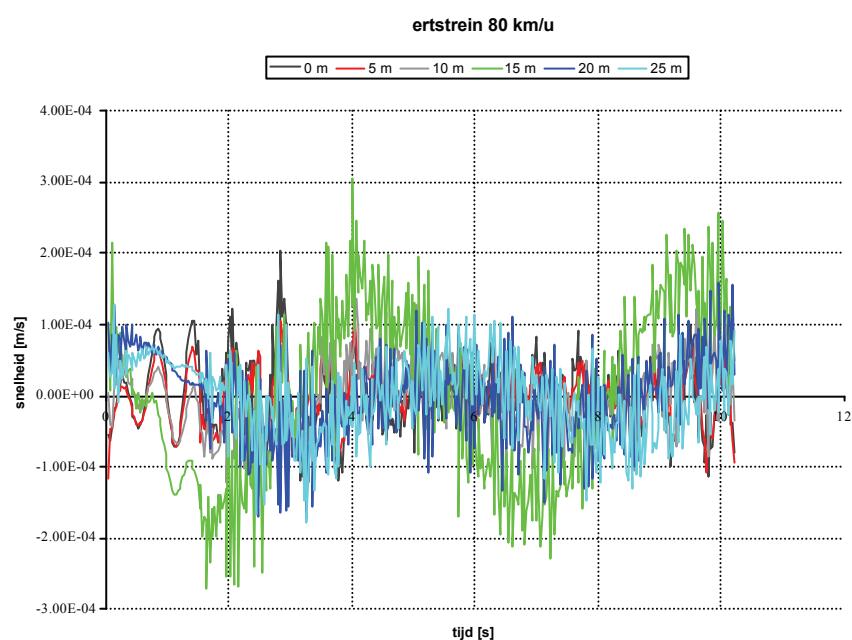
Figuur 3.12: maaiveld verticaal

3.2 Treinpassage 80 km/u

Voor de treinpassage zijn de responsiespectra berekend. Via een inverse FFT bewerking zijn hieruit ook de tijdsignalen voor de responsies bepaald.

Vervolgens zijn van de tijdsignalen de topwaarden en de waarden voor de effectieve snelheid berekend.

Bij de generatie van de tijdsignalen is gebleken dat in een aantal gevallen deze worden gedomineerd door lage frequenties. Een voorbeeld hiervan wordt gepresenteerd in figuur 3.13.



Figuur 3.13 verticale trillingssnelheden op maaiveld.

Omdat deze lage frequenties niet reëel worden geacht, zijn bij de verwerking tot tijdsignalen en de bijbehorende bepaling van de top en effectieve waarden de frequenties beneden de 2 Hz buiten beschouwing gelaten.

De figuren met de tijdsignalen en de frequentiespectra zijn opgenomen in bijlage A.

De responsie signalen vertonen allen een significante verschuiving in de tijd. Deze is zelfs zodanig dat de ‘staart’ van het signaal uit het tijdsvenster van 10,24 s loopt en vervolgens aan het begin zichtbaar is. De mate waarin deze faseverschuiving optreedt is echter onwaarschijnlijk hoog. Zeker in geval van de punten op de tunneldoorsnede. Hiervan mag worden verwacht dat deze simultaan met de belasting optreden.

Voor punten op de tunneldoorsnede staan de top en effectieve waarden (mm/s) weergegeven in de figuren 3.14 en 3.15 voor respectievelijk de beide richtingen. Wederom valt een mate van asymmetrie ten opzichte van de tunnel as op. Verder zijn tegen de verwachting in bij 0 en 180 graden horizontale bewegingen waar te nemen.

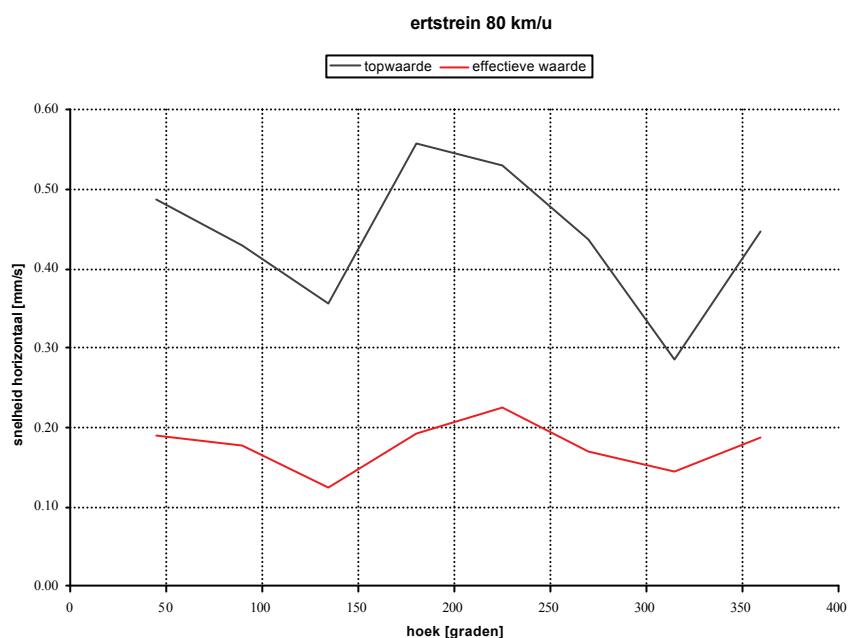
In verticale richting zullen de trillingsniveaus een orde hoger liggen dan horizontaal. Opvallend is dat de verticale bewegingen aan de bovenzijde tunnel hoger zijn dan aan de onderzijde tunnel. Mogelijk dat inlay en gelaagdheid van de grond hier een rol spelen.

De top en effectieve waarden voor de punten op het pleistoceen zijn als functie van de afstand tot de tunnel as weergegeven in figuren 3.16 en 3.17.

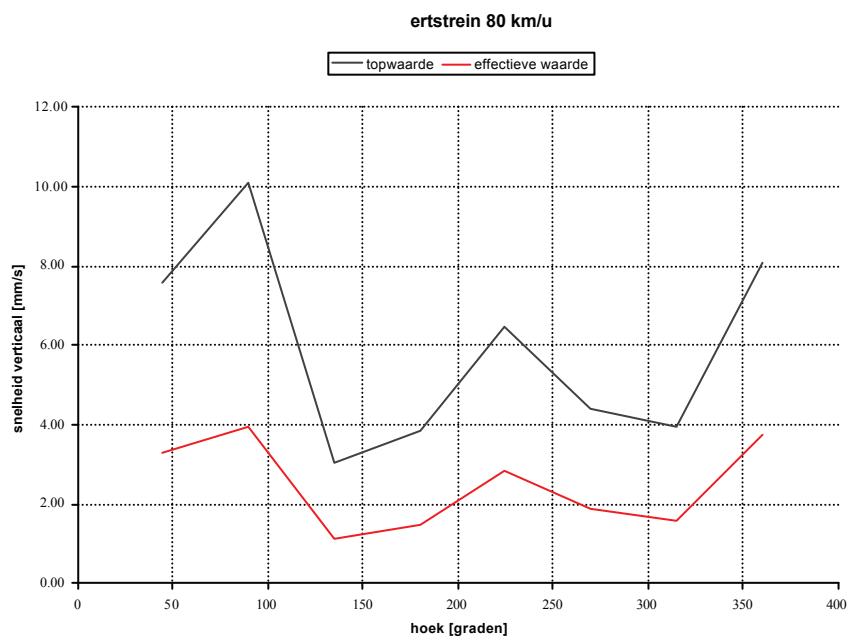
De horizontale trillingssnelheden op 5 m tot de tunnel zijn een orde groter dan de overige. Figuur A.9 uit bijlage A laat zien dat hieraan een frequentie van 2 HZ ten grondslag ligt, die niet is weg gefilterd.

Figuren 3.18 en 3.19 tonen deze waarden voor de punten op maaiveld.

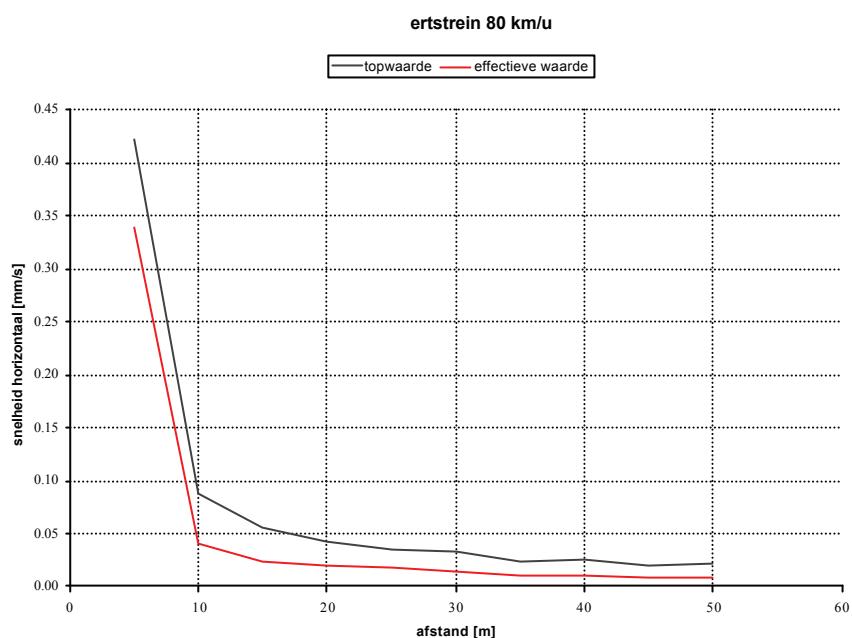
De top en effectieve waarden nemen af als functie van de afstand tot de tunnel as. Uitzondering zijn de verticale trillingssnelheden op maaiveld waar in het gebied van 15-30 m een verhoging optreedt. Als gevolg hiervan lijken deze niveaus in globale zin over het gebied van 0 tot 50 m nogenoeg constant.



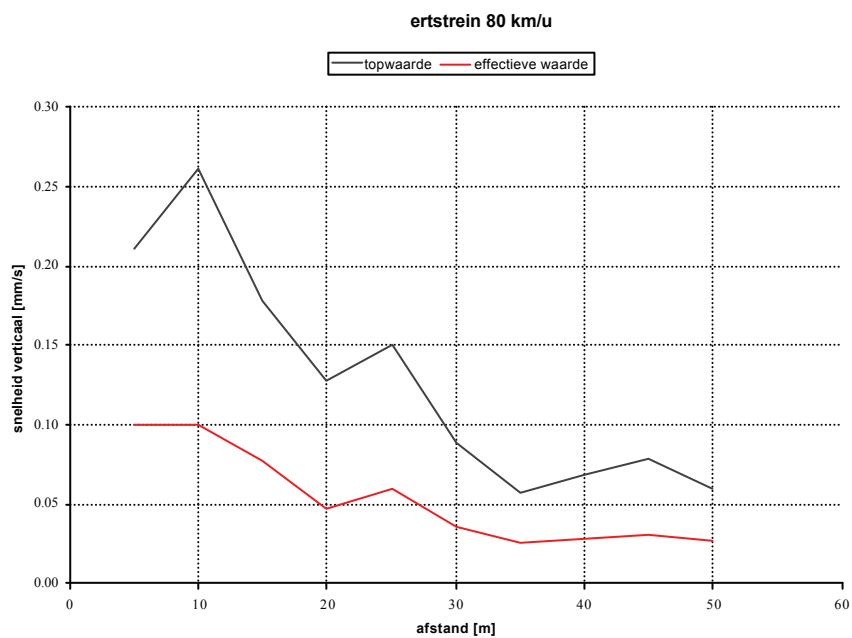
Figuur 3.14 Horizontale snelheden op tunneldoorsnede



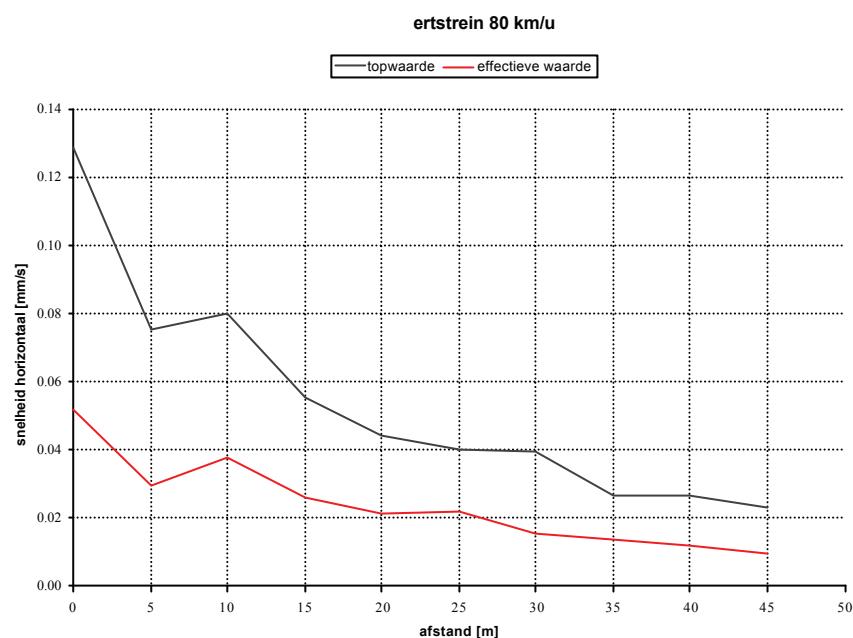
Figuur 3.15 Verticale snelheden op tunneldoorsnede



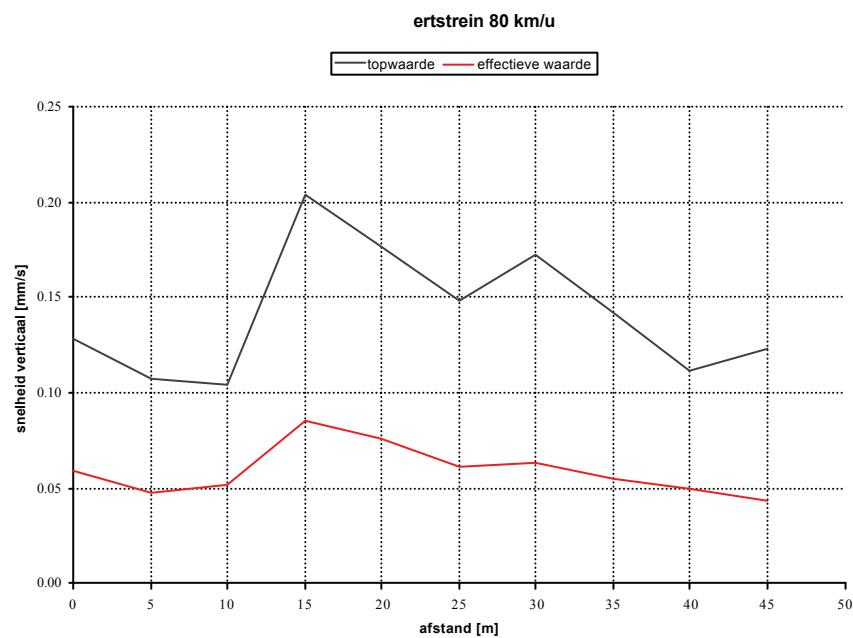
Figuur 3.16 Horizontale snelheden op pleistoceen



Figuur 3.17 Verticale snelheden op pleistoceen



Figuur 3.18 Horizontale snelheden op maaiveld



Figuur 3.19 Verticale snelheden op maaiveld

3.3 Treinpassage 70 km/u

De figuren met de tijdsignalen en de frequentiespectra voor de rijsnelheid van 70 km/u zijn opgenomen in bijlage B.

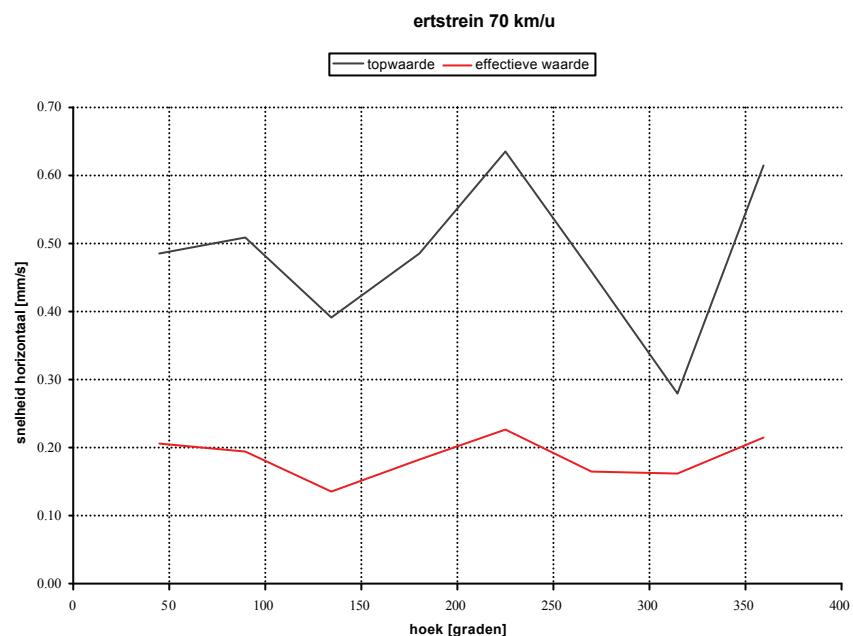
Voor punten op de tunneldoorsnede staan de top en effectieve waarden (mm/s) weergegeven in de figuren 3.20 en 3.21 voor respectievelijk de beide richtingen.

De top en effectieve waarden voor de punten op het pleistoceen zijn als functie van de afstand tot de tunnel as weergegeven in figuren 3.22 en 3.23.

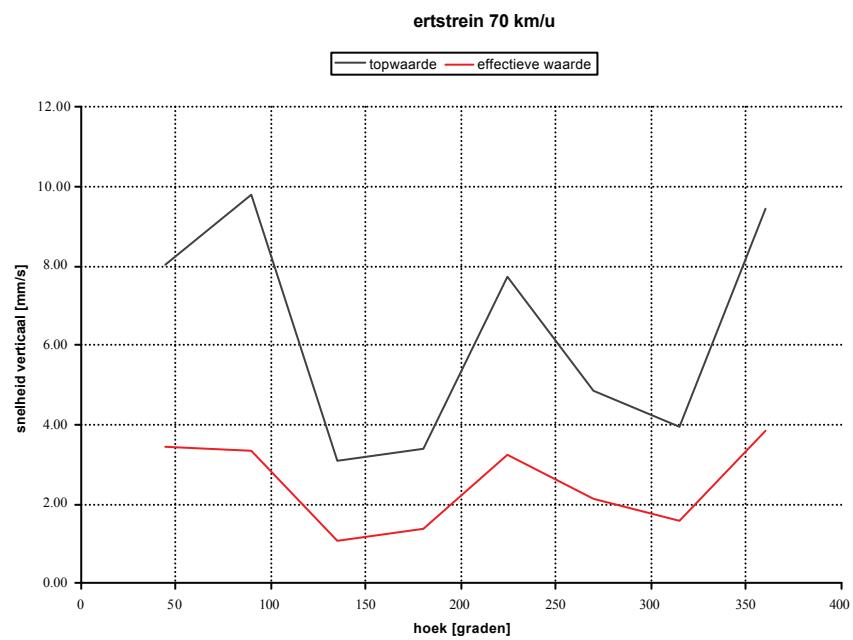
Figuren 3.24 en 3.25 tonen deze waarden voor de punten op maaiveld.

In paragraaf 2.5 is reeds aangeduid dat de spectra voor de twee rijsnelheden relatief weinig van elkaar verschillen. Daarnaast speelt een rol dat behalve een lagere rij-snelheid ook een andere (trekking van de ‘random’) spoorligging in de belasting zit opgesloten.

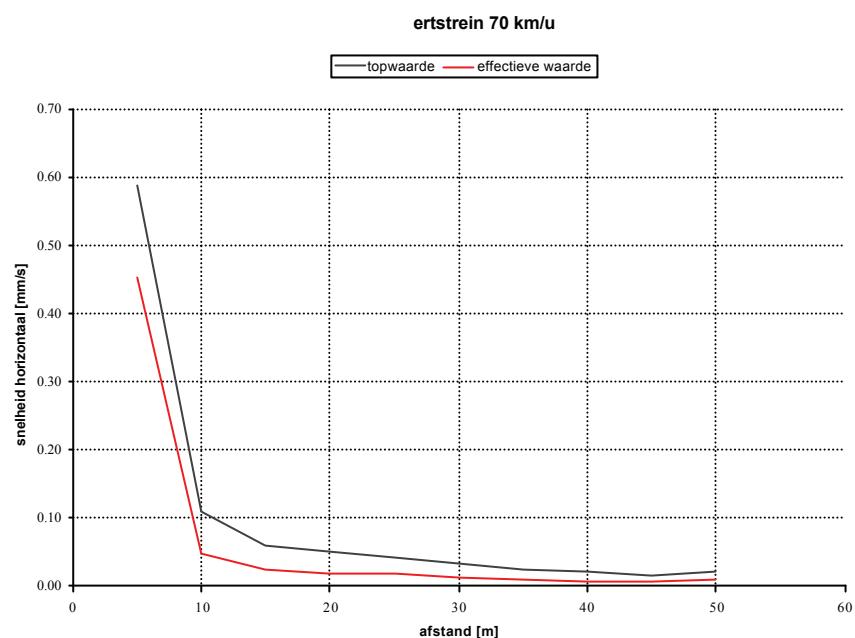
In de responsies in termen van top en effectieve waarden zijn dan ook nauwelijks verschillen waar te nemen ten opzichte van de figuren voor de rijsnelheid van 80 km/u. Daar waar deze wel optreden zijn ze niet eenduidig aan een onderliggend mechanisme toe te schrijven.



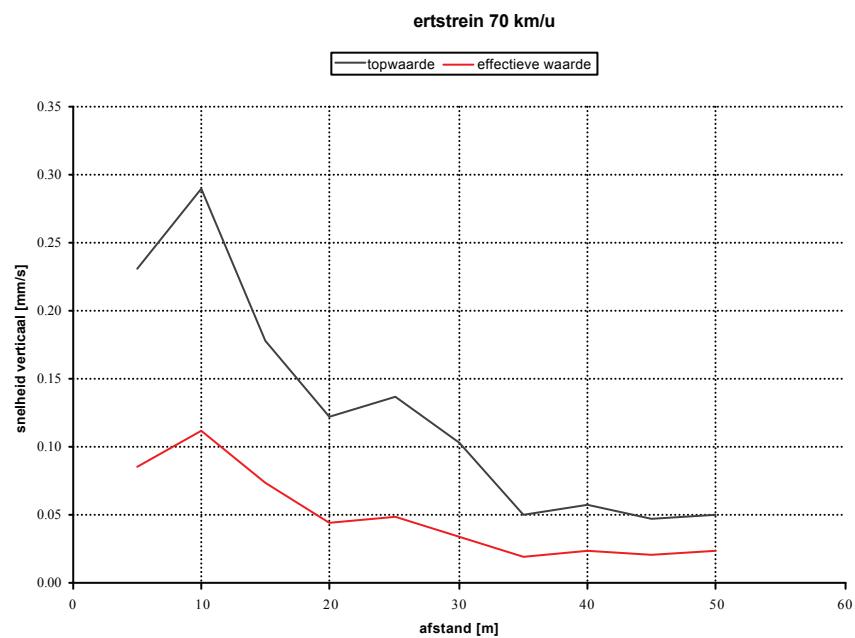
Figuur 3.20 Horizontale snelheden op tunneldoorsnede



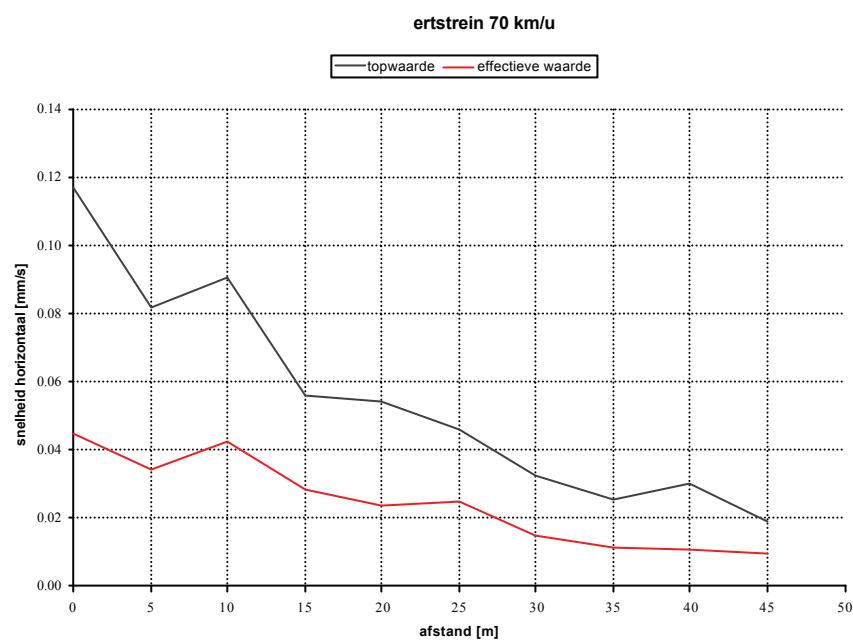
Figuur 3.21 Verticale snelheden op tunneldoorsnede



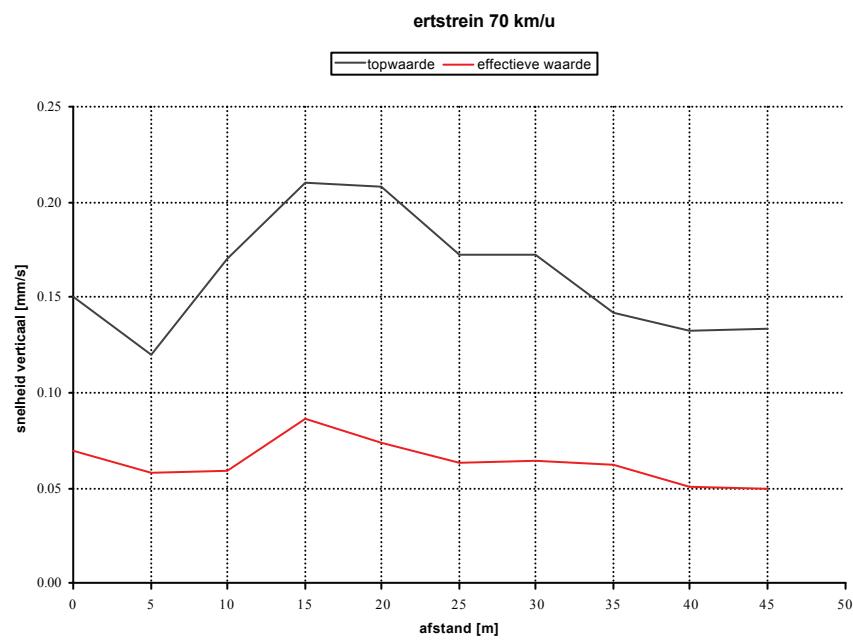
Figuur 3.22 Horizontale snelheden op pleistoceen



Figuur 3.23 Verticale snelheden op pleistoceen



Figuur 3.24 Horizontale snelheden op maaiveld



Figuur 3.25 Verticale snelheden op maaiveld

4 Conclusies

In opdracht van Projectbureau CUR/COB K300 zijn trillingsprognoses voor de Botlekspoortunnel uitgevoerd. De prognoses dienden uitgevoerd te worden met het predictiemodel L400.

Met bestaande modules uit het L400 model - trein, tunnel en bodem - zijn bron en transmissiepaden naar de immissiepunten opgesteld en doorgerekend. De bronnen omvatten trein passages bij 2 rijsnelheden en een harmonische belasting.

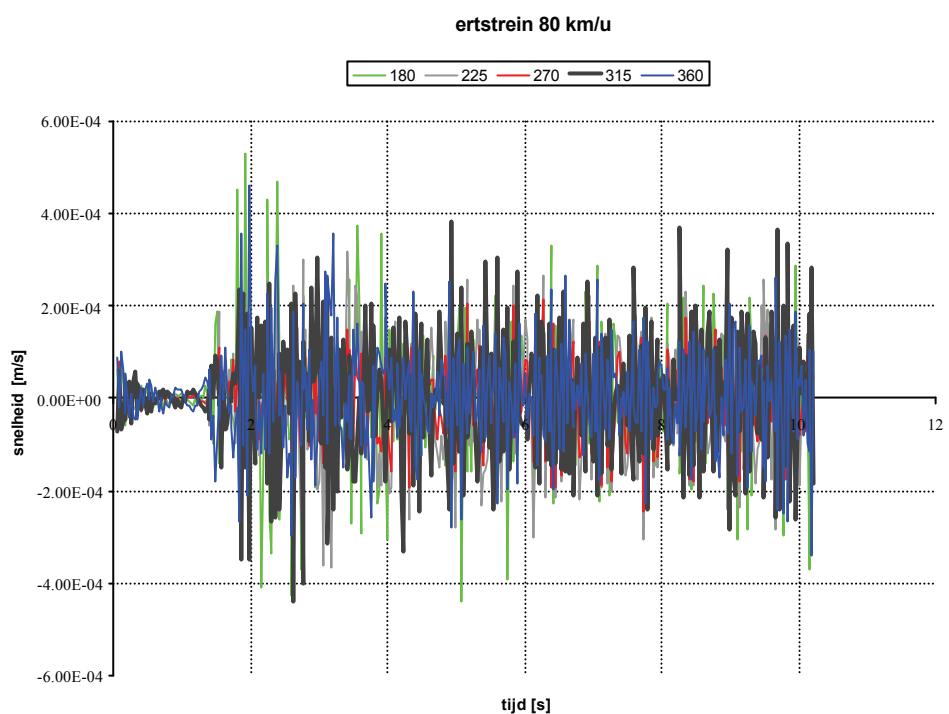
Het is niet mogelijk gebleken om de invloed van een palen veld in het model op te nemen.

Bij het doorrekenen van de trein passages blijken de lage frequenties in de belastingen te leiden tot hoge responsies. Onbekend is momenteel of dit een zuiver numeriek probleem is of dat de modellering hieraan ten grondslag ligt.

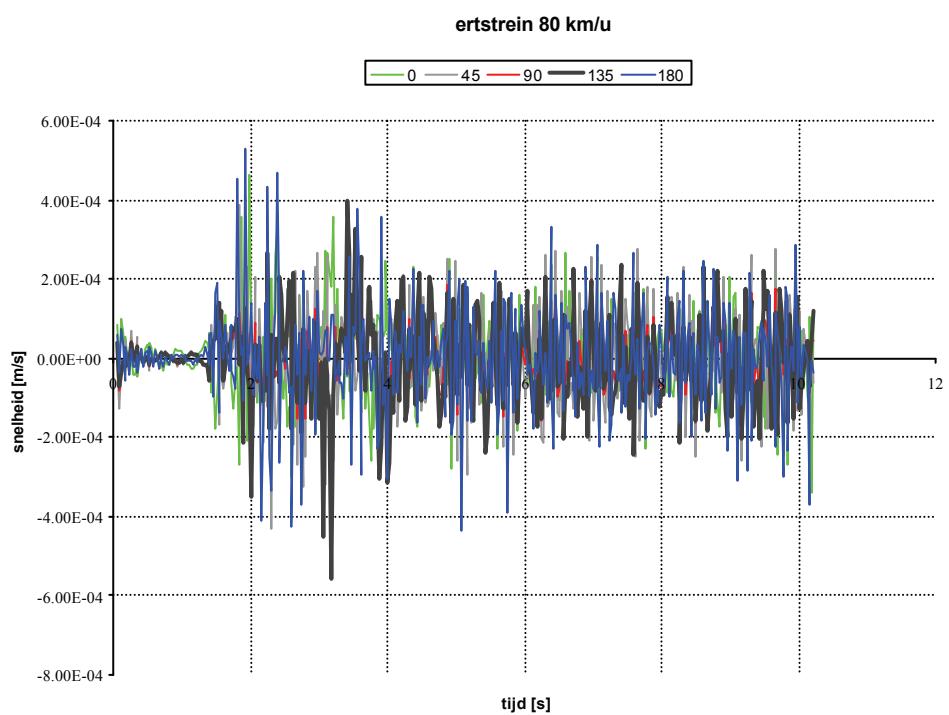
5 Referenties

- [1] ‘Predicties K300 – dynamisch gedrag’, Holland Railconsult, oktober 1999.
- [2] ‘Specificatie instrumentatie en dynamische metingen Botlekspoortunnel’, Geodelft, maart 1999.

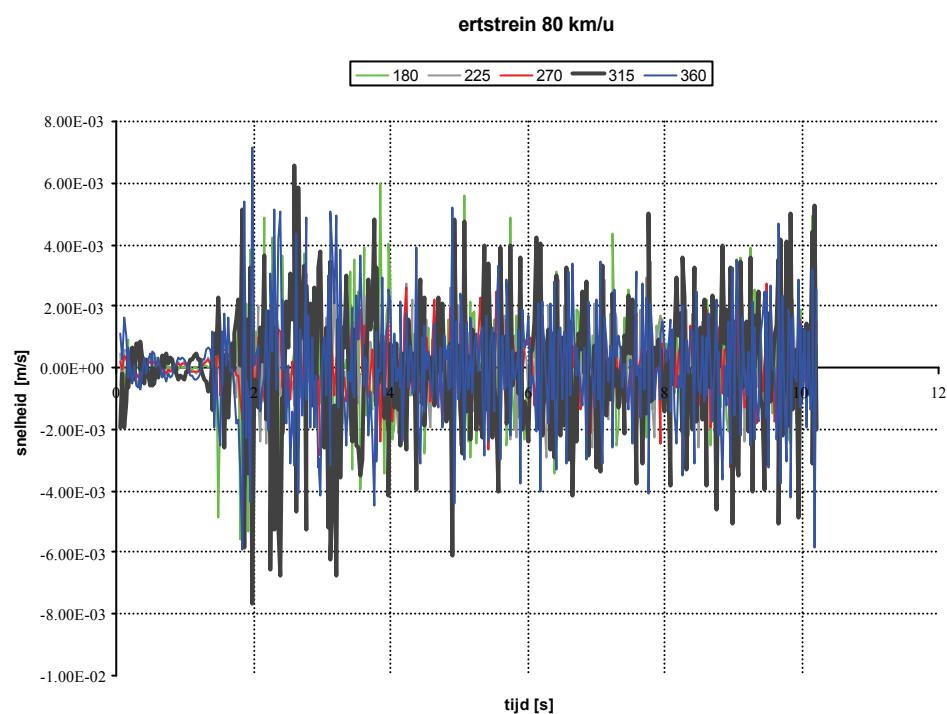
BIJLAGE A: Treinpassage 80 km/u



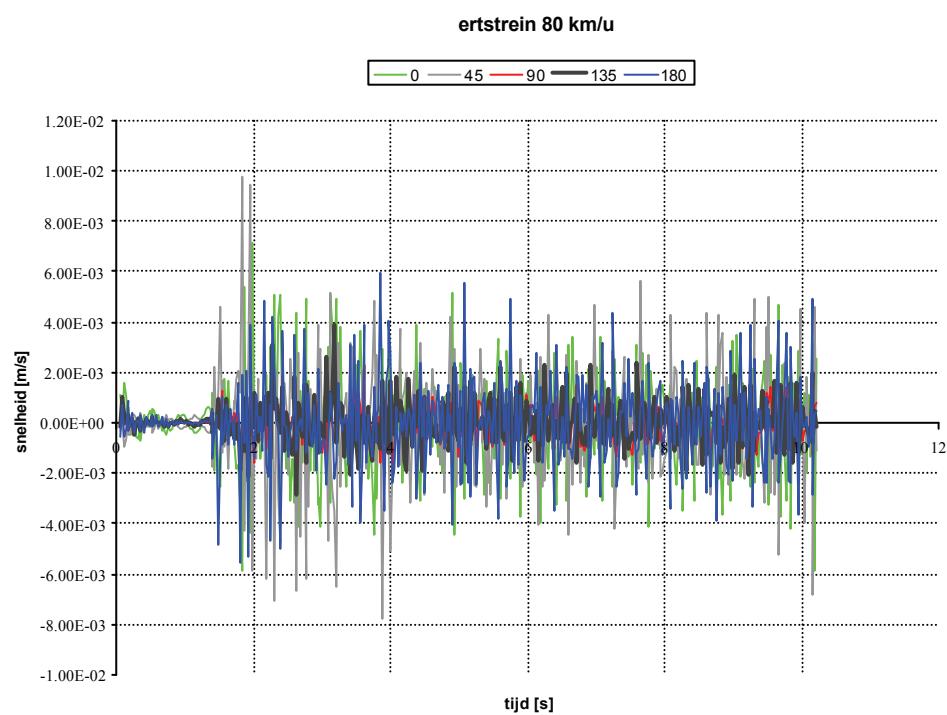
Figuur A 1: tunnel horizontaal



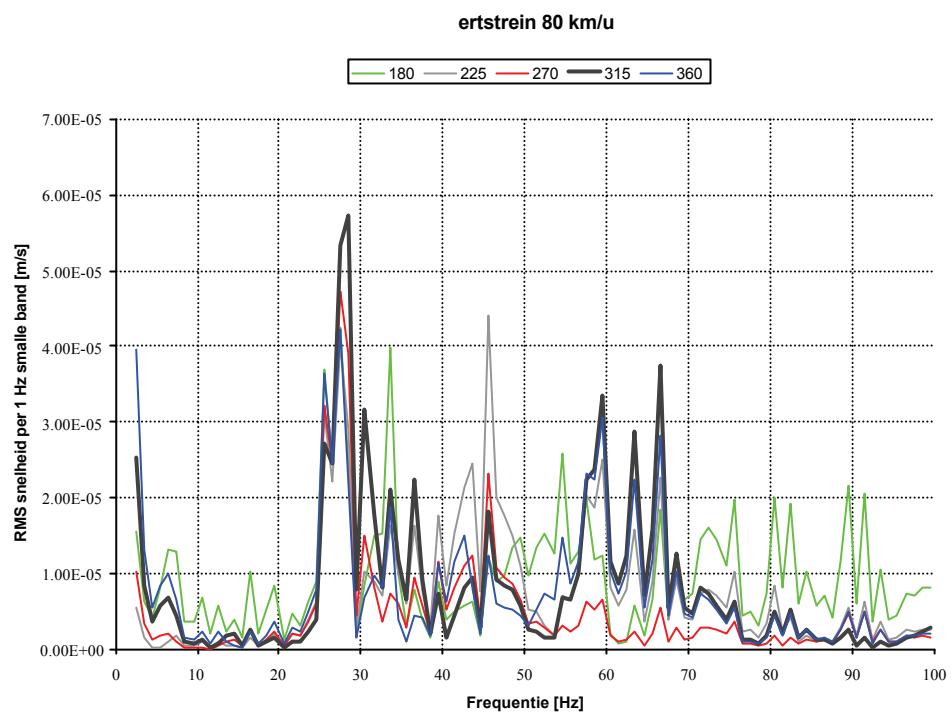
Figuur A 2: tunnel horizontaal



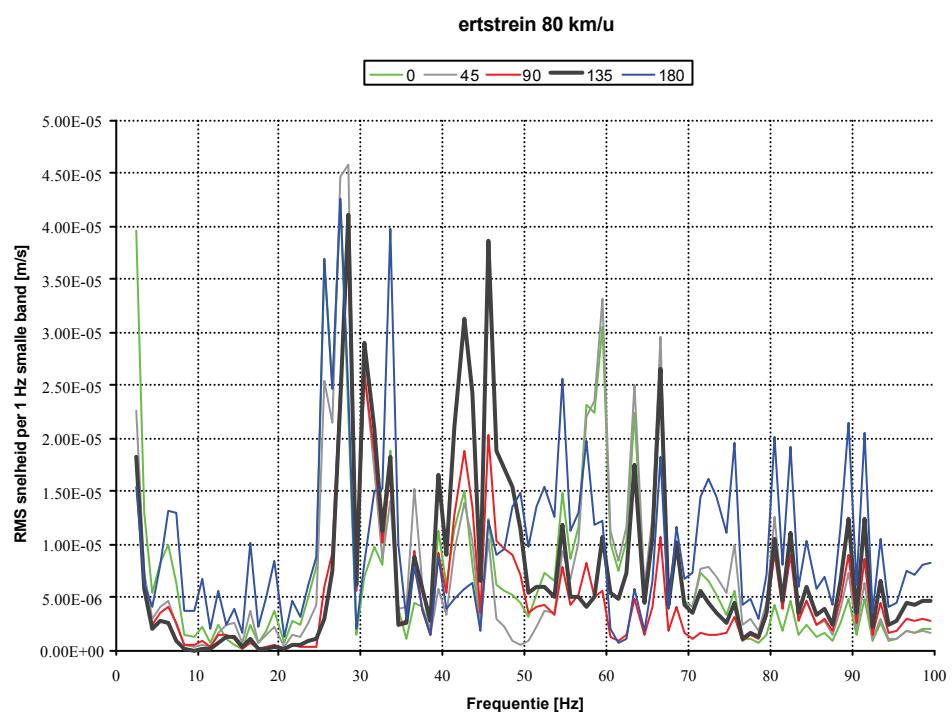
Figuur A 3: tunnel verticaal



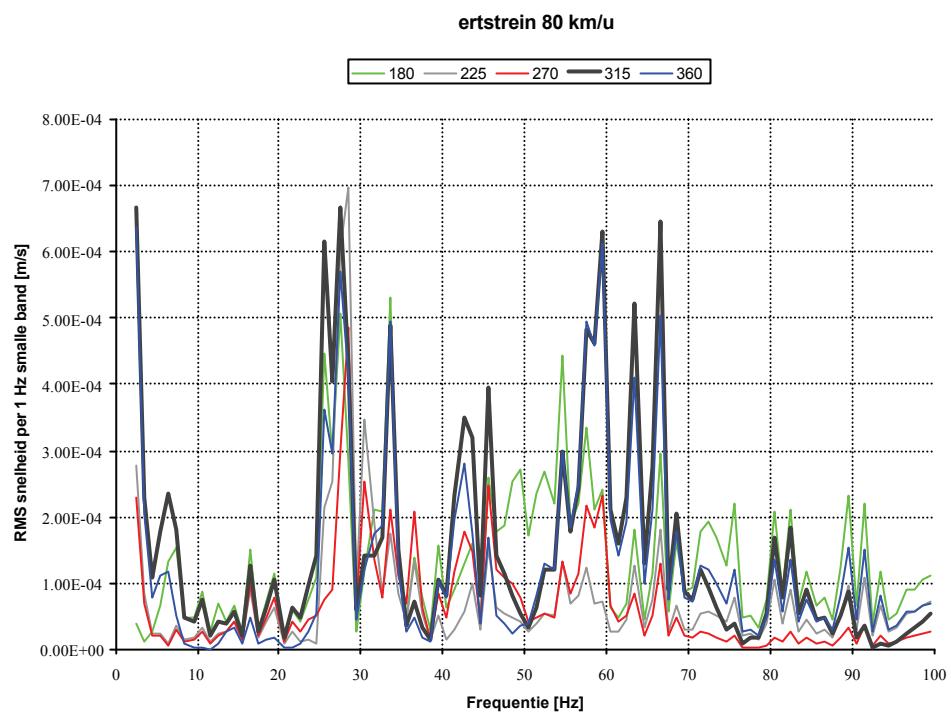
Figuur A 4: tunnel verticaal



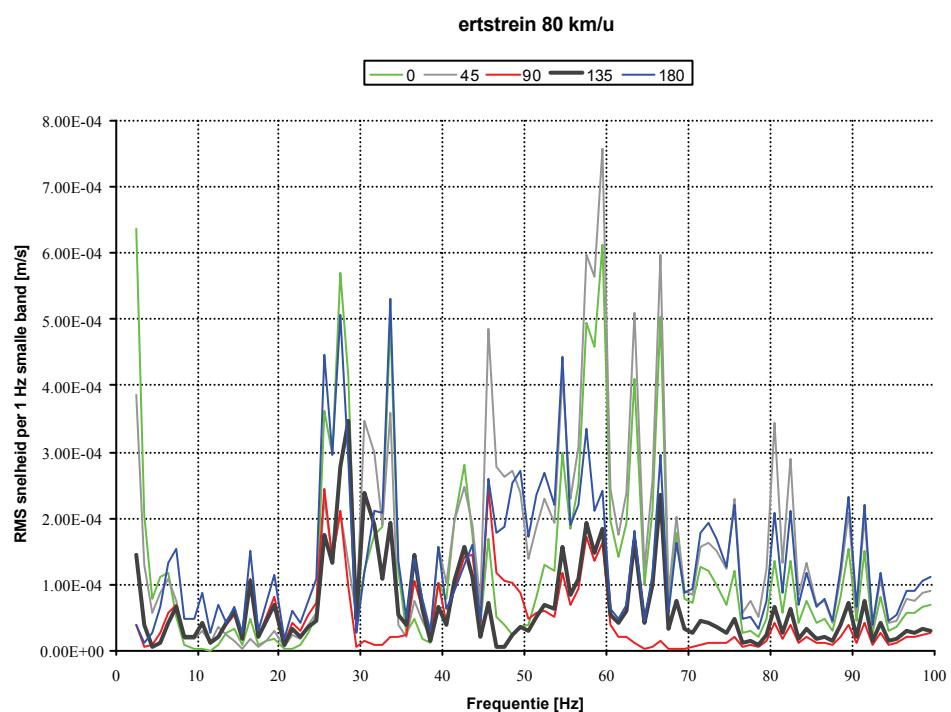
Figuur A 5: tunnel horizontaal



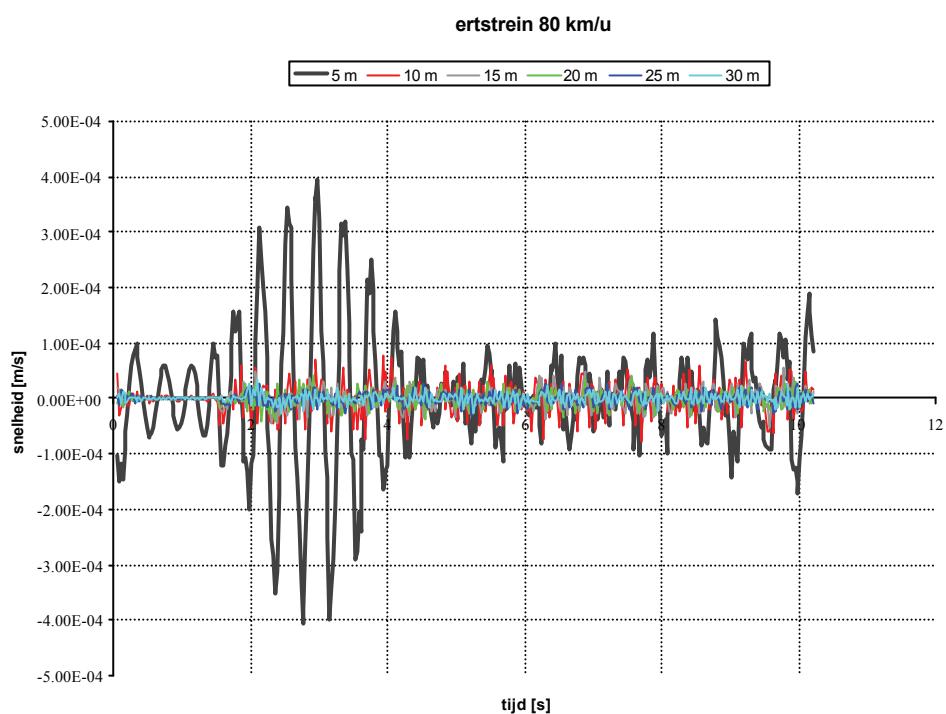
Figuur A 6: tunnel horizontaal



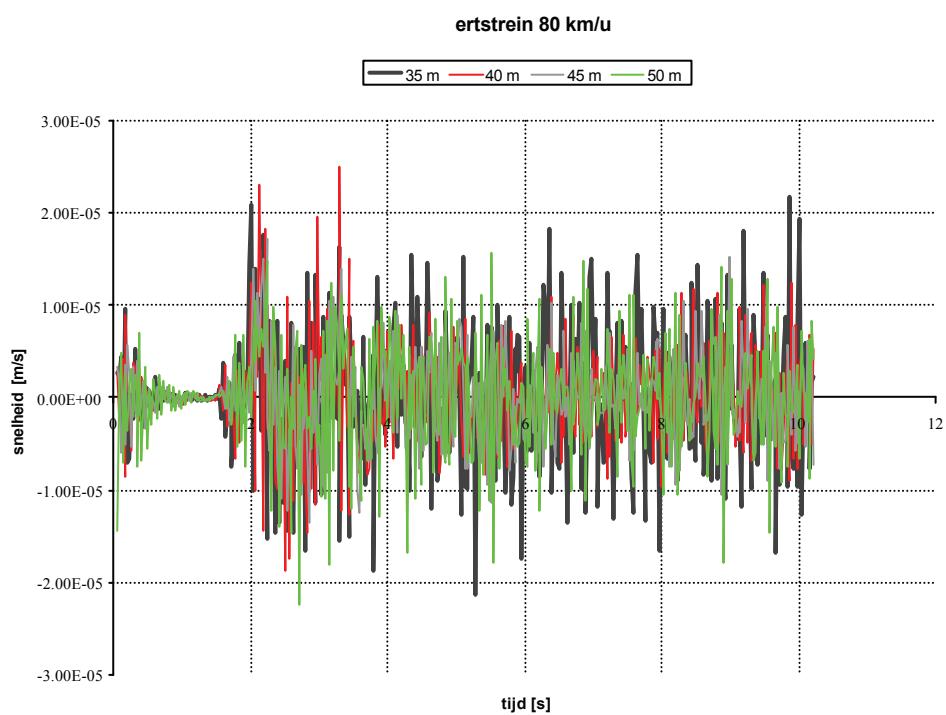
Figuur A 7: tunnel verticaal



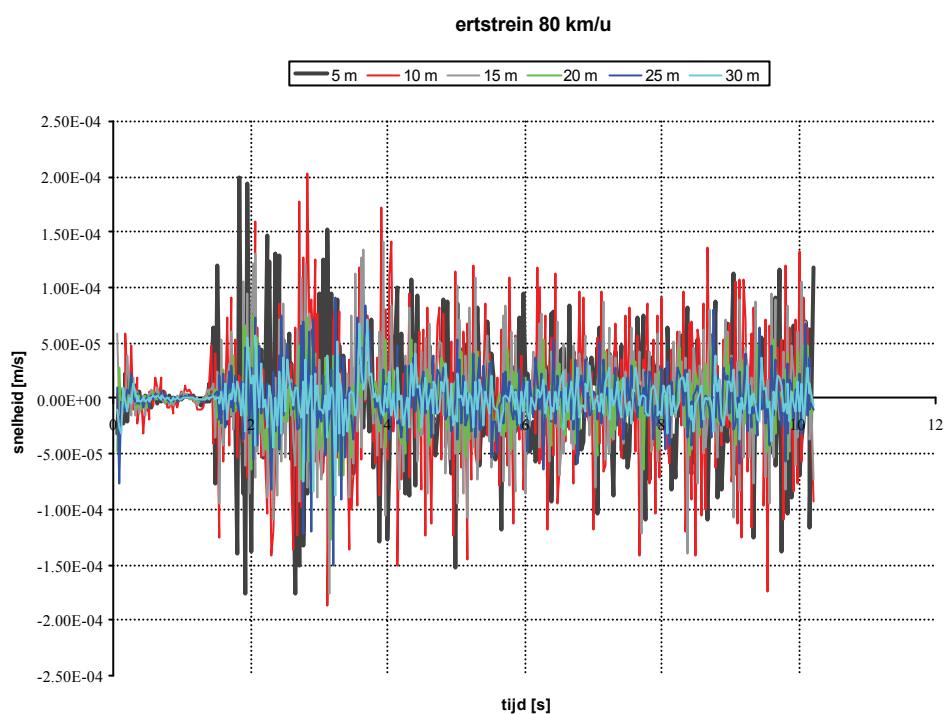
Figuur A 8: tunnel verticaal



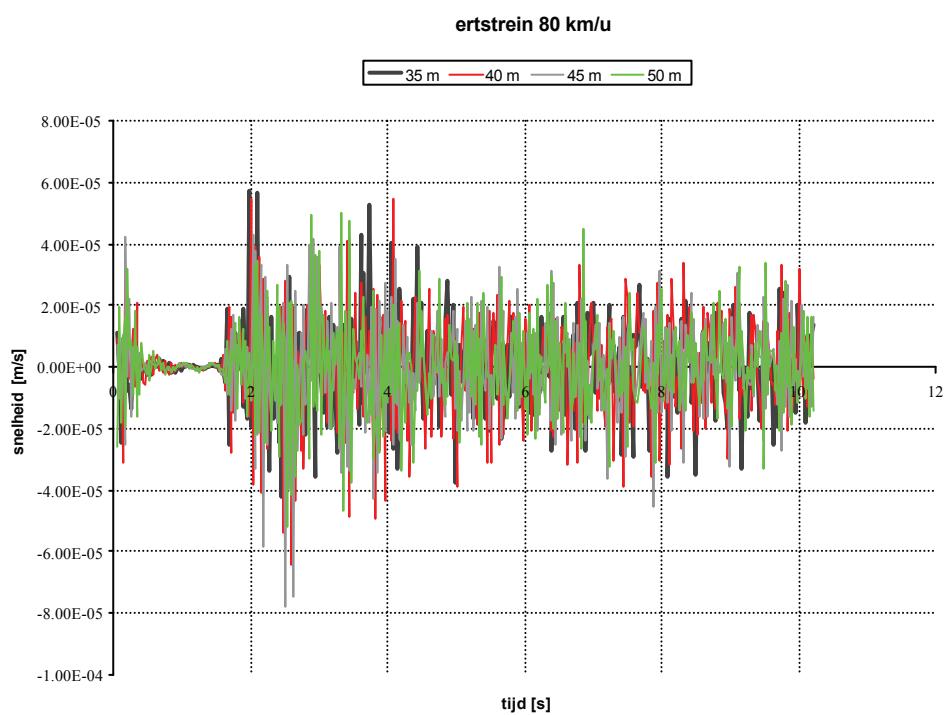
Figuur A 9: pleistoceen horizontaal



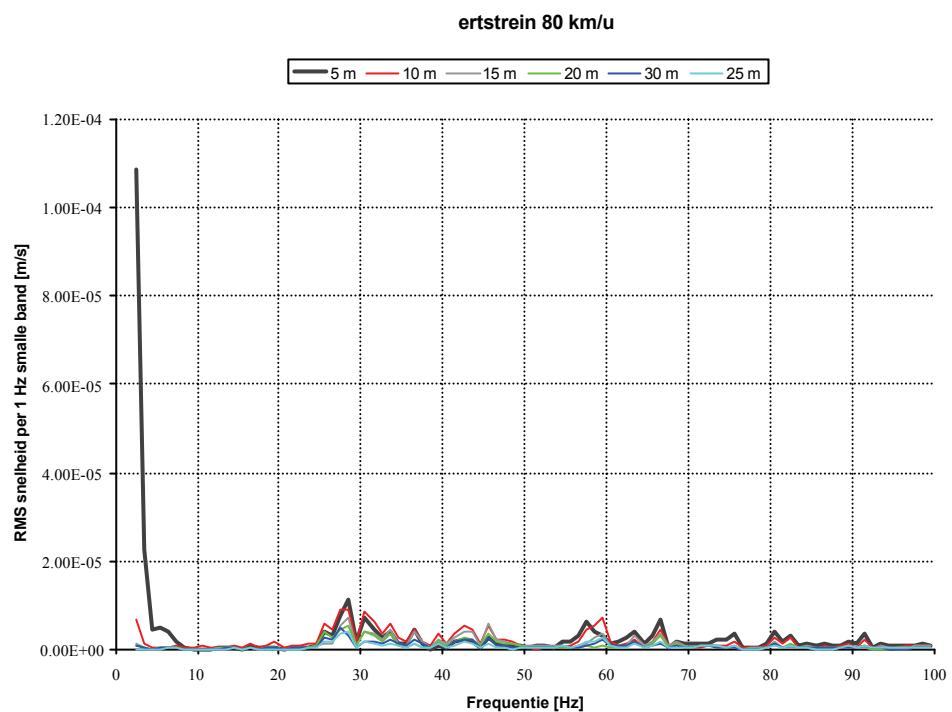
Figuur A 10: pleistoceen horizontaal



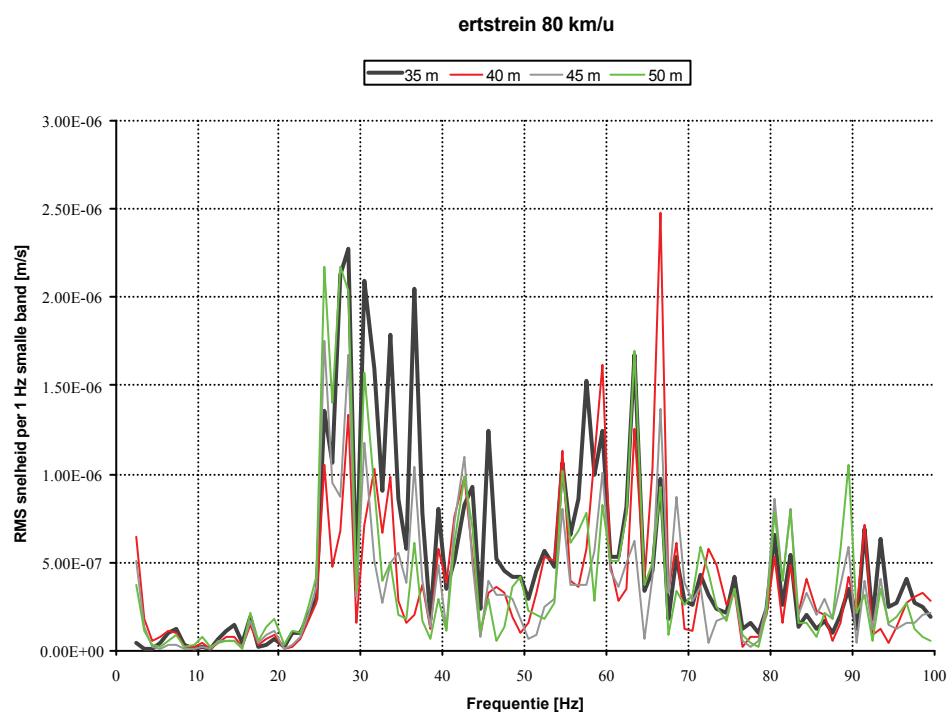
Figuur A 11: pleistoceen verticaal



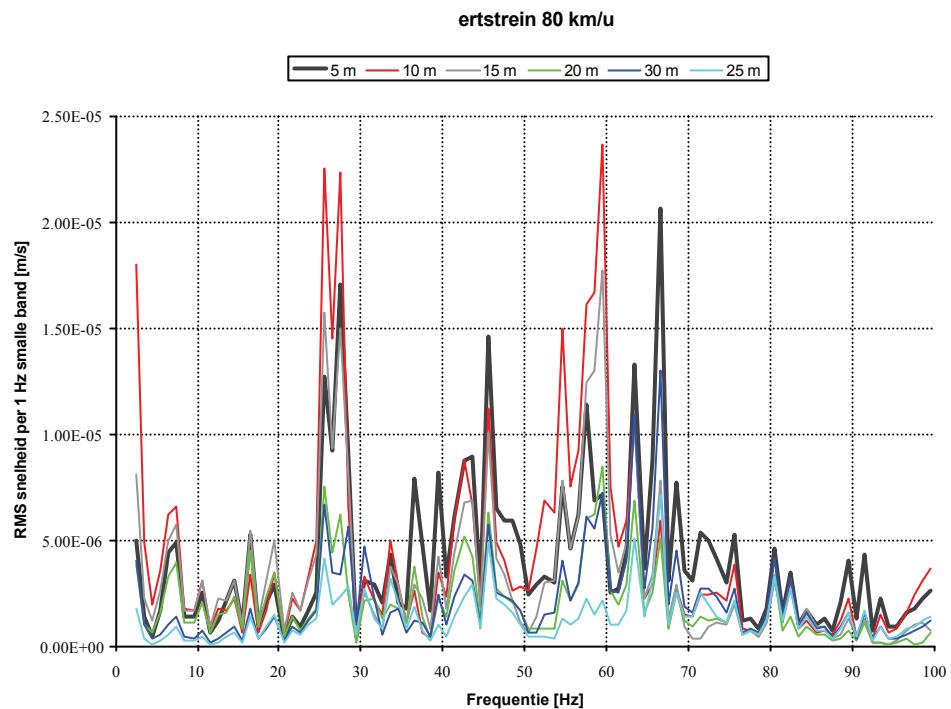
Figuur A 12: pleistoceen verticaal



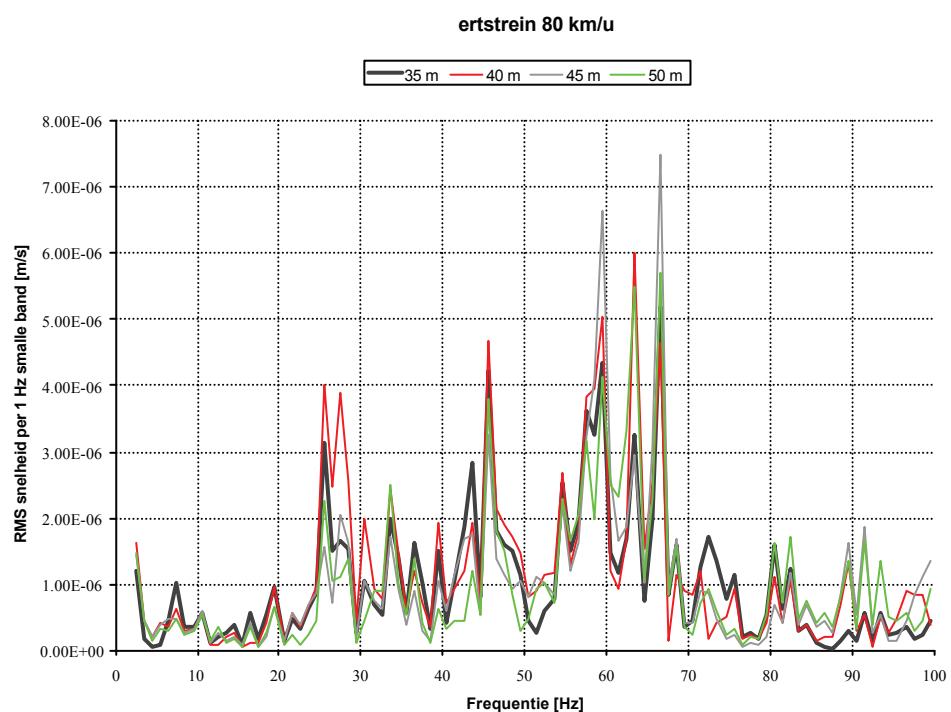
Figuur A 13: pleistoceen horizontaal



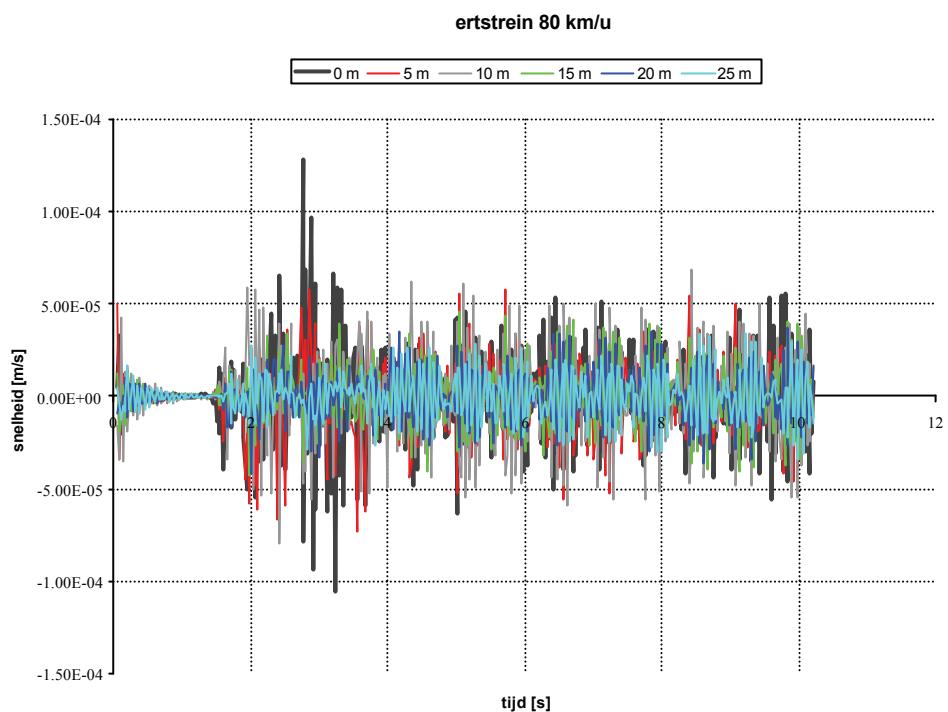
Figuur A 14: pleistoceen horizontaal



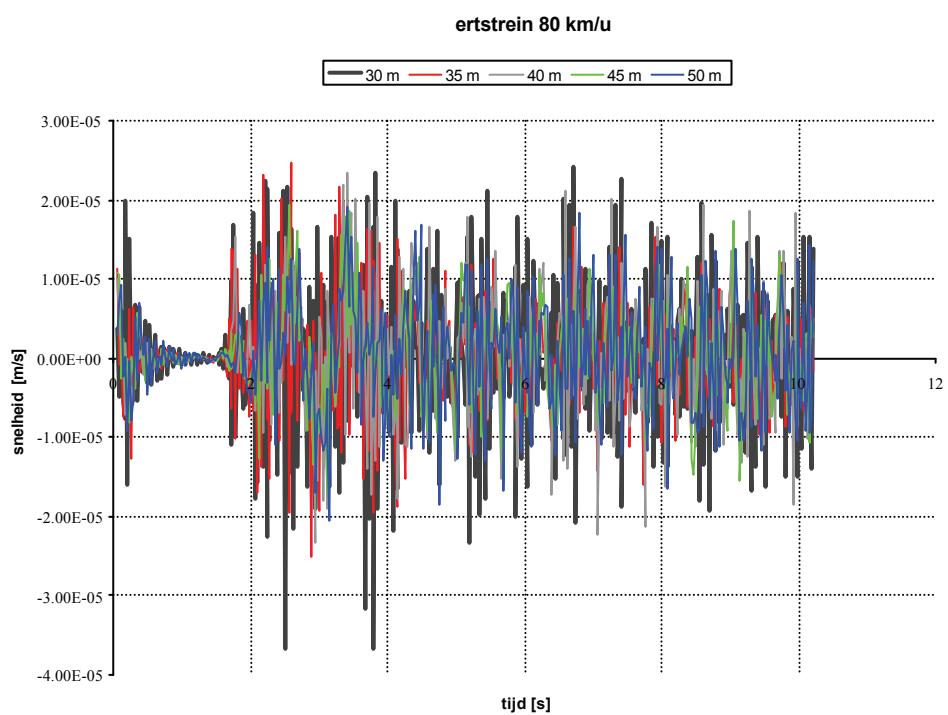
Figuur A 15: pleistoceen verticaal



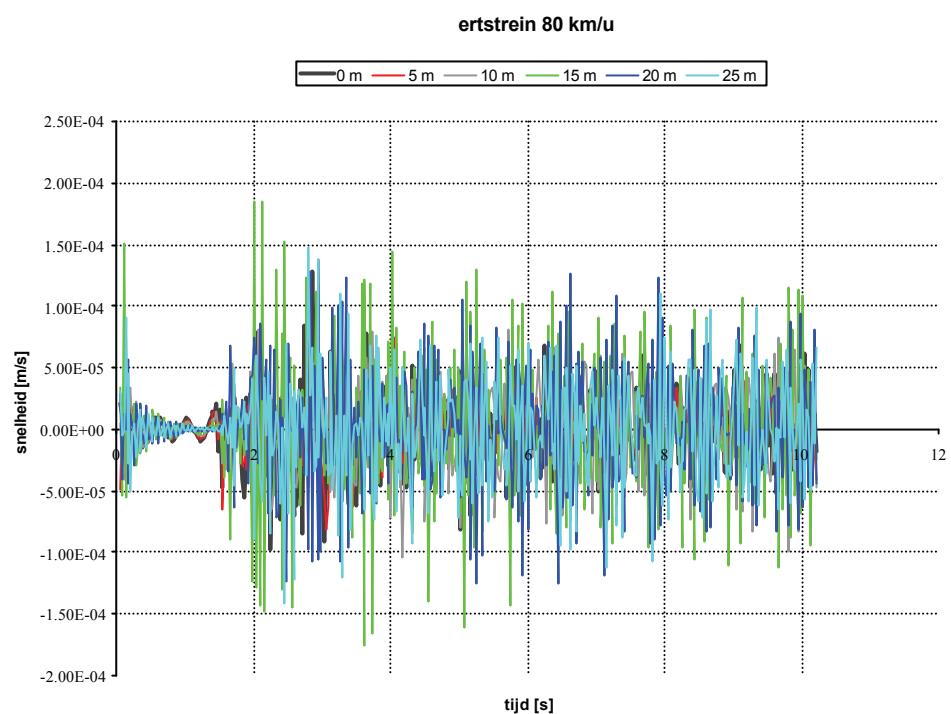
Figuur A 16: pleistoceen verticaal



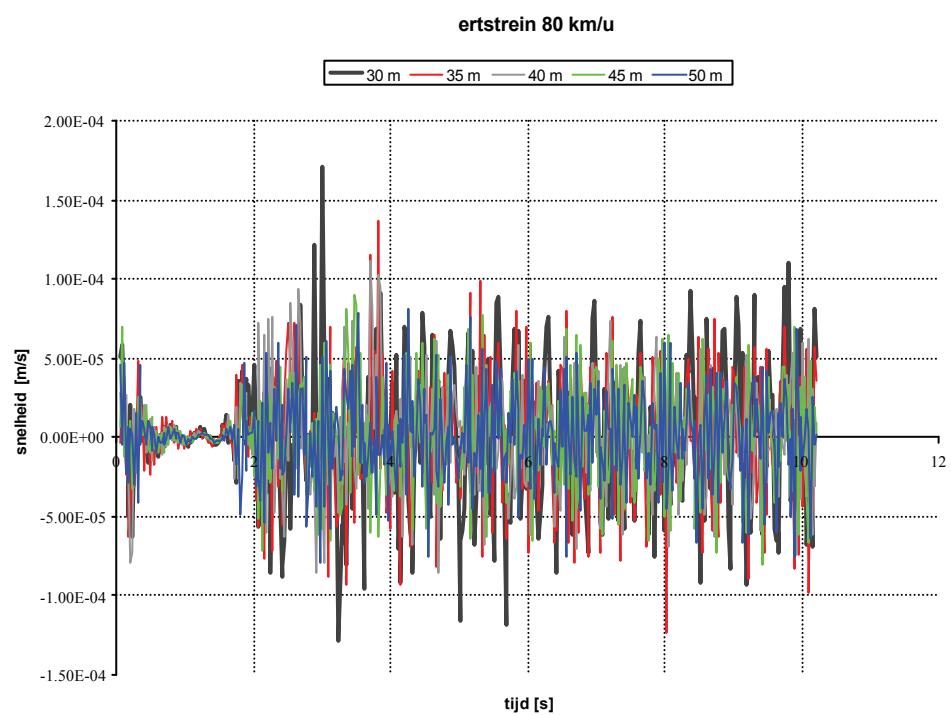
Figuur A 17: maaiveld horizontaal



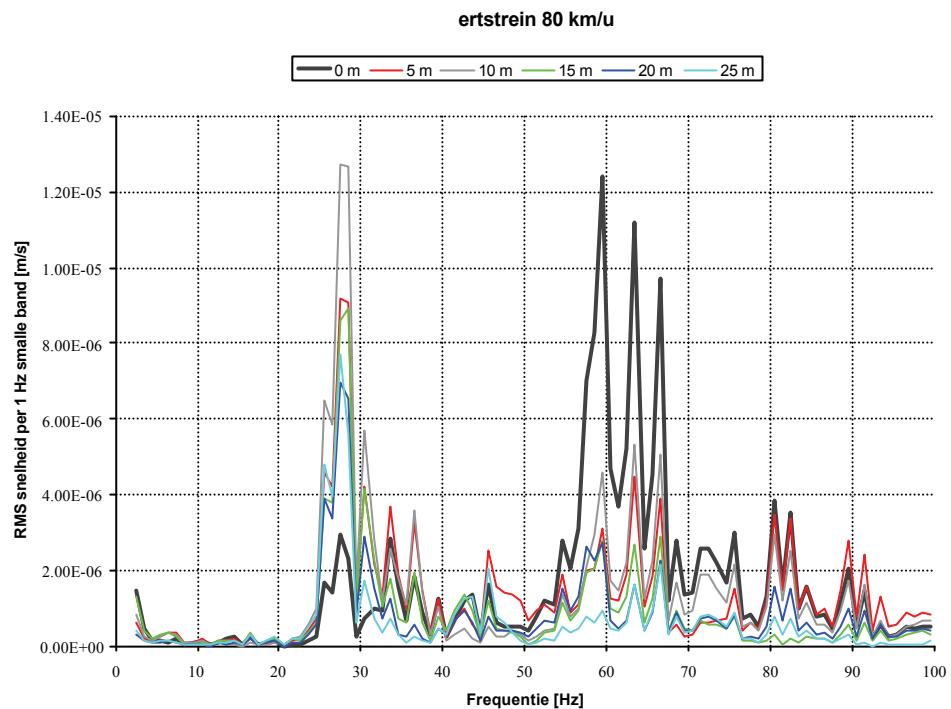
Figuur A 18: maaiveld horizontaal



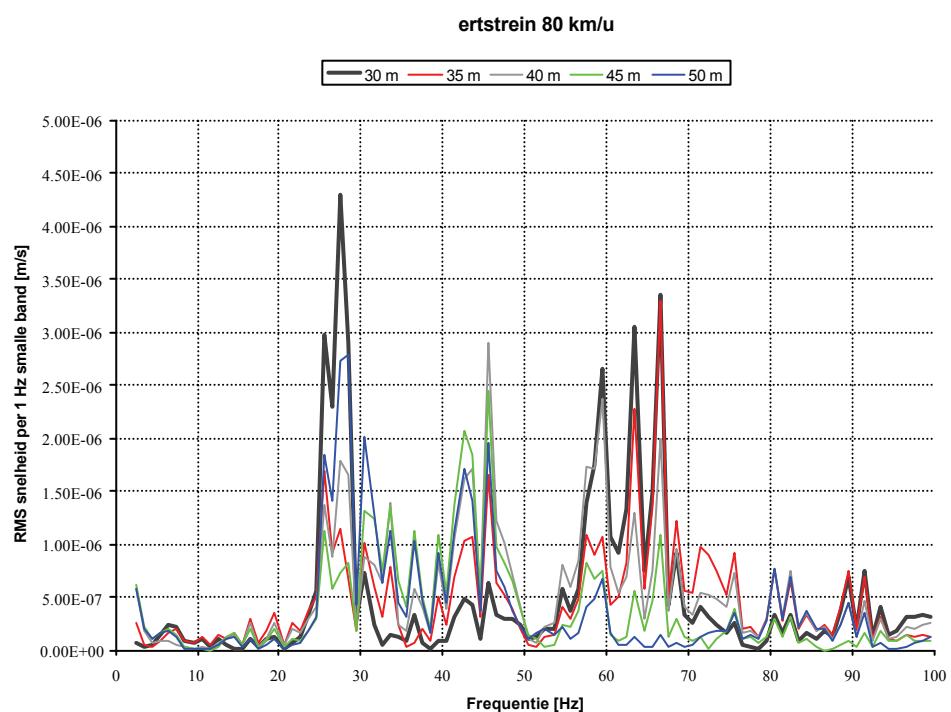
Figuur A 19: maaiveld verticaal



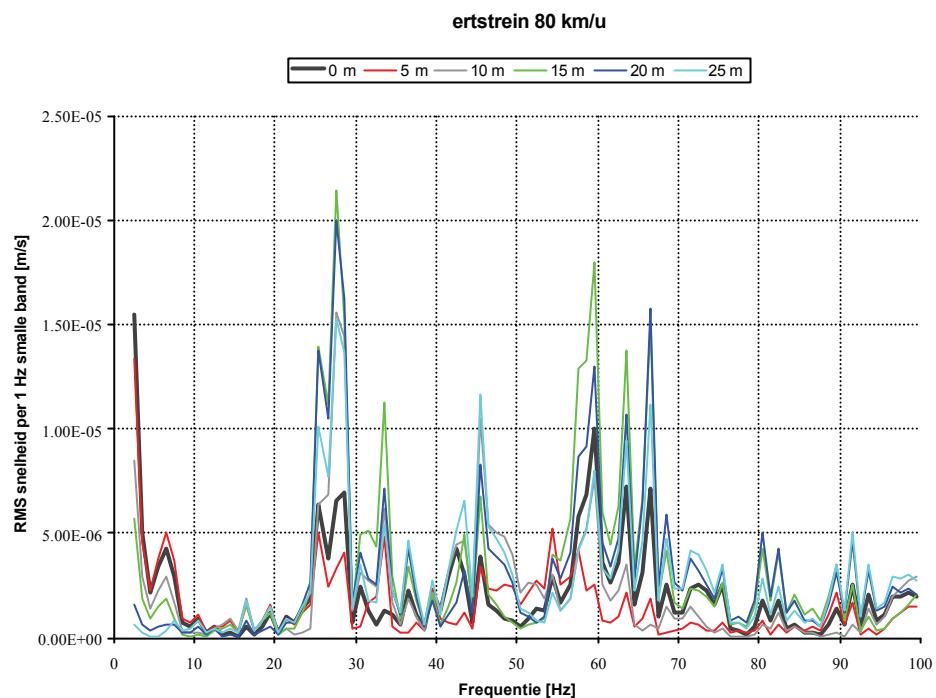
Figuur A 20: maaiveld verticaal



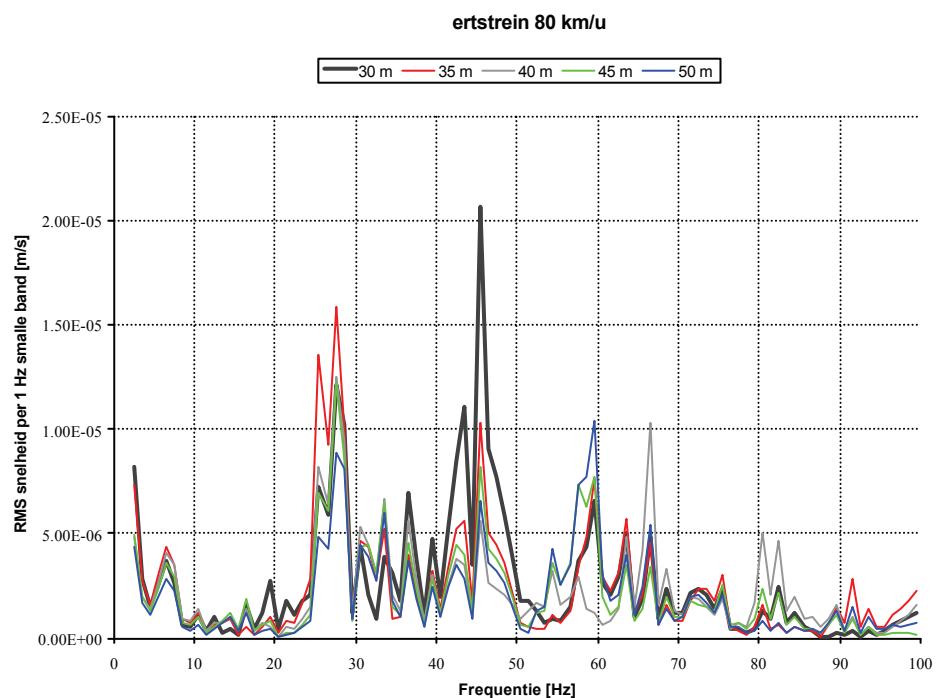
Figuur A 21: maaveld horizontaal



Figuur A 22: maaveld horizontaal

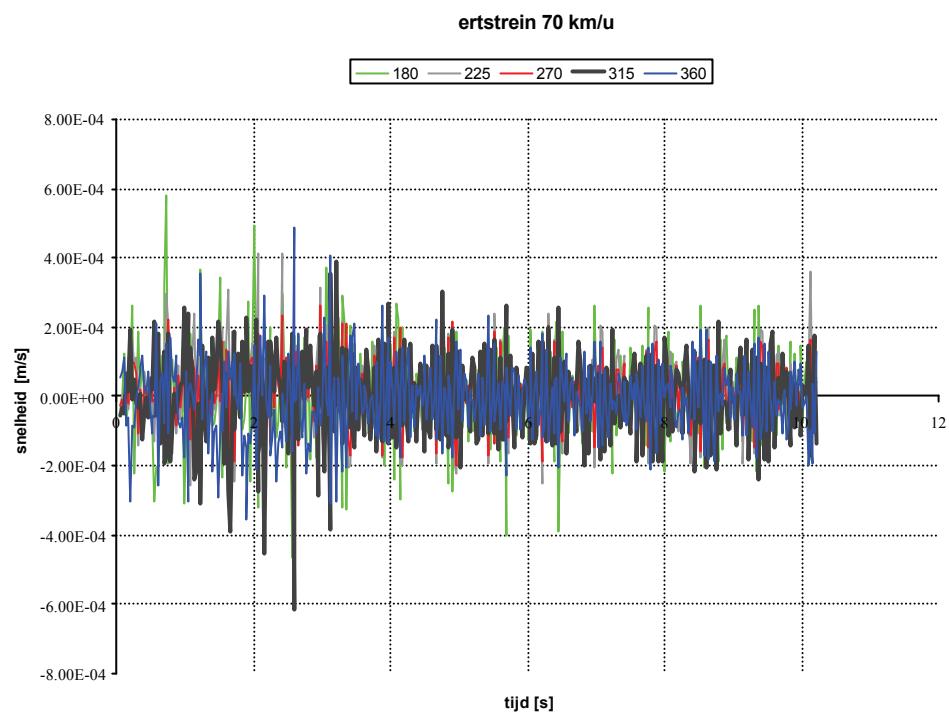


Figuur A 23: maaveld verticaal

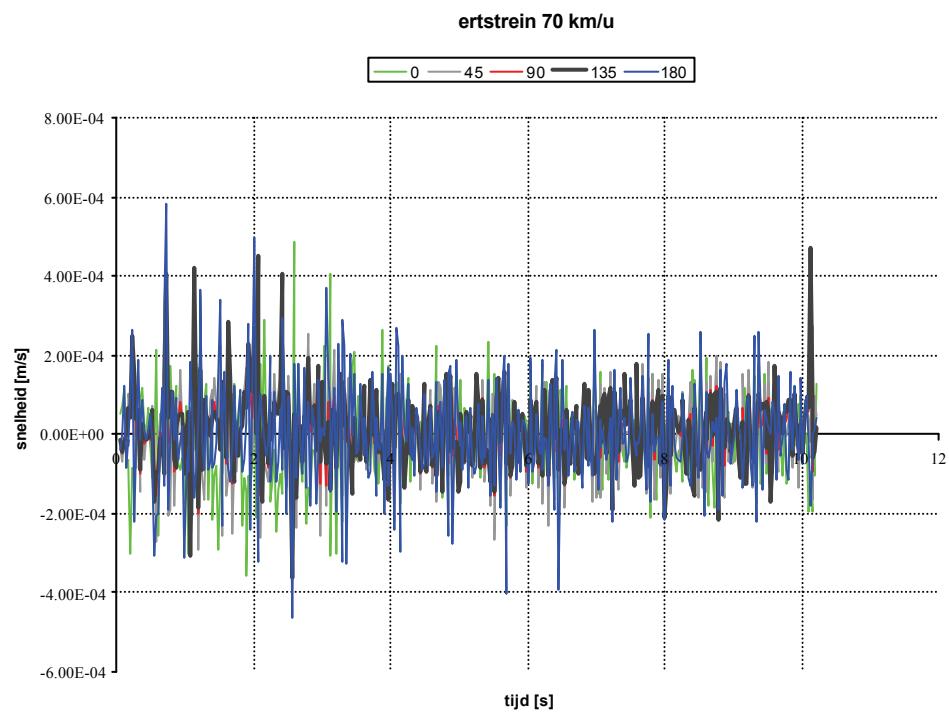


Figuur A 24: maaveld verticaal

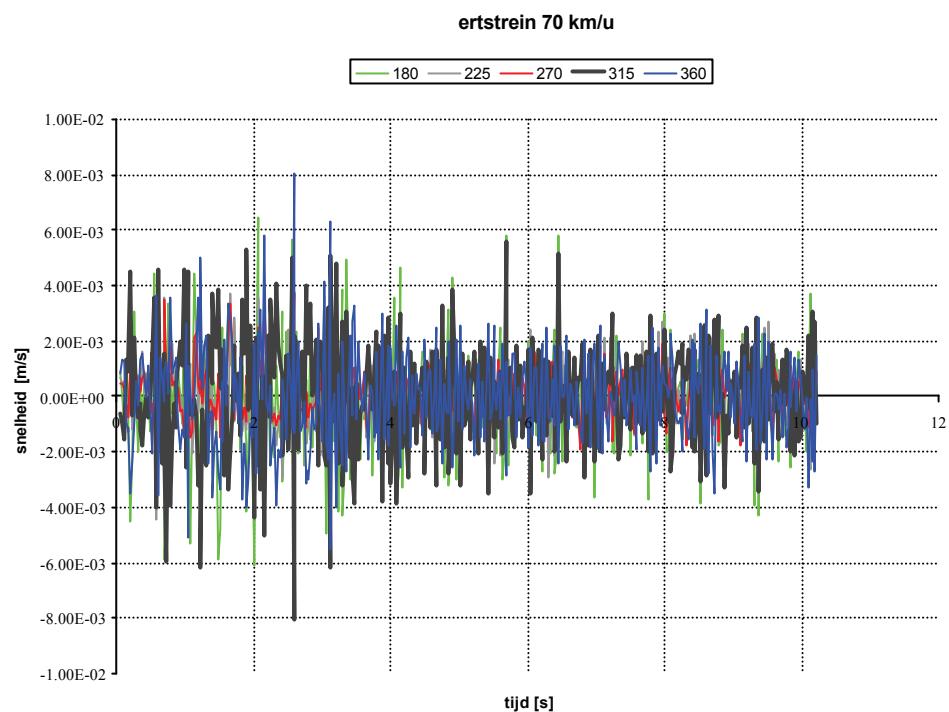
BIJLAGE B: Treinpassage 70 km/u



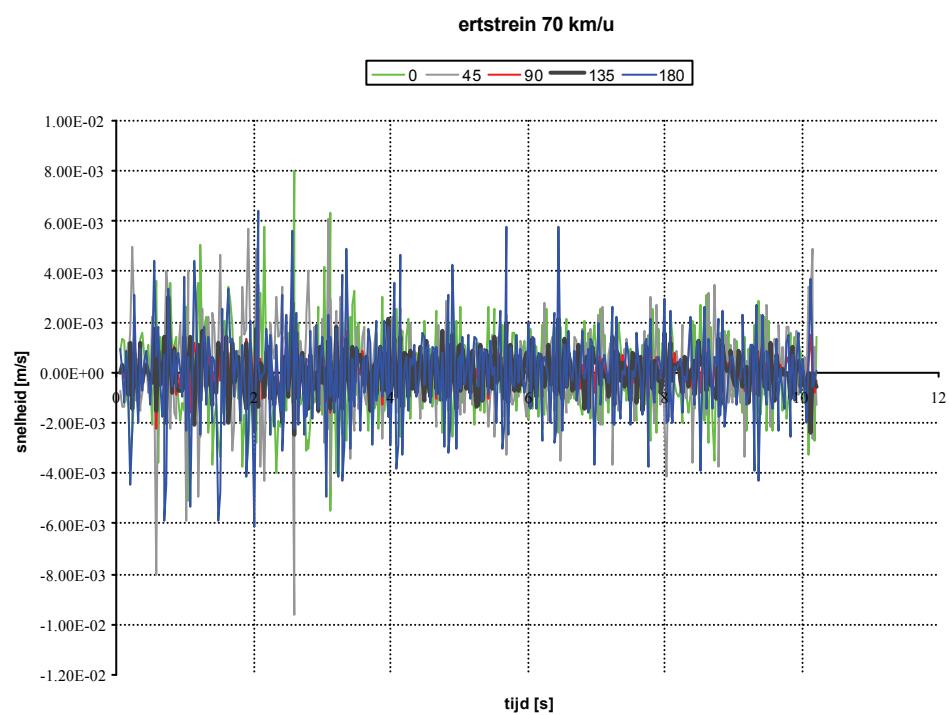
Figuur B 1: tunnel horizontaal



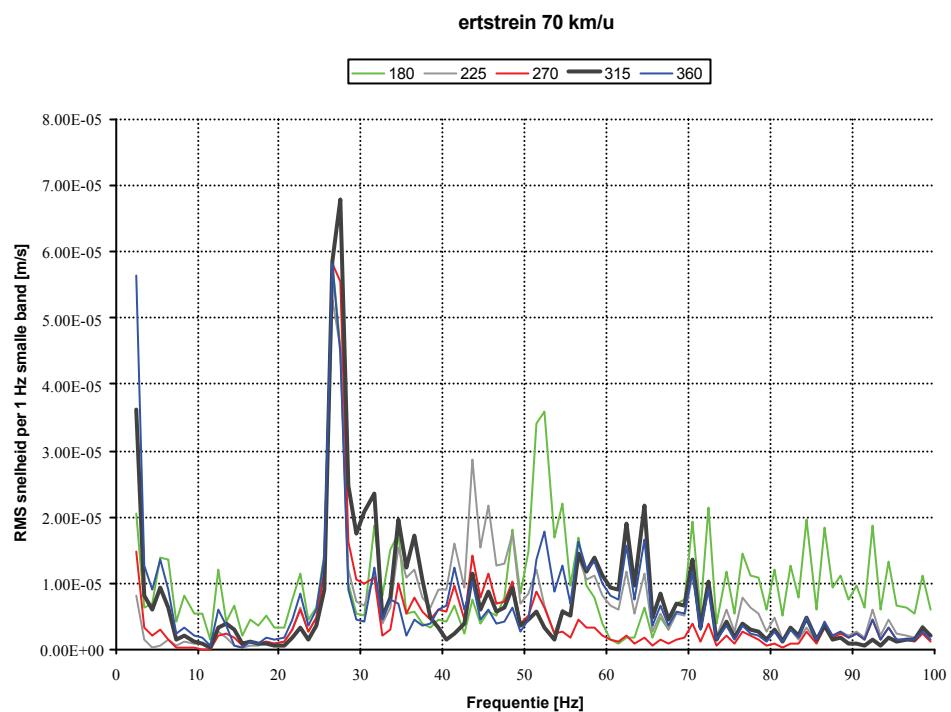
Figuur B 2: tunnel horizontaal



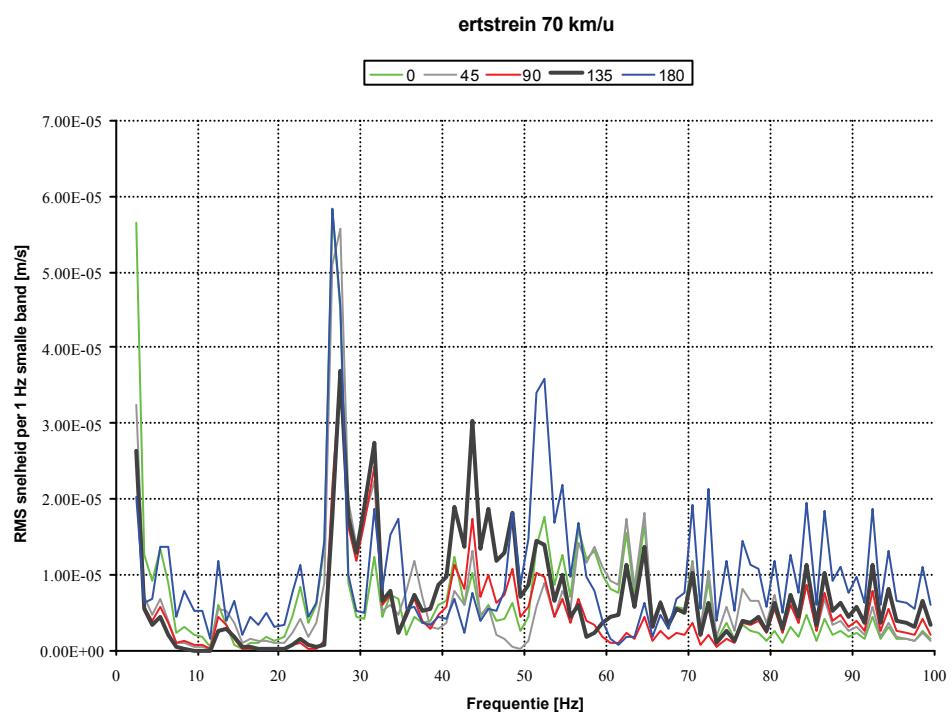
Figuur B 3: tunnel verticaal



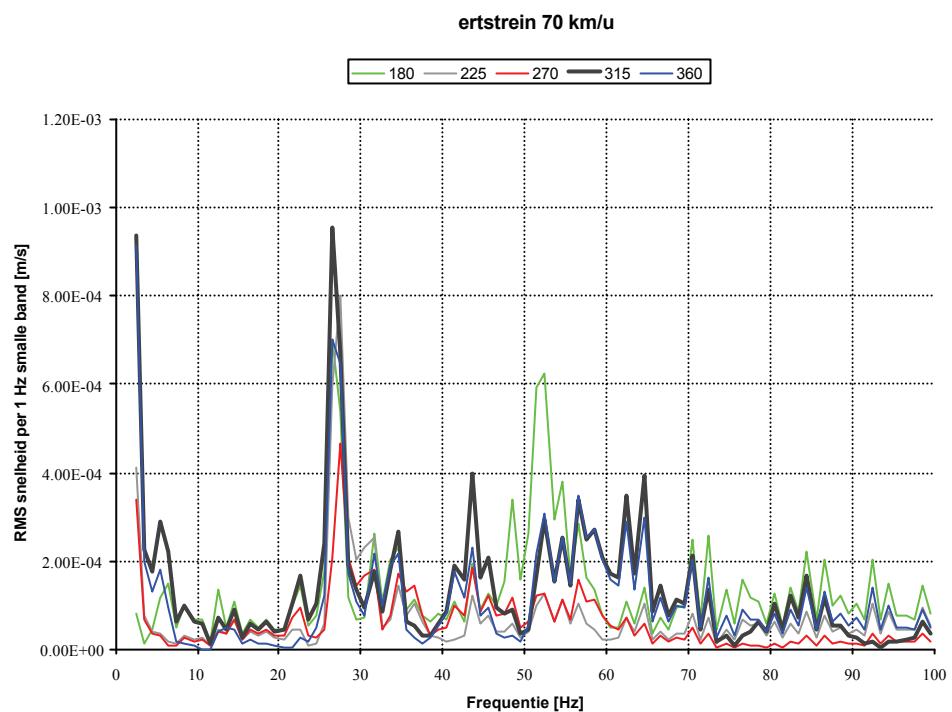
Figuur B 4: tunnel verticaal



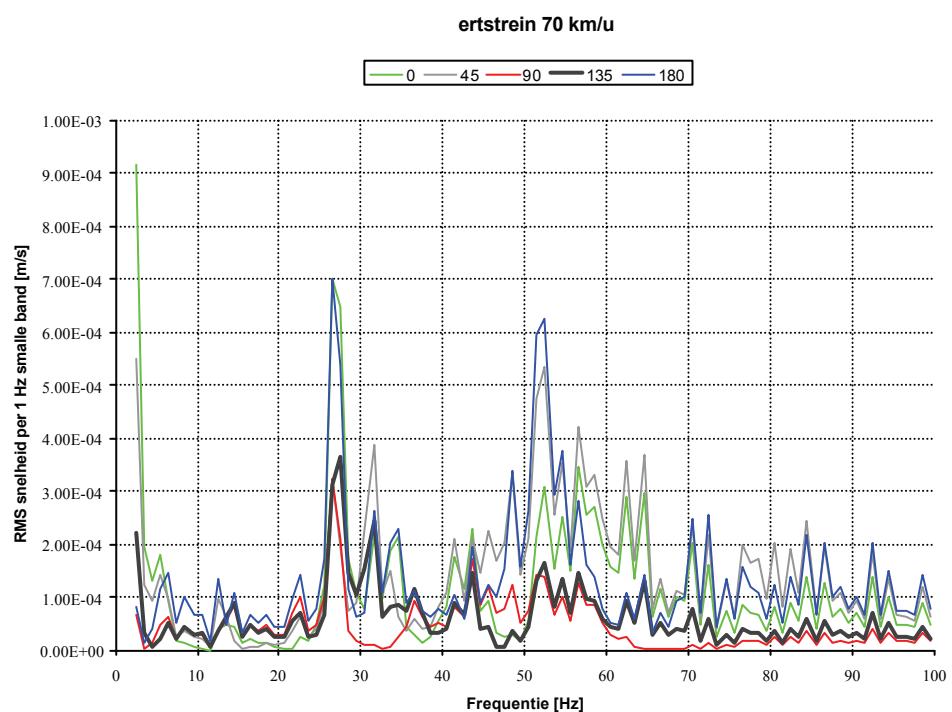
Figuur B 5: tunnel horizontaal



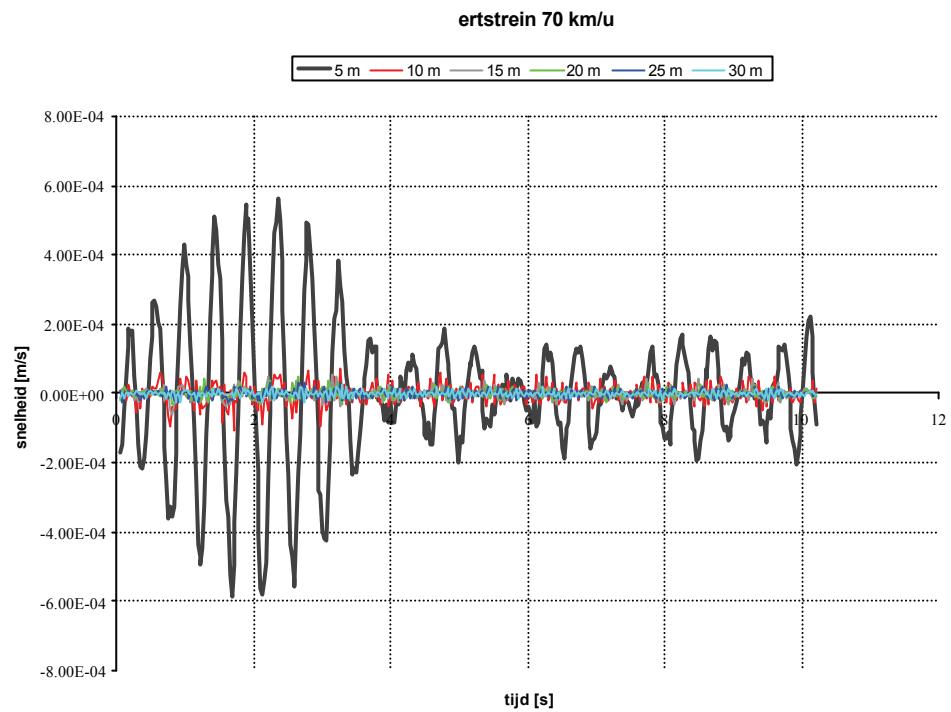
Figuur B 6: tunnel horizontaal



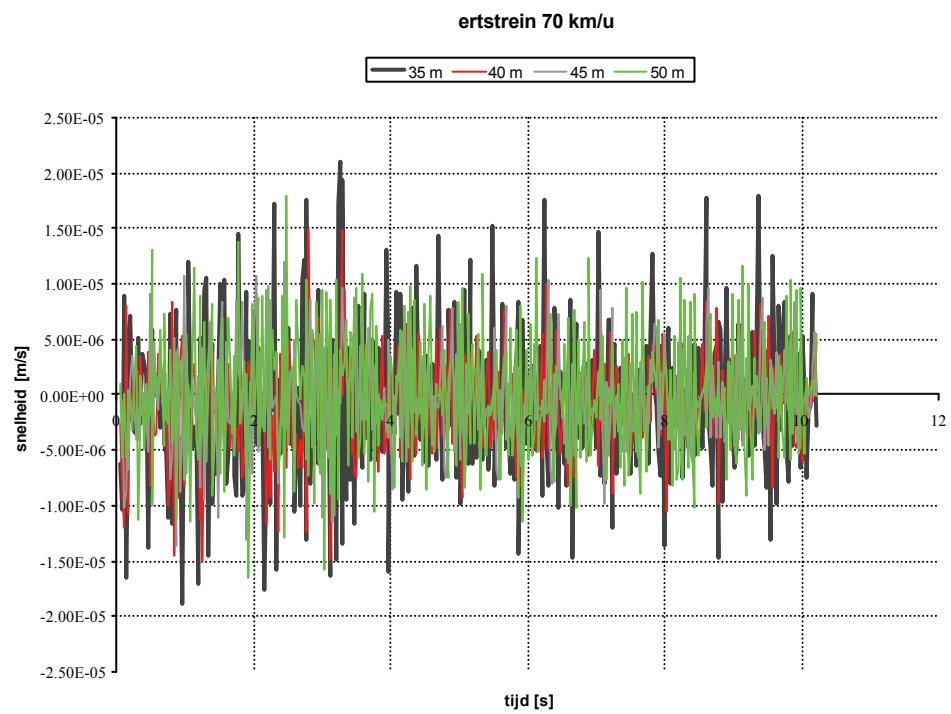
Figuur B 7: tunnel verticaal



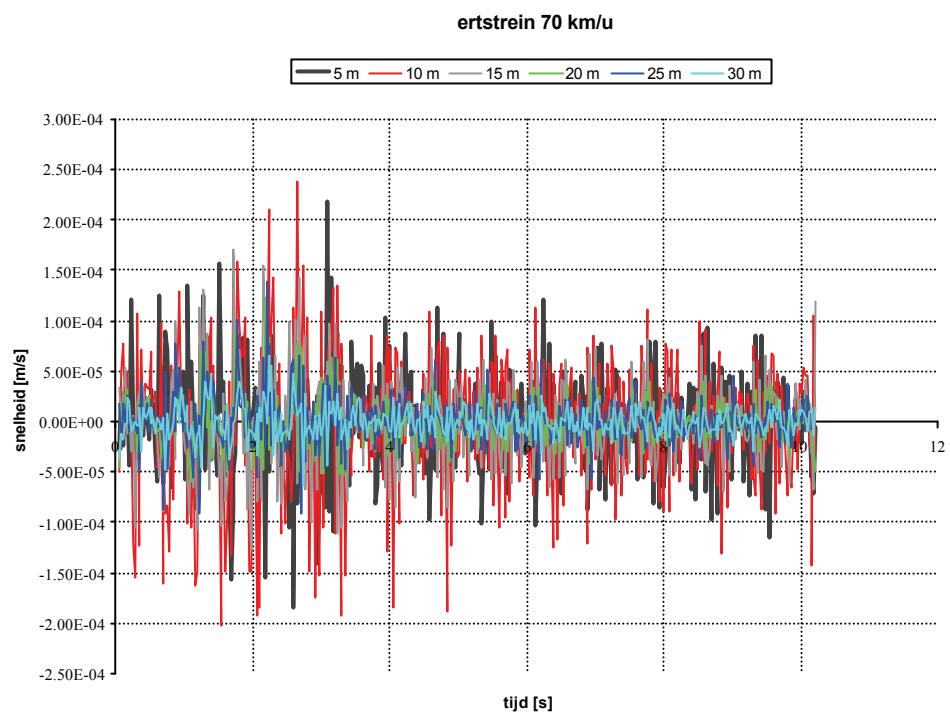
Figuur B 8: tunnel verticaal



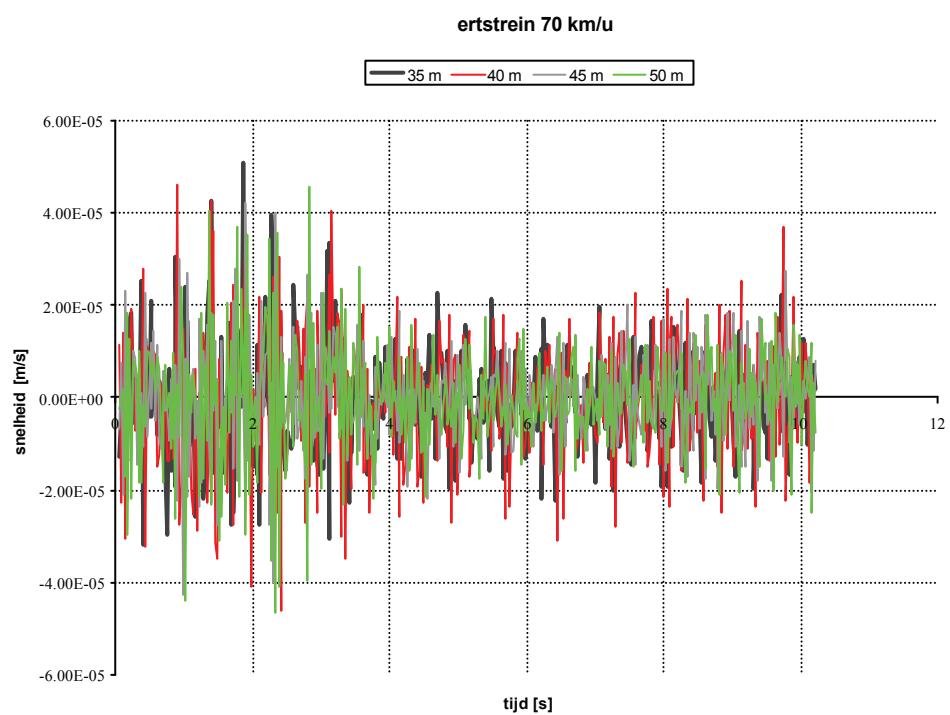
Figuur B 9: pleistoceen horizontaal



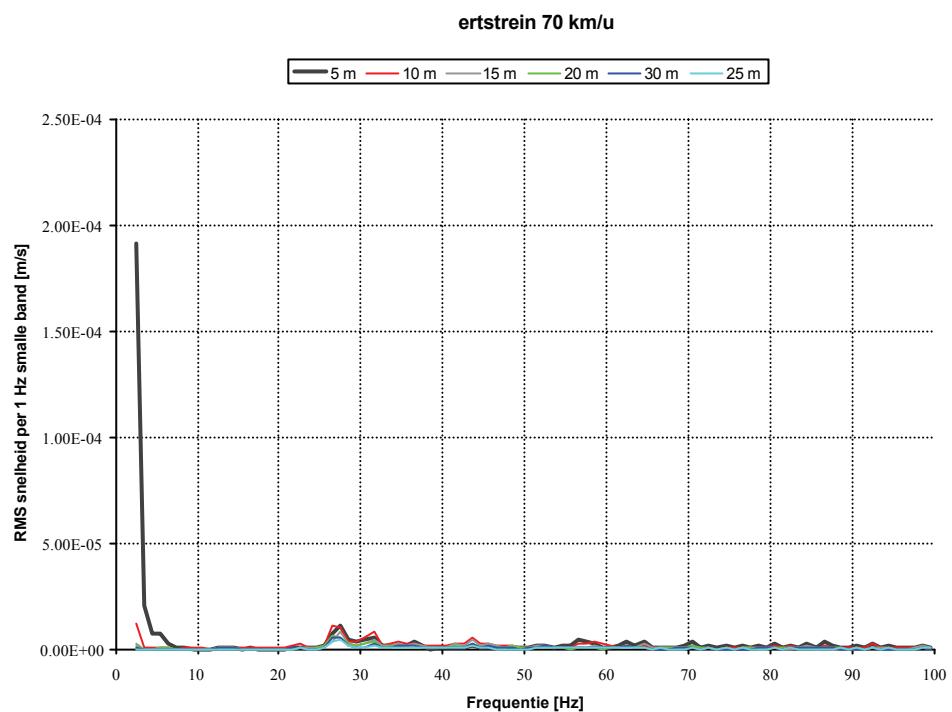
Figuur B 10: pleistoceen horizontaal



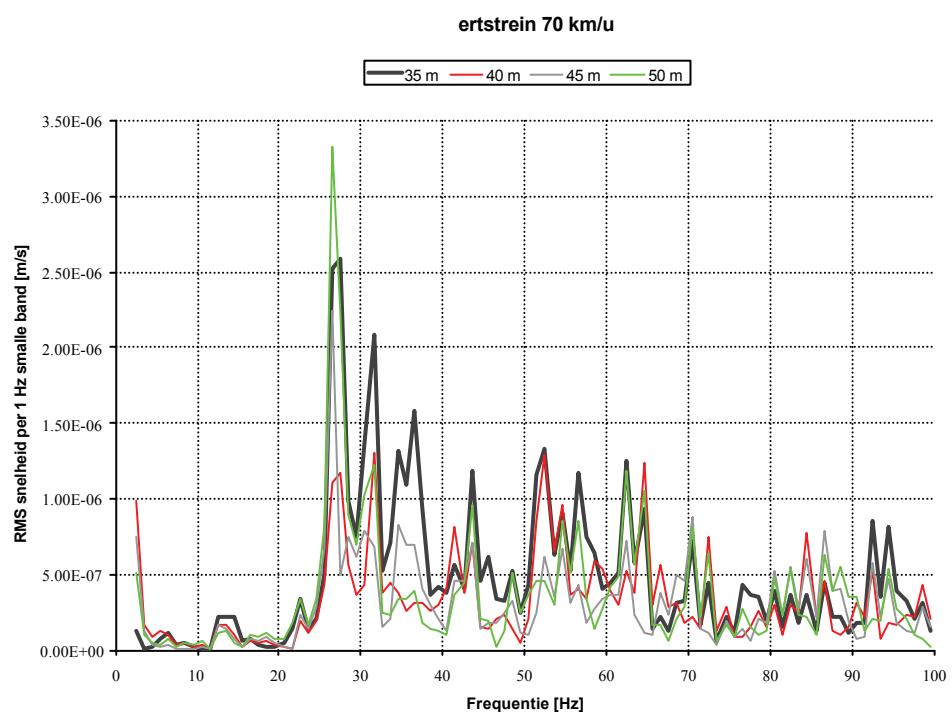
Figuur B 11: pleistoceen verticaal



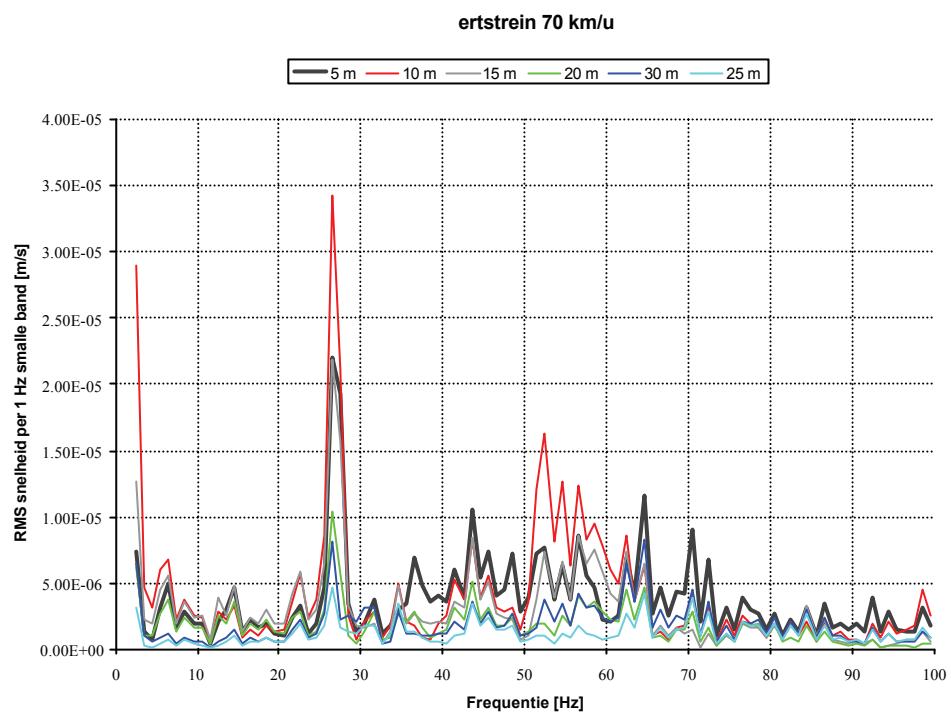
Figuur B 12: pleistoceen verticaal



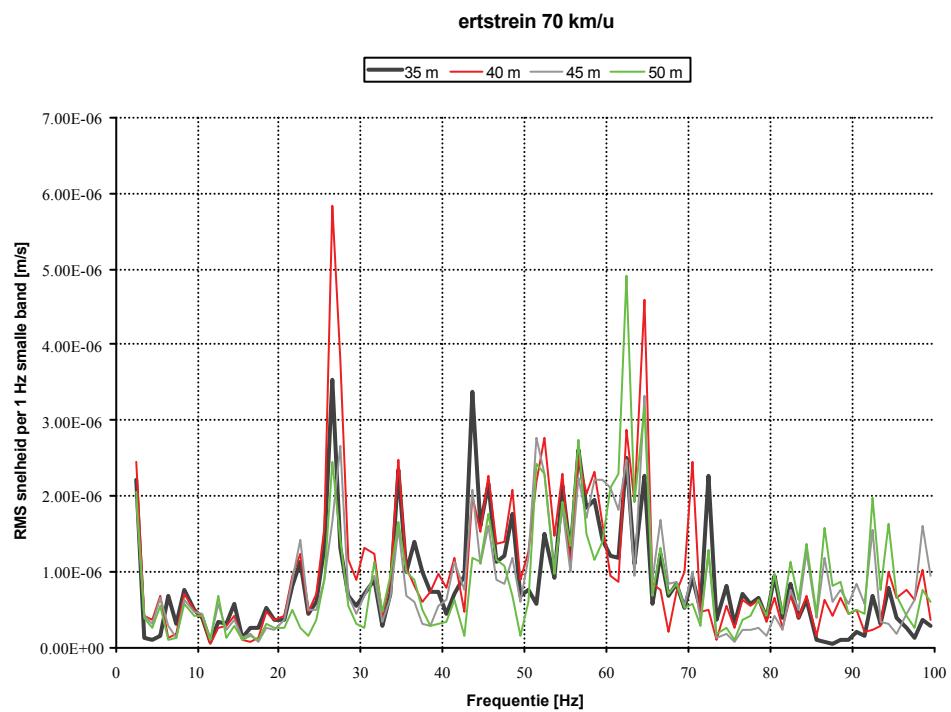
Figuur B 13: pleistoceen horizontaal



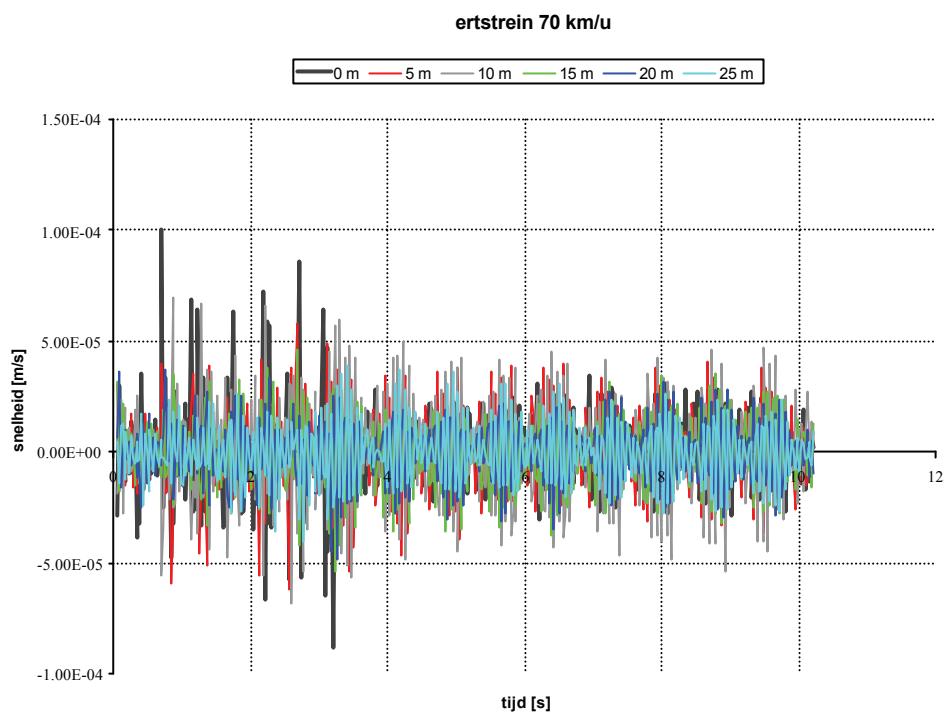
Figuur B 14: pleistoceen horizontaal



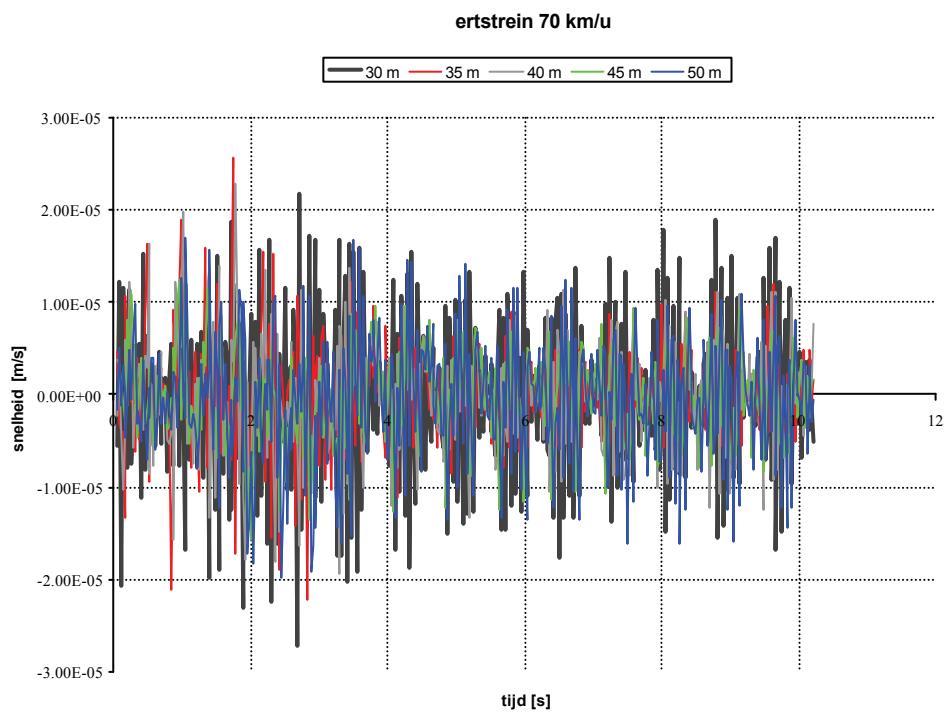
Figuur B 15: pleistoceen verticaal



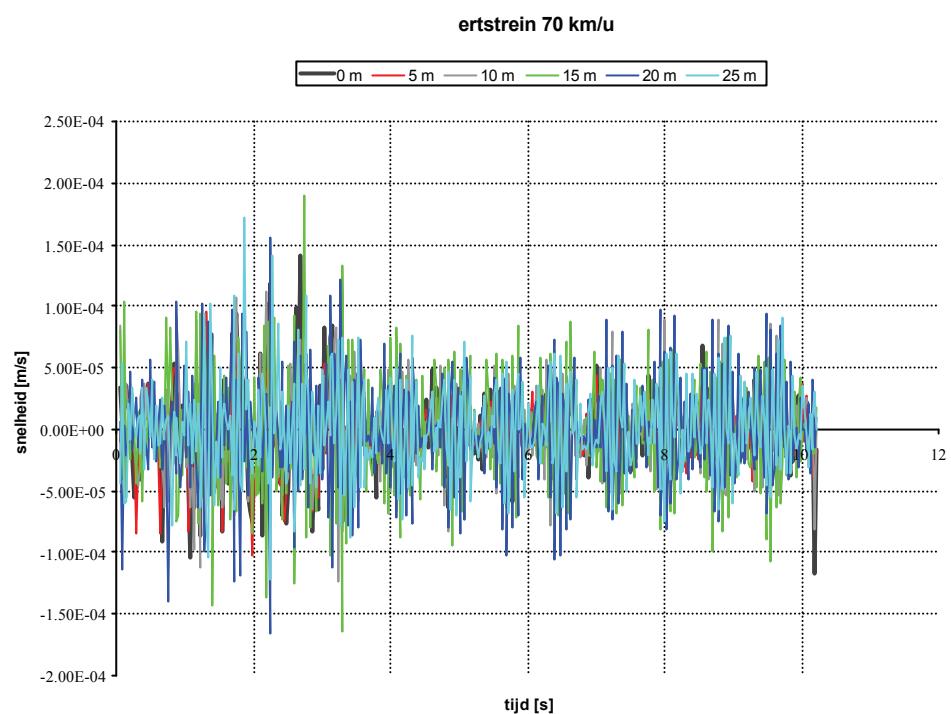
Figuur B 16: pleistoceen verticaal



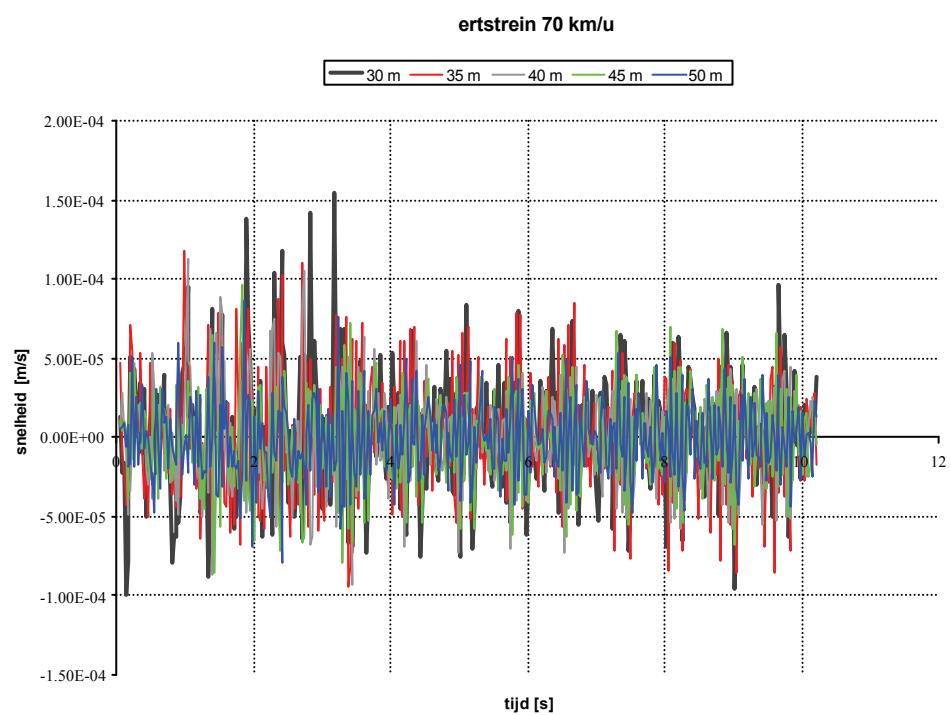
Figuur B 17: maaveld horizontaal



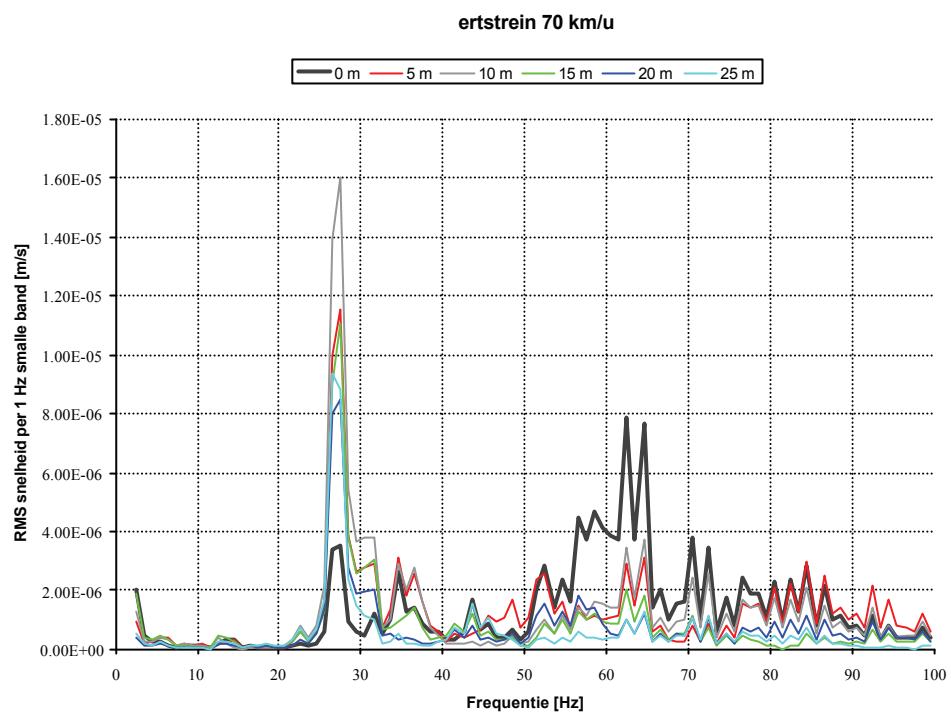
Figuur B 18: maaveld horizontaal



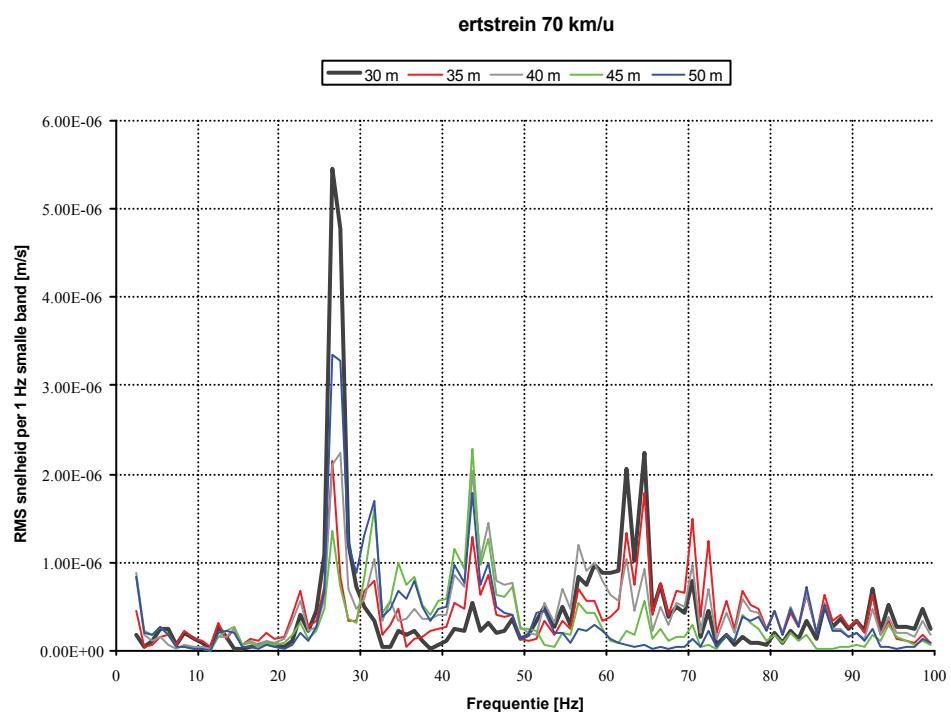
Figuur B 19: maai veld verticaal



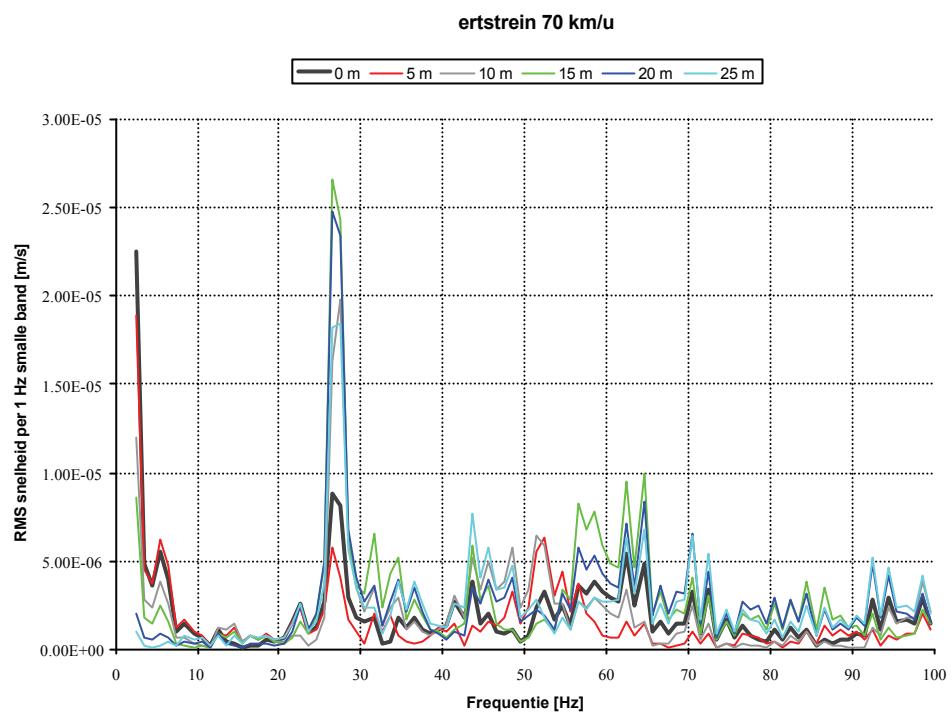
Figuur B 20: maai veld verticaal



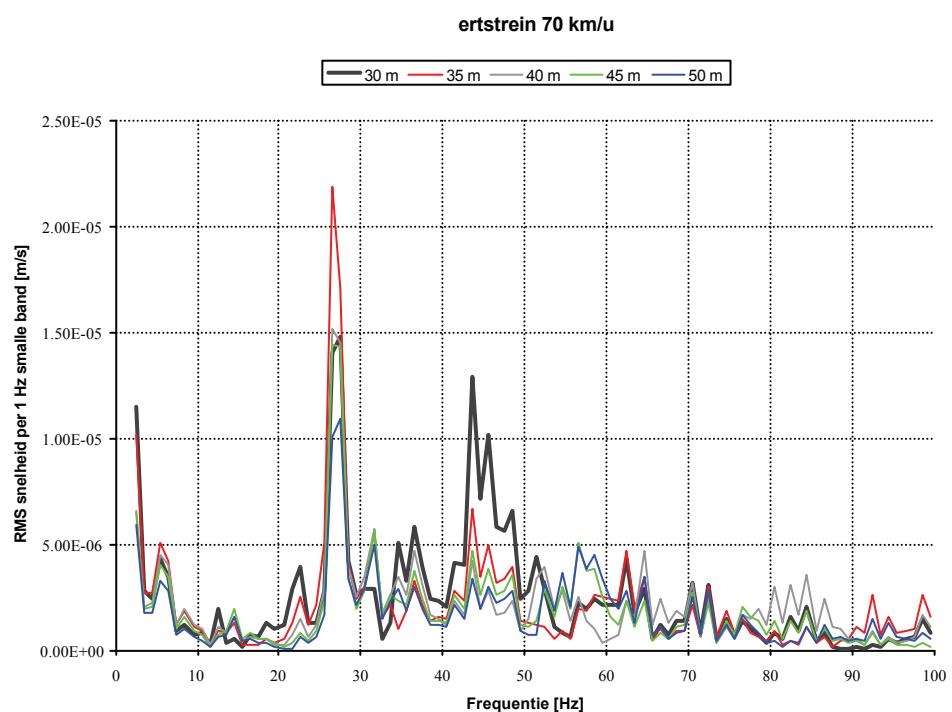
Figuur B 21: maaveld horizontaal



Figuur B 22: maaveld horizontaal



Figuur B 23: maaiveld verticaal



Figuur B 24: maaiveld verticaal