



Van Mourik Broekmanweg 6
Postbus 49
2600 AA Delft

www.tno.nl

T 015 276 30 00
F 015 276 30 18

TNO-rapport

2007-D-R0294

**Geluid- en trillingsmetingen tijdens de passage van
een testtrein door de Sophiaspoortunnel**

[Handwritten signature: J. Molenaar]

Datum	15 maart 2007
Auteur(s)	Drs. A. Koopman Dr.ir. F.M.B. Galanti Ir. D.J. Molenaar
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	34
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Expertteam De Volgerlanden p/a Ecorys Vastgoed bv. t.a.v. mevr. Drs. S.C.A. Nieuwenhuizen Watermanweg 44 3067 GG, Rotterdam
Projectnaam	Volgerlanden
Projectnummer	034.67254/01.01

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 onderzoeksopdrachten 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.

© 2007 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	3
1.1	Algemeen	3
1.2	Onderzoeksofzet	4
1.3	Projectgeschiedenis	5
2	Beschrijving meetopstelling.....	8
2.1	Objecten	9
2.1.1	tunnel.....	9
2.1.2	woningen	11
2.1.3	proeffunderingen	14
2.1.4	zandlaag.....	16
2.2	Instrumentatie.....	17
2.3	Trein	18
2.4	Uitvoering van de meting	18
3	Beoordeling	19
4	Resultaten metingen	21
4.1	Inleiding	21
4.2	Trillingen.....	21
4.3	Geluid	22
4.3.1	gemeten geluidniveaus	22
4.3.2	voortplanting van geluidafstralende trillingen.....	23
5	Prognose	25
5.1	Eerste prognose	25
5.2	Schaling vanwege bronsterkte.....	26
5.2.1	modellen	26
5.2.2	resultaten	27
5.3	Definitieve prognose	28
5.4	Eindoordeel	28
6	Conclusies en aanbevelingen	30
	Referenties.....	31

Bijlage(n)

A Verslag van de communicatie tijdens metingen

B Meetresultaten

1 Inleiding

1.1 Algemeen

In 1999 heeft TNO in opdracht van de Managementgroep Betuweroute onderzoek gedaan naar de trillingsniveaus in de omgeving van de drie geboorde tunnels. Dit leidde tot een advies van de Betuweroute aan zijn toekomstige 'buren' over een te hanteren 'veilige' afstand en over te nemen maatregelen. In 2001 werd dit onderzoek uitgebreid naar mogelijke hinder van laagfrequent geluid, hetgeen leidde tot een nieuwe, verder weg gelegen contourafstand en dus tot het inzicht dat laagfrequent geluid maatgevend is.

In juli 2004 heeft TNO aan de Projectorganisatie Betuweroute rapport uitgebracht over de mogelijke hinder van laagfrequent geluid en trillingen voor specifiek De Volgerlanden. De resultaten waren gebaseerd op trillingsmetingen in de omgeving van de Sophiaspoortunnel aan een kunstmatige trillingsbron (shaker) in de toen net gereed zijnde tunnel.

In februari 2005 is een tweede rapport hierover uitgebracht, waarin specifiek wordt gekeken naar de bouwplannen voor verscheidene woningtypen in de meest nabije omgeving van de Sophiaspoortunnel en waarin mogelijke maatregelen aan gebouwen worden voorgesteld.

Het Ministerie van VROM heeft vervolgens (mede namens het Ministerie van Verkeer en Waterstaat) en na overleg met de meest betrokken overheidspartijen een onafhankelijk interdepartementaal Expertteam ingesteld.

In oktober 2005 heeft het Expertteam advies uitgebracht (ref. [6]), waarin werd geconcludeerd dat de berekeningsmethodiek van TNO om de hinder ten gevolge van trillingen en laagfrequent geluid te voorspellen aanvaardbaar is. Het Expertteam concludeerde dat op een afstand van meer dan 90 meter uit het hart van elk van de tunnelbuizen alle geplande woningen zonder constructieve aanpassingen kunnen worden gebouwd. Verder werd geconcludeerd dat ook binnen de hindercontour van 90 meter in principe alle woningen kunnen worden gerealiseerd, zonodig met maatregelen aan de woning. In het verlengde daarvan werd vanuit een oogpunt van zorgvuldigheid geadviseerd:

- ofwel de realisatie van de woningbouw in deze zone uit te stellen tot het moment dat aan de hand van metingen op basis van een rit met een trein door de tunnel zou zijn vastgesteld of en zo ja in welke mate maatregelen aan woningen binnen die zone van 90 meter noodzakelijk zijn;
- ofwel alle of een deel van de woningen te realiseren met, waar nodig, constructieve aanpassingen.

Naar aanleiding van bovenstaand advies is besloten tot het uitvoeren van een of meer testritten met een trein door de Sophiaspoortunnel en het uitvoeren van metingen voor laagfrequent geluid en trillingen.

Ten behoeve van de metingen is een meetplan opgesteld ([1]). Het doel van het in het meetplan beschreven onderzoek is het bepalen van laagfrequent geluid- en trillingniveaus vanwege treinpassages en het vertalen van de uitkomsten naar hindercontour en maatregelen.

De onderzoeksdoelen van het beschreven onderzoek zijn, in aflopende volgorde van belang:

- Vastleggen van de geluid- en trillingsniveaus en frequentiespectra en de daaruit af te leiden hindercontour (nu: 90 meter)
- Vastleggen van de mate van limietoverschrijding binnen de contour
- Vaststellen wat het effect van verscheidene maatregelen is
- Vaststellen wat de geluid- en trillingsgevoeligheid van constructiekeuzes zijn

Het onderzoek is uitgevoerd in twee fases (twee metingen). De eerste meting werd zo vroeg mogelijk uitgevoerd, tijdens ritten van (korte) testtreinen. De tweede meting werd uitgevoerd zodra er een representatieve trein door de tunnel reed.

De eerste meting vond plaats in november 2006. Het doel van die eerste fase was tweeledig: enerzijds werd de meetopstelling getest en anderzijds kon wellicht meteen al een definitief oordeel worden gegeven. Na de eerste meting bleek dat een definitief oordeel niet mogelijk was en daarom werd in januari 2007 de tweede meting uitgevoerd.

Dit rapport beschrijft de uitvoering van de metingen (en de omstandigheden tijdens de metingen), en de resultaten voor wat betreft de vastlegging van de hindercontour. De meting in november wordt in dit hoofdstuk kort aangestipt, maar omdat de treinpassage onvoldoende representatief was wordt in de rest van dit rapport verder alleen in gegaan op de beter geslaagde meting van januari 2007.

1.2 Onderzoeksopzet

Het onderzoek bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Opbouwen van de meetlocatie
2. Uitvoeren van trillingsmetingen
3. Uitwerken metingen
4. Prognose
5. Vaststellen hindercontour

Ad 1)

Conform het Meetplan wordt een trillingsmeting uitgevoerd. Eerst wordt daartoe de meetopstelling gebouwd:

- de tunnel wordt beïnstroomd met trillingsopnemers en krachtopnemers; hiermee kan worden bepaald in welke mate de treinpassages waaraan gemeten wordt representatief zijn; de resultaten betekenen ook een referentie voor de toekomst
- de bodem wordt beïnstroomd met trillingsopnemers; er worden conussen met opnemers in de trillingsdragende zandlaag gedrukt; hiermee wordt de afstandsverzwakking in de bodem bepaald
- er worden proeffunderingen gebouwd; deze moeten inzicht geven in de mate waarin verschillende type funderingen gevoelig zijn voor bodemtrillingen
- de proeffunderingen worden beïnstroomd met trillingsopnemers en microfoons (één proeffundering wordt voorzien van een betonnen 'galmkamer')
- twee bestaande woningen (van de fam. Bezemer en van de fam. Martin) worden beïnstroomd met trillingsopnemers en microfoons; deze moeten inzicht geven in de mate waarin funderingstrillingen zich verder voortplanten in de woning en afstralen als laagfrequent geluid

Ad 2)

Tijdens testritten in verband met de ingebruikname van de Betuweroute worden de metingen uitgevoerd. Het gebruikte materieel dient qua trillingsgedrag voor laagfrequent geluid zo vergelijkbaar mogelijk te zijn met goederentreinen. Dit betekent dat de trein lang genoeg moet zijn, voorzien moet zijn van goederenbakken en van een zware locomotief.

Ad 3)

De meetresultaten worden voor toekomstig gebruik vastgelegd in een universeel format (in dit geval: TrilBase) en verwerkt tot trillings-, kracht- en geluidsniveaus per passage. Relevante eengetalswaarden worden bepaald voor de beoordeling van trillingshinder en geluidhinder.

Ad 4)

De resultaten worden gecombineerd tot prognoses over te meten geluid- en trillingsniveaus in willekeurige woningen op willekeurige afstanden tot de tunnel. Daarbij wordt ook gecorrigeerd voor de mate waarin de testtrein representatief is voor de toekomstige goederentreinen.

Ad 5)

De prognoses worden vergeleken met de te hanteren richtlijnen: de Methodiek van de Ruiter (voor laagfrequent geluid van ondergrondse railinfra), de SBR richtlijn voor trillingshinder en het Tracé Besluit. De afstand waarop aan alle drie de richtlijnen wordt voldaan is de hindercontour.

Overigens is het niet uit te sluiten dat er individuele woningen zijn die dermate trillingsgevoelig zijn ontworpen dat deze ook buiten de contour niet geheel voldoen aan de richtlijnen. Wel kan worden gesteld dat in een verzameling woningen (een wijk) buiten de contour het percentage ernstig gehinderden lager zal zijn dan wat de Wet Geluidhinder toestaat voor spoorlawaai, namelijk 2,5%.

1.3 Projectgeschiedenis

Het meetproject is in september 2006 gestart. De voorbereiding van de locaties werd door drie instanties verzorgd:

1. Het projectbureau De Volgerlanden van de Drechtsteden. Het projectbureau maakte afspraken met huiseigenaren over het ter beschikking stellen van hun woningen. Verder heeft het projectbureau ervoor gezorgd dat de proeffunderingen werden gerealiseerd.
Voor fase 1 behelsde dit het beschikbaar stellen van de woning van de familie Bezemer en het voorbelasten van de proeffunderingen (hetgeen uitvoeringstechnisch door Grontmij gerealiseerd is).
Voor fase 2 werden de woningen van de familie Bezemer en de familie Martin beschikbaar gesteld. Voor de proeffunderingen werd naast de voorbelasting ook voor een lege betonnen bak gezorgd op een van de proeffunderingen (door Grontmij).
2. De projectorganisatie Betuweroute (POBR) van ProRail. Deze stelde de tunnel beschikbaar voor plaatsing van apparatuur en deze organiseerde de testritten. Er werd een spooraannemer aangewezen (Asset Rail) die ervoor zorgde dat TNO de tunnelmeetopstelling kon plaatsen.
Met betrekking tot het regelen van een testrit was de situatie als volgt. POBR

had voor de hele Betuweroute een test programma opgesteld. Dit programma behelsde het testen van systemen langs het spoor ten behoeve van het klaar maken van het hele traject voor goederentransport. Testen geschiedde langs verschillende onderdelen van de Betuweroute met verschillende treinen volgens een vooraf vastgestelde planning. Testritten voor het onderdeel met de Sophiaspoortunnel waren gepland in het laatste kwartaal van 2006 en waren verder uitgelopen naar de eerste maanden van 2007. Het meetproject kon 'meeliften' op deze testritten. Voor aanvang van het project werd aangegeven dat de planning onder voorbehoud was en dat er geen rechten aan konden worden ontleend (zie ref. [2]).

3. TNO bewaakte dat de voorbereidingen conform het Meetplan werden getroffen. Het ging daarbij onder andere om het ontwerp van de proeffunderingen en de keuze van de testritten. TNO verzorgde verder de instrumentatie van de tunnel en, vlak voor de metingen, de instrumentatie van de overige locaties.
4. Het Expertteam voerde de supervisie uit over de voorbereidingen.

De metingen zelf zijn vervolgens uitgevoerd door TNO waarbij POBR zorg droeg voor de uitvoering van de testritten.

Verloop van de testritten

Achteraf is gebleken dat het moeilijk was om een keuze te maken voor een geschikte datum waarop de metingen konden plaatsvinden. Dit was het geval bij beide fases en is ontstaan door een steeds wisselende planning. Uiteindelijk zijn testdata als volgt gekozen voor beide fases: vrijdag 17 november 2006 voor fase 1 en dinsdag 16 januari 2007 voor fase 2. De definitieve testdata waren in beide gevallen pas één week van te voren vastgelegd.

Fase 1, 17 november 2006

De meting is uitgevoerd tijdens het testen van een stuk tracé van de Betuweroute van 17u tot 23u met een testtrein van bedrijf BB21. Deze trein bestond uit een diesel locomotief, een wagon en een motorpost. Deze trein is twee maal gepasseerd: één maal heen en één maal terug. Op de heenweg kwam de trein om 19:20 uur langs de meetlocatie met een snelheid van 27 km/h, op de terugweg om 20:44 uur met een snelheid van 30 km/h.

Op de meetdag bleek dat het niet mogelijk was een groter aantal passages noch passages met een grotere snelheid te laten plaatsvinden omdat de testtrein sterk vertraagd was geraakt en op tijd terug diende te zijn op de eindbestemming. Achteraf bleek de oorzaak van de vertraging een onjuiste afstelling van het veiligheidssysteem te zijn.

Uit een analyse van de meetgegevens bleek vervolgens dat de meting niet voldoende representatief was, wat zijn oorsprong had in het feit dat het een korte, lichte trein betrof die met een lage snelheid passeerde. Wel kon worden geconcludeerd dat de meetopstelling goed functioneerde en voor fase 2 geen aanpassing behoefde.

Fase 2, 16 januari 2007

Deze meting is uitgevoerd tijdens het testen van een stuk tracé van de Betuweroute van 17u tot 23u met een trein ten behoeve van een systeemintegratietest (SIT-2). Deze trein bestond uit twee diesel locomotieven, vijf platte wagens, een containerwagen en een

rijtuig. Deze trein is als representatief te beschouwen voor goederentreinen. Omdat werkelijke goederentreinen nog maanden op zich zouden laten wachten is daarom besloten met deze testtrein fase 2 in te gaan.

Deze trein is twee maal gepasseerd: één maal heen en één maal terug. Er waren nog twee passages gepland, maar deze konden vanwege de sterke vertraging van de testritten niet meer doorgaan. Op de heenweg kwam de trein om 22:25 uur langs de meetlocatie met een snelheid van 38 km/h, op de terugweg om 01:10 uur met een snelheid van 90 km/h.

Volgens het Meetplan diende in fase 2 meer passages plaats te vinden om de betrouwbaarheid van de contourligging te vergroten. Uit de eerste analyses bleek echter al snel dat de hindercontour veel dichterbij de tunnel zou komen, ook nu de betrouwbaarheid moest worden gehaald door ruimere marges in de analyse. Er is daarom besloten de meting niet over te doen.

Op de meetdag bleek dus dat het niet mogelijk was een groter aantal passages te laten plaatsvinden. Er waren twee oorzaken van de vertraging. Er waren problemen met het veiligheidssysteem, zowel met componenten ervan in de baan als met componenten in de trein. Een andere complicatie was een technisch probleem met een van de locomotieven, waardoor deze niet te gebruiken was voor het trekken van de trein op de terugweg. Als gevolg van deze problemen zijn de voor de Betuweroute geplande testen niet verricht. Desondanks heeft het testteam op de trein er alles aan gedaan om de testritten te laten doorgaan ten behoeve van de trillings- en geluidmetingen.

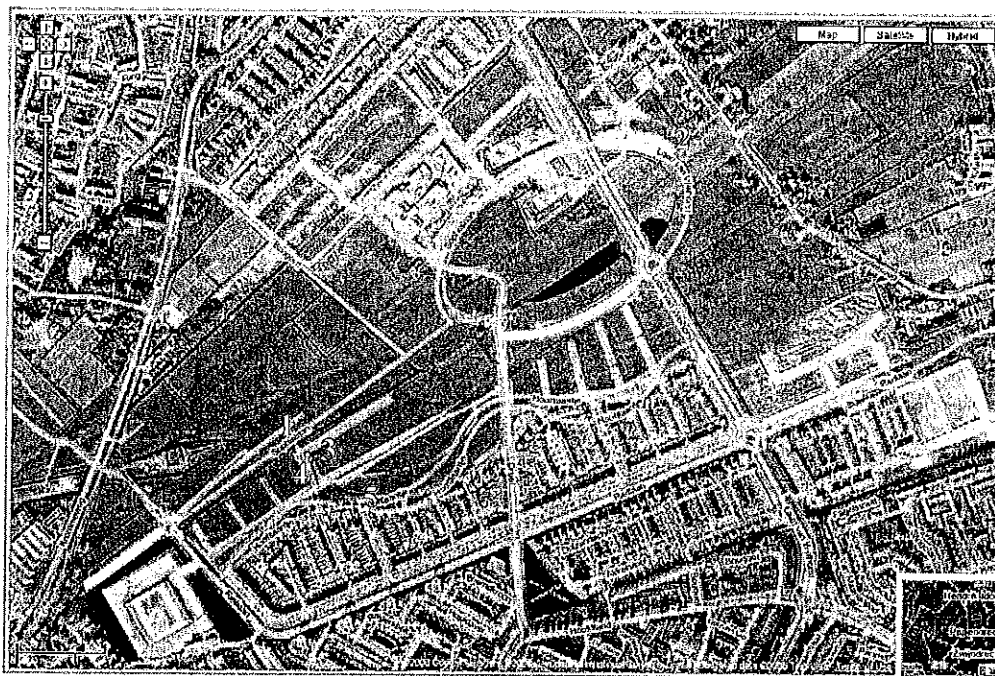
Om een idee te geven van het verloop van de metingen in beide fases is in Bijlage B een overzicht opgenomen van de communicatie tussen TNO en de testleider op de trein.

2 Beschrijving meetopstelling

Bij de meting van 16 januari 2007 (Fase 2) zijn vijf verschillende objecten geïnstrumenteerd, nl. de zuidbuis van de Sophiaspoortunnel, twee woningen, een groep proeffunderingen en de pleistocene zandlaag waarin de tunnel ligt en waarop de funderingspalen van de woningen zullen rusten. Onderstaande tabel geeft een overzicht van deze objecten. Het gebied waar gemeten is, wordt in Figuur 2.1 afgebeeld. In dit hoofdstuk wordt de meetopzet kort beschreven,

object	Beschrijving	afstand [m]
1	Zuidbuis op ongeveer 200 m afstand vanaf dienstgebouw west	0
2	Woning B, familie Bezemer, Vrouwgelenweg 69	65
3	Proeffunderingen	60
4	Zandlaag	40, 65, 90
5	Woning A, familie Martin, De Hooze Donck 33	150

Tabel 2.1: objecten waar gemeten is tijdens Fase 2; afstand is afstand tot zuidbuis

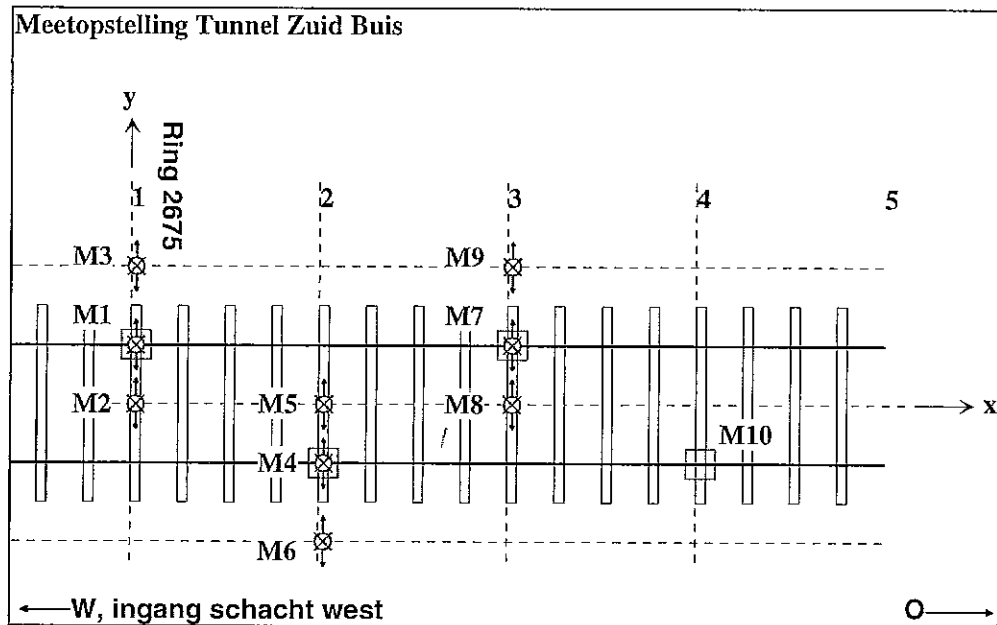


Figuur 2.1: overzicht van het gebied met de objecten

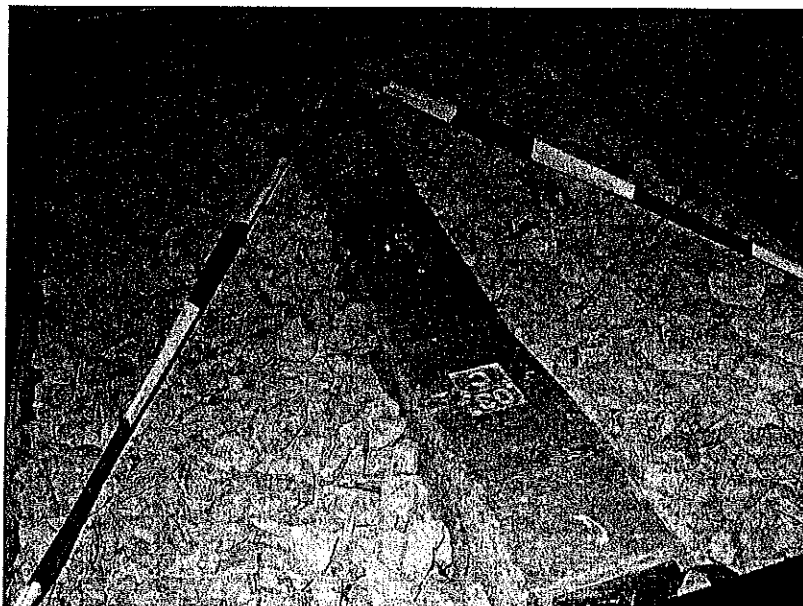
2.1 Objecten

2.1.1 tunnel

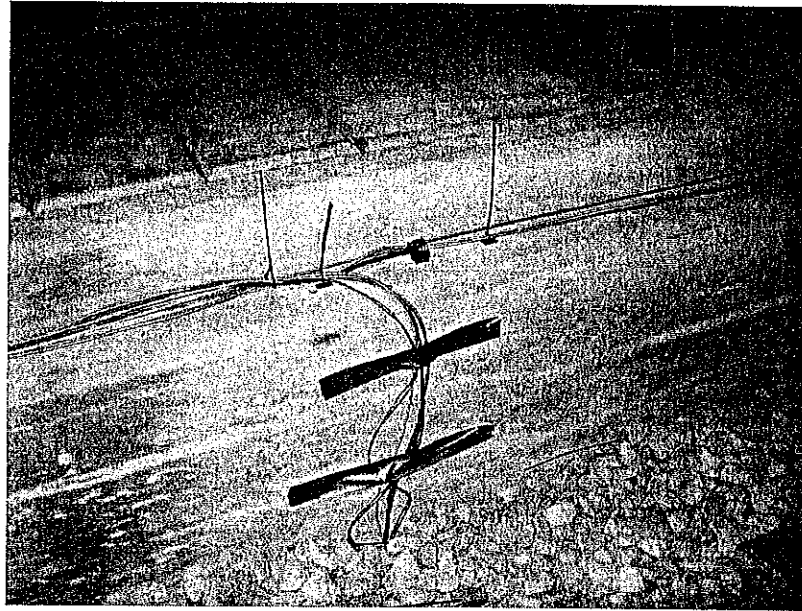
De meetopstelling bestaat uit de volgende onderdelen. Op vier plaatsen ter hoogte van dwarsliggers zijn krachten in de onderlegplaten en de relatieve indrukking daarvan gemeten. De krachten zijn met behulp van rekstroken op het lijf van de spoorstaaf gemeten. Op drie plaatsen zijn ook de spoorstaaf, de dwarsligger en de inlay voorzien van 2D trillingsopnemers.



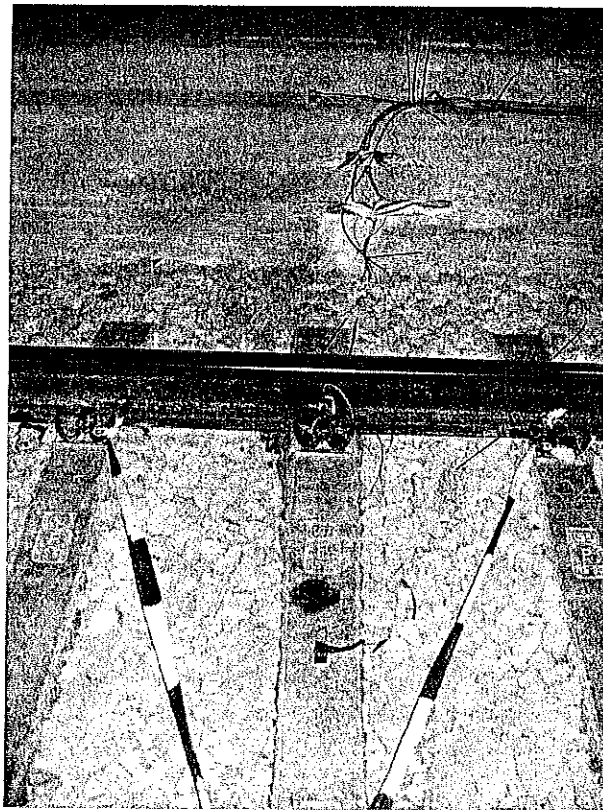
Figuur 2.2: meetopstelling in de tunnel



Figuur 2.3: twee versnellingsopnemers midden op een dwarsligger



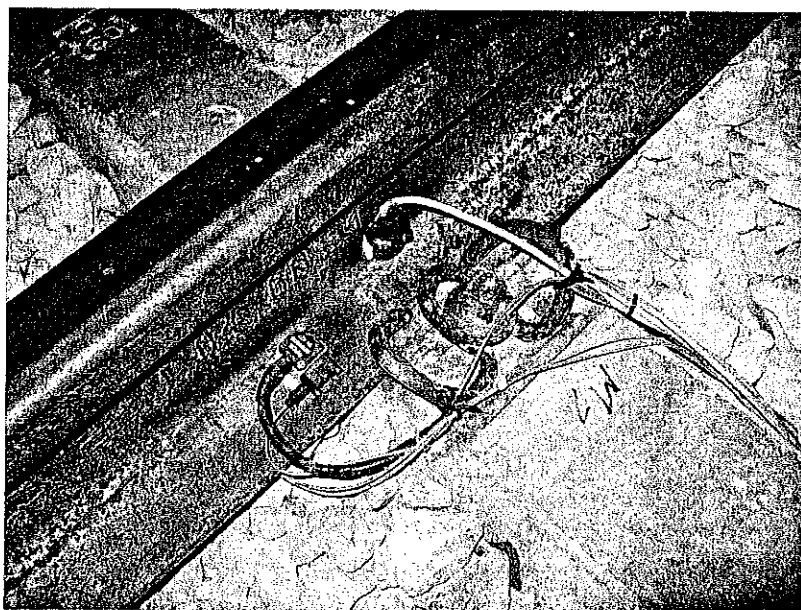
Figuur 2.4: bekabeling en een versnellingsopnemer op een betonnen segment van de inlay



Figuur 2.5: versnellingsopnemers op een dwarsligger en op de inlay (achtergrond).



Figuur 2.6: een overzicht van de meetpost in de tunnel



Figuur 2.7: in de tunnel bij meetplaats 7: twee versnellingsopnemers (links) en een rekopnemer (rechts) vlak boven een railpad (bevestiging op dwarsligger)

2.1.2 woningen

In de twee woningen zijn synchroon trillingen en geluid gemeten:

- Twee microfoons in woonkamer
- Twee microfoons in slaapkamer
- 3D Trillingssensoren aan fundering, op 2 hoeken

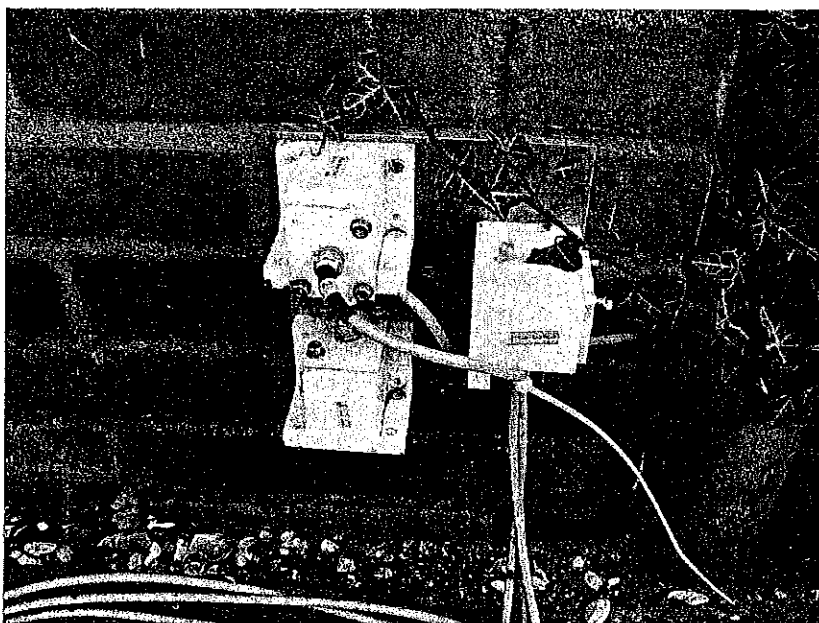
Verder zijn bij de fam. Bezemer nog toegevoegd:

- 1D sensoren midden vloerveld in slaapkamer en in woonkamer
- 1D sensoren midden 2 wanden in slaapkamer en in woonkamer

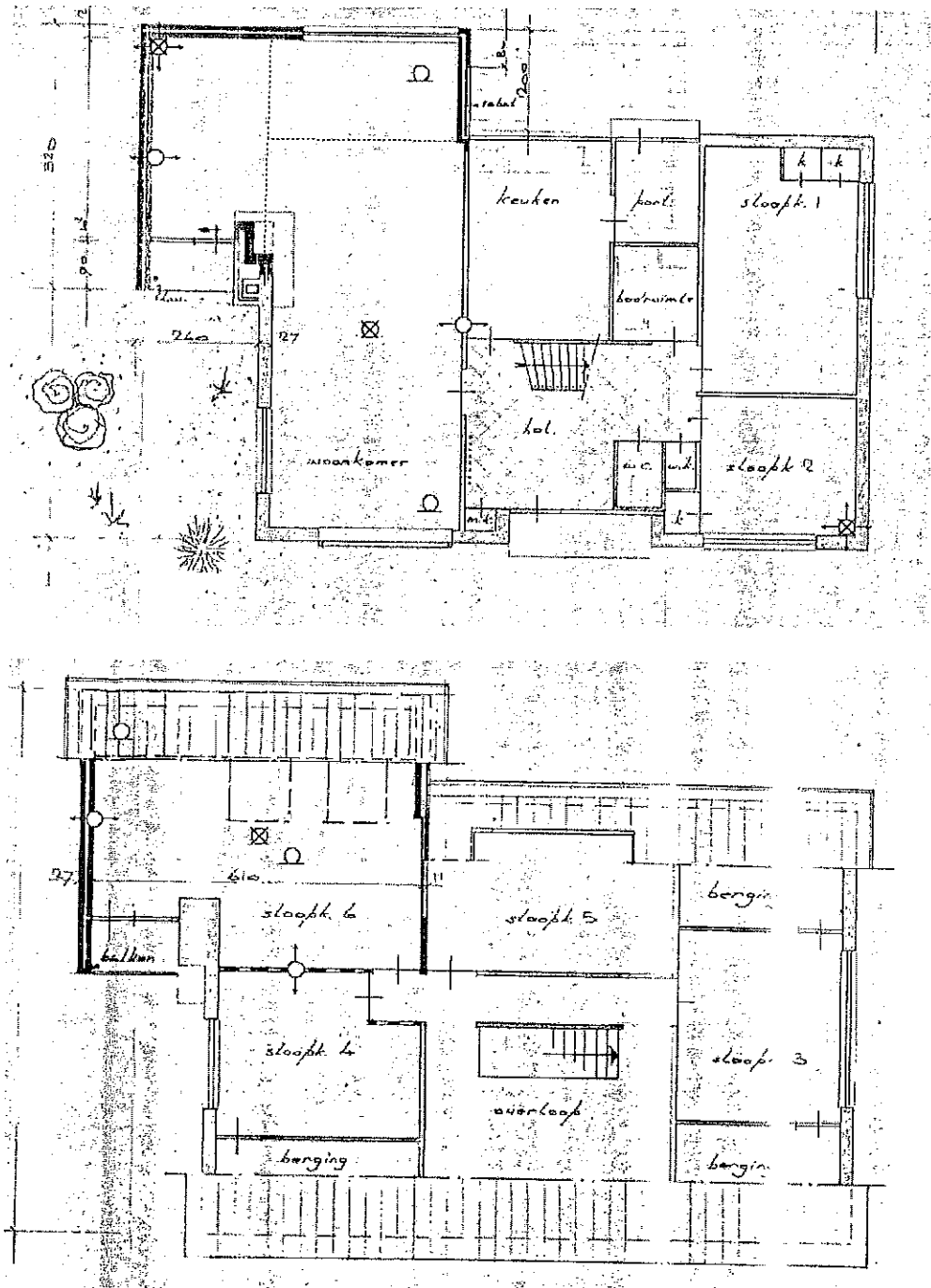
De positie van de opnemers in de woning van de familie Bezemer wordt in Figuur 2.10 aangegeven. Figuur 2.8, Figuur 2.9 en Figuur 2.11 zijn enkele foto's van deze locatie.



Figuur 2.8: het huis van de fam. Bezemer aan de Vrouwgelenweg 69



Figuur 2.9: versnellingsopnemers aan de gebouwfundering, in drie richtingen



Figuur 2.10: overzicht met positie opnemers in de woning van de fam. Bezemer (begane grond boven, eerste verdieping onder)



Figuur 2.11: een microfoon staat opgesteld in het interieur .

2.1.3 proeffunderingen

Per proeffundering is gemeten met 3D trillingssensoren op 2 hoeken. De proeffunderingen stonden opgesteld in twee 'rijtjes' met elk drie 'woningen'. De massa van de woningen is gesimuleerd met behulp van stelcon platen. Verder is op fundering 2 een prefab kelder geplaatst om afstraling van laagfrequent geluid te meten. Een overzicht van de proeffunderingen met meetpunten is in Figuur 2.12 aangegeven. De voorbelasting in de vorm van stelcon platen en de prefab kelder zijn te zien in Figuur 2.13.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de eigenschappen van de proeffunderingen.

	oriëntatie funderings- stroken tov tunnelas	afstand tot tunnelas [meter]	belasting	paaltype [mm] (vierkant)	bijzonderheden
fundatie 1	parallel	80	belast	250	rubberen paalkop
fundatie 2	parallel	70	belast	250 en 220	prefab kelder
fundatie 3	parallel	60	onbelast	250 en 220	
fundatie 4	loodrecht	60	onbelast	250 en 220	
fundatie 5	loodrecht	60	belast	250 en 220	
fundatie 6	loodrecht	60	belast	220	hoge fundering

Tabel 2.2: eigenschappen van de proeffunderingen

Funderingen 2 en 5 zijn in principe standaard funderingen (zoals die waarschijnlijk overal in De Volgerlanden toegepast zullen worden) zij het met aan één kant wat dünnere palen dan gebruikelijk. Zij dienen ter referentie.

Fundatie 1 heeft standaard palen waarvan de koppen voorzien zijn van een rubberen muts. Dit is bedoeld als geluidreducerende maatregel tegen trillingen die via de palen in een woning komen. Deze maatregel is voorgesteld door DHV (zie ref [4]).

Aan de hand van de meetresultaten kan worden bepaald hoe effectief deze maatregel is.

Figuur 2.12. Overzicht meetpunten bij de proeffunderingen (blok 2 en 3), met positie van de voorbelasting en prefab kelder. De pijl is loodrecht op het tunnel gericht.



Figuur 2.13: proeffunderingen met voorbelasting; rechts is de prefab kelder te zien

2.1.4 zandlaag

Op drie afzonderlijke afstanden tot de zuidelijke tunnelbuis, 40 m, 65 m en 90 m, zijn trillingen in de zandlaag gemeten met behulp van conussen met 3D opnemers.

2.2 Instrumentatie

De meting van fase 2 is met behulp van 101 opnemers en vier separate acquisitie systemen uitgevoerd. Onderstaande tabel geeft een samenvatting van de meetpunten. Meetgegevens zijn continu opgenomen gedurende een periode van ongeveer 6 uur waarbinnen twee passages door de tunnel hebben plaatsgevonden.

Tijdstip	Acq. Sys.	Kanalen	Locatie	Opnemers	Richting
17-11-2006, Fase 1	B	1 t/m 36	Fundatie, 6 plaatsen	versnelling	X,Y,Z
en 16-01-2007, Fase 2		37 t/m 45	Bodem, 3 plaatsen	versnelling	X,Y,Z
			Vrouwgelenweg 69		
	C	1 t/m 6	Woning Bezemer, fund. 2x	versnelling	X,Y,Z
		7 t/m 9	Woning Bezemer, woonk.	versnelling	Y,Z
		10 t/m			
		12	Woning Bezemer, slaapk.	versnelling	Y,Z
		13, 14	Woning Bezemer, woonk.	microfoon	omni
		15, 16	Woning Bezemer, slaapk.	microfoon	omni
	A		Zuidelijke buis		
		1 t/m 18	Tunnel, rail, sleeper, inlay	versnelling	X,Y
		19 t/m	Tunnel, sleeper, links,		
		22	rechts	kracht	Z
		23 t/m			
		26	Z-verplaatsing rail	laser	Z
		27, 28	Treindetectie	laser	X, Z
Alleen Fase 2	B		Betonnen kelder op proeffunderingen	microfoon	omni
		46, 47			
	D		De Hooge Donck 33		
		1 t/m 6	Woning Martin, fund 2x	versnelling	X,Y,Z
			Woning Martin, Woonk.		
		7 t/m 10	Slaapk.	microfoon	omni
Totaal		101			

Tabel 2.3: overzicht meetpunten

2.3 Trein

Tijdens Fase 2 reed een trein van ongeveer 160 meter lengte door de tunnel:

1	1 Loc	RRF 18	70 ton; 2 draaistellen (4 assen)
2	1 Loc	BR203	70 ton; 2 draaistellen (4 assen)
3	1 rijtuig	TC	54 ton; 2 draaistellen (4 assen)
4	1 containerwagen		12.2 ton; 2 assen
5	5 platte wagens		24.5 ton; 2 draaistellen (4 assen)

Tabel 2.4: trein samenstelling bij fase 2

2.4 Uitvoering van de meting

De voorbereiding van de meetapparatuur en het uitvoeren van de meting is verricht door Fred Middeldorp, Piet Meljer, Peter van der Meer, Arnold Koopman en Flavio Galanti. Verder hebben Jan Lucas en Ton Kühn bijgedragen aan de voorbereiding van de meetapparatuur.

3 Beoordeling

De resultaten van de metingen worden vertaald naar te verwachten geluid- en trillingsniveaus in de te bouwen woningen in De Volgerlanden en getoetst aan de SBR richtlijn voor trillingshinder, de trillingsparagraaf van het Tracé Besluit en de Methodiek van de Ruiter voor laagfrequent geluid.

De trillingsniveaus worden verwerkt tot $V_{\text{eff,max}}$, het maximale effectieve trillingsniveau van een meetpunt vanwege een treinpassage, conform SBR richtlijn B voor trillingshinder. Omdat het trillingsniveau per passage verschilt, wordt van een zo groot mogelijk aantal passages het maximum genomen: V_{max} . (Indien het aantal passages te gering is wordt voor de bepaling van V_{max} gebruik gemaakt van statistiek.) Deze grootheid is identiek aan de zogenaamde KB-waarde van het Tracé Besluit van de Betuweroute. Het Tracé Besluit stelt dat in woningen langs de goederenlijn de waarde van 0,4 niet mag worden overschreden. De SBR richtlijn B stelt 0,2 als streefwaarde voor nachtelijke treinpassages en 0,4 voor passages overdag en 's avonds. De voelbaarheidsgrens verschilt per individu maar ligt gemiddeld bij 0,1. V_{max} is een dimensieloze grootheid. De meetwaardes worden, na een aantal bewerkingen, gedeeld door de referentiesnelheid van 1 mm/s.

Van de geluidsignalen worden de geluiddrukkniveaus in de 16, 32, 63, en 125 Hz octaafbanden bepaald, alsmede het geluidniveau $L_p(A)$. Het gemiddelde niveau tijdens passages wordt vergeleken met de grenswaarden die de Methodiek van de Ruiter hieraan stelt. De Methodiek van de Ruiter is een richtlijn voor laagfrequent geluid die speciaal voor ondergrondse railinfrastructuur is ontwikkeld en is toegepast voor o.a. de Rotterdamse metro en de Willemsspoortunnel. Bij de eerdere prognoses is steeds gebleken dat van de 63 Hz octaafband maatgevend is. De grenswaarde voor deze band is 55 dB.

Betreffende de beoordeling van laagfrequent geluid is de volgende ontwikkeling nog van belang. Op 13 december 2006 heeft de afdeling bestuursrechtspraak van de Raad van State uitspraak gedaan in het geschil omtrent de vergunning voor de zandwinning te Lomm (Li). In deze zaak was onder meer de beoordeling van laagfrequent geluid aan de orde. In de uitspraak stelt de afdeling dat verweerders zich terecht heeft gebaseerd op de zogenoemde Vercammen-curven. Hiermee is een einde gekomen aan een tijdperk waarin naar de mening van de afdeling de beoordeling van laagfrequent geluid niet binnen het kader van de Wet milieubeheer paste, in verband met het ontbreken van een betrouwbare dosis-responsrelatie. De beoordeling van laagfrequent geluid is vanwege de uitspraak niet strikt tot de Vercammen-curven beperkt; de bevoegde gezagen kunnen in het kader van hun bestuurlijke beoordelingsvrijheid zelf een keuze maken uit de voorhanden zijnde beoordelingscriteria. De Methodiek van de Ruiter is een dergelijk beoordelingscriterium. De Vercammen-curven zelf zijn overigens niet goed geschikt voor railverkeer omdat dit beoordelingscriterium is ontwikkeld voor voornamelijk continue, tonale bronnen zoals gebouwinstallaties en industriële installaties.

Daar waar aan de SBR richtlijn en aan de Methodiek van de Ruiter wordt voldaan kan verwacht worden dat het percentage ernstig gehinderden zeer laag is (lager dan 2,5%). In voorgaande prognoseonderzoeken is het percentage ernstig gehinderen als criterium gehanteerd. Ter voorkoming van een stapeling van onzekerheden werd de spreiding in hinderbeleving tussen individuen gecombineerd met de onzekerheid van de prognose. Nu de prognose bijna geen onzekerheid meer kent (residu blijft de 'opschaling' van de

resultaten van de testtrein naar de toekomstige goederentreinen) is de individuele spreiding in hinderbeleving dominant en is toetsing aan het 2,5%-criterium gelijk aan directe toetsing aan de richtlijnen.

4 Resultaten metingen

4.1 Inleiding

De trein is twee maal gepasseerd: één maal heen en één maal terug. Op de heenweg kwam de trein om 22:25 uur langs de meetlocatie met een snelheid van ongeveer 40 km/h, op de terugweg om 01:10 uur met een snelheid van ongeveer 90 km/h. Meer passages waren die avond en nacht niet uit te voeren vanwege problemen met de meettrein en met het beveiligingssysteem in de tunnel.

De resultaten van de tweede passage staan in Bijlage B en worden in dit hoofdstuk kort samengevat. De eerste passage is, vanwege de geringe treinsnelheid, niet uitgewerkt.

4.2 Trillingen

In deze paragraaf worden de meetresultaten gepresenteerd die betrekking hebben op hinder van trillingen.

Onderstaande tabel vat de gemeten trillingsniveaus samen.

$V_{\text{eff,max}} [-]$	fundering voor	fundering achter	vloer
fam Bezemer	0,006	0,006	0,012
fam Martin	0,0006	0,0012	
fundatie 1	0,008	0,009	
fundatie 2	0,013	0,017	
fundatie 3	0,043	0,022	
fundatie 4	0,029	0,022	
fundatie 5	0,015	0,022	
fundatie 6	0,018	0,010	

	40 meter	65 meter	90 meter
zandlaag	0,022	0,013	0,008

	spoorstaaf	dwarsligger	inlay
tunnel	350	190	5

Tabel 4.1: gemeten trillingsniveaus, grootste van drie richtingen per meetpunt

De trillingsniveaus zijn zeer laag en zouden met reguliere trillingsmeetsystemen niet meetbaar zijn geweest. De trillingen zijn niet voelbaar. De trillingen bij de fam. Martin betreffen achtergrondtrillingen: de treinpassage is niet te herkennen in de meetsignalen. De afstandsverzwakking in de zandlaag is circa 20% per 10 meter.

Van de zandlaag (op 65 meter) naar de erboven gelegen standaard funderingen (2 en 5) vindt een zekere versterking plaats (circa factor 1,5). De vloer van de fam. Bezemer zorgt vervolgens voor een extra opslingering met een factor 2.

4.3 Geluid

In deze paragraaf worden de meetresultaten gepresenteerd die relevant zijn voor laagfrequent geluid. Het gaat daarbij niet alleen om de gemeten geluidniveaus, maar ook om de niveaus van de trillingen die verantwoordelijk zijn voor de geluidafstraling. In de eerste subparagraaf wordt afgeleid wat de geluidniveaus, vanwege de passage van de testtrein, op de drie locaties (de twee woningen en de prefab kelder op proeffundering 2) maximaal zijn geweest. In de tweede subparagraaf wordt bepaald hoe de geluidveroorzakende trillingen, namelijk de trillingen in de 63 Hz octaafband, zich voortplanten door bodem en gebouw. Daarbij wordt ook kort ingegaan op de invloed van de verschillende funderingstypen.

4.3.1 gemeten geluidniveaus

In de woningen van de fam. Bezemer en de fam. Martin is in de slaapkamer en in de woonkamer het geluiddrukniveau gemeten met microfoons voor laagfrequent geluid. Ook is geluid gemeten in een betonnen bak op proeffundering 5. Het geluid is gefilterd voor twee octaafbanden: de 63 Hz octaafband, die volgens de prognoses maatgevend is, en de 32 Hz octaafband, ter controle.

Dit leverde de volgende resultaten. Het gaat om het hoogst gemeten, over 6 seconden energetische gemiddelde, geluiddrukniveau. Omdat de trein in 6 seconde passeert kan het 6-seconde gemiddelde worden beschouwd als representatief voor het 'passageniveau', de toetsgrootheid voor de Methodiek van de Ruiter voor laagfrequentgeluidhinder vanwege ondergrondse treinpassages.

$L_{eq, 6sec}$ [dB]	32 Hz		63 Hz	
	woonkamer	slaapkamer	woonkamer	slaapkamer
fam Bezemer	44	46	34	40
fam Martin	37	37	37	41
prefab kelder	57		61	

Tabel 4.2: gemeten equivalent geluidniveau tijdens de passage

Het passagegeluid van de testtrein komt in geen van de ruimtes boven het achtergrondniveau uit, zo blijkt uit de geluidmetingen voor en na de passage. Het werkelijke passageniveau zal daarom ten minste 7 dB onder het gemeten niveau liggen. Immers, bij 6 dB verschil tussen achtergrond en passage treedt een verhoging van 1 dB op, een verschil tussen voor, tijdens en na passage dat net afleesbaar zou moeten zijn in de metingen (en dat niet is). Deze overwegingen leiden tot de volgende bovengrens van de passageniveaus:

$L_{eq, 6sec}$ [dB]	32 Hz		63 Hz	
	woonkamer	slaapkamer	woonkamer	slaapkamer
fam Bezemer	37	39	27	33
fam Martin	30	30	30	34
fundatie 5	50		54	

Tabel 4.3: bovengrens van het equivalent geluidniveau vanwege de passage

Het niveau van de 32 Hz octaafband is bij de fam. Martin vergelijkbaar met die van de 63 Hz octaafband, en bij de familie Bezemer wat hoger. Het geluid in de 32 Hz octaafband is echter toch minder belangrijk, gegeven de sterk afnemende gehoorgevoeligheid bij lage frequenties die de verschillen ruim compenseert.

Maatgevend voor de vaststelling van de mate van geluidafstraling is het geluidniveau in de woonkamer van de fam. Bezemer (nl. 27 dB in de 63 Hz octaafband). De woning van de fam. Martin ligt dermate ver van de tunnel dat de werkelijke niveaus vanwege de passage waarschijnlijk nog ver beneden de hierboven bepaalde bovengrenzen zullen liggen. Het niveau in de slaapkamer van de fam. Bezemer kan ook niet als representatief worden beschouwd, om de volgende redenen.

De trillingen in de vloer van de woonkamer van de fam. Bezemer correleren nog enigszins met de fundatietrillingen (zie Bijlage B). De overige vloeren en wanden bij de fam. Bezemer, en bij de fam. Martin, correleren nauwelijks tot niet met hun fundering maar hebben wel een hoger trillingsniveau dan hun fundering. Dit duidt erop dat deze bouwdelen door andere bronnen, binnen en buiten de woning, worden aangestoten. Het geluid in de bijbehorende ruimtes (slaapkamer van de fam. Bezemer, en de kamers van de fam. Martin) zal dus ook van die andere bronnen afkomstig zijn. Dit komt overeen met de waarneming dat het passagegeluid niet boven de achtergrond uitkomt. De slaapkamer van de fam. Bezemer betreft een zolderkamer en vanwege de geringe isolatie voor laagfrequent geluid van dakconstructies is daar een hoger achtergrondniveau te verwachten dan in de woonkamer.

Op grond van deze resultaten kan worden geconcludeerd dat het geluiddrukkniveau in de 63 Hz octaafband vanwege de passage van de testtrein in de woning van de fam. Bezemer ten hoogste 27 dB bedroeg. Bij de fam. Martin zal het niveau zeker nog lager zijn geweest, hoewel dat vanwege het omgevingslawaai niet vast te stellen was. Om die zelfde reden zijn de resultaten van de prefab kelder op proeffundering 5 ook niet bruikbaar.

4.3.2 voortplanting van geluidafstralende trillingen

Om de gemeten geluidniveaus, met name die bij de familie Bezemer, te extrapoleren naar andere afstanden en andere funderingen, dient de relatie te worden bepaald tussen geluid in de woningen en de trillingen in deze woningen, en tussen de woningtrillingen en alle overige trillingsmeetpunten. Daartoe zijn de trillingsmetingen uitgewerkt als betrof het geluid: over 6 seconden gemiddelde niveaus in de 63 Hz octaafband, gepresenteerd in dB's. De resultaten staan in Tabel 4.4.

Nadere inspectie van de funderingsmetingen (zie bijlage) levert de volgende observaties:

Fundatie 1, rubber paalkop (DHV). Aan de voorzijde lijkt de rubber afvering niet goed te werken.

Fundatie 2, standaard. De dunne paal aan de voorzijde lijkt veel effect te hebben.

Fundatie 3, losse palen. Onbelaste palen kunnen harder trillen dan belaste, maar de dunne paal staat wel erg los.

Fundatie 4, losse palen. Deze onbelaste palen geven vergelijkbaar beeld als fundatie 3 achter.

Fundatie 5, standaard. De 3 sensoren op de fundering voor hebben een hoog permanent achtergrondniveau. Er is waarschijnlijk sprake van storing op de sensorkabel.

Fundatie 6, TNO pakket. Verticale trillingen worden zeer effectief bestreden, voor de effectiviteit zijn daarom de horizontale trillingen (hierboven gepresenteerd) maatgevend.

$L_{v, 63\text{ Hz}}$ [dB, ref 5E-8]	fundering voor	fundering achter	
fam Bezemer	13	15	
fam Martin	-3	-4	
fundatie 1	36	22	80m, parallel, rubber paalkop
fundatie 2	<u>27</u>	35	70m, parallel, standaard
fundatie 3	<u>52</u>	36	60m, parallel, onbelast
fundatie 4	<u>35</u>	34	60m, loodrecht, onbelast
fundatie 5	?	<u>35</u>	60m, loodrecht, standaard
fundatie 6	<u>32</u>	<u>29</u>	60m, loodrecht, hoge fundatie

	40 meter	65 meter	90 meter
zandlaag	45	40	38

	spoorstaaf	dwarsligger	inlay
tunnel	113	107	81

Tabel 4.4: trillingsniveau in de 63 Hz octaafband op de verschillende meetpunten; onderstreept zijn de niveaus van de meetpunten op funderingsbalken die onderheid zijn met dunne palen (220 cm vierkant i.p.v. 250 cm)

De volgende conclusies kunnen worden getrokken uit deze resultaten:

- Volgens de metingen bij de fam. Bezemer is de overdracht van trillingen aan de gebouwfundering naar geluid in de verblijfsruimten (ten hoogste) +12 dB. Dit komt overeen met de resultaten van vergelijkbare metingen bij metrostation De Akkers in Spijkernisse (ref. [9])
- Ter hoogte van de proeffunderingen is het trillingsniveau in de zandlaag 40 dB.
- Tot 65 meter is de afstandsdemping 2 dB per 10 meter, voorbij die afstand is de demping 1 dB per 10 meter.
- Op een standaard fundering blijft daarvan 35 dB over. In de overdracht van zandlaag naar fundering vindt dus een verzwakking van 5 dB plaats.
- Het 'TNO' pakket aan maatregelen levert een reductie van 4 dB.
- Het is onduidelijk wat de rubberen paalkop oplevert. De reductie is nu slechts 1 dB (gemiddeld niveau op de fundering is 33 dB, en de fundering staat wat verder van de tunnel) maar die wordt vooral bepaald door de horizontale component van de trillingen aan de voorkant van de fundering. Er kan sprake zijn van een uitvoeringsfout waardoor 'kortsluiting' is ontstaan tussen paal en fundering. Anderzijds kan er sprake zijn van een ontwerpfout.
- De noordbuis van de tunnel heeft een sterk afschermende werking (-20 dB) voor passages door de zuidbuis. De woning van de fam. Bezemer ligt op ongeveer dezelfde afstand tot de zuidbuis als de proeffunderingen, maar dan ten noorden ervan. Op de fundering van de woning werd geen 35 dB gemeten, zoals op de proeffunderingen, maar slechts 15 dB. Verwacht kan worden dat de zuidbuis een vergelijkbare bescherming biedt aan de woningen ten zuiden van de tunnel voor passages door de noordbuis.

5 Prognose

5.1 Eerste prognose

De resultaten van het vorige hoofdstuk leiden tot de volgende prognose van het te meten geluid- en trillingsniveau in een woning op verschillende afstanden tot de dichtstbijzijnde tunnelbuis.

afstand [m]	$V_{\text{eff,max}}$ [-]	$L_{p, 63 \text{ Hz}}$ [dB]
20	0,1	56
30	0,08	54
40	0,06	52
50	0,05	50
60	0,04	48
70	0,04	47
80	0,03	46
90	0,02	45
100	0,02	44

Tabel 5.1: trillings- en geluidniveaus in de woning van de fam. Bezemer gesteld dat deze op verschillende afstanden tot de tunnel zou staan

De woning in kwestie is die van de fam. Bezemer: de overdrachten van funderingstrillingen naar trillingen en geluid in de woningen is immers gebaseerd op metingen aan deze woning. De vraag is nu hoe representatief deze woning is voor de nieuwbouw in De Volgerlanden.

Wat betreft trillingen is de woning van de fam. Bezemer gunstig te noemen. De opslingering van de vloer zorgt voor een versterking van (slechts) een factor 2. Gemiddeld voor hedendaagse nieuwbouw is een factor 3 voor de begane grondvloer (en een wat lagere factor voor verdiepingsvloeren). Ten behoeve van de representativiteit van de prognose voor de nieuwbouw in De Volgerlanden dienen de resultaten dus te worden opgeschaald met een factor 1,5.

Wat betreft laagfrequent geluid is de woning van de fam. Bezemer, meer in het bijzonder de woonkamer waarvan hier de resultaten zijn gebruikt, gemiddeld te noemen. In de 63 Hz octaafband slingeren de vloer en het plafond (vloer slaapkamer) ongeveer 10 dB op (zie bijlage), hetgeen ook verwacht mag worden in nieuwbouwwoningen. Vloer en plafond zijn vaak de belangrijkste afstralende vlakken in een ruimte. De woonkamer is van een gemiddelde omvang en kent een relatief groot raamoppervlak (waardoor laagfrequent geluid verdwijnt). De meubilering van de woonkamer is regulier.

De conclusie is dat de geluidniveaus in bovenstaande tabel typerend mogen worden geacht voor de gemiddelde woning in De Volgerlanden, terwijl de trillingsniveaus daarvoor vermenigvuldigd moeten worden met een factor 1,5. Dit zal worden toegelicht in de definitieve prognose aan het einde van dit hoofdstuk.

5.2 Schaling vanwege bronsterkte

In hoeverre is de passage van de testtrein representatief voor de toekomstige goederentreinen?

De lengte van de trein (160 meter) en de passagesnelheid (90 km/uur) zijn zeker voldoende representatief. Alleen voor meting in de woning van de fam. Martin is de trein eigenlijk wat te kort: de vuistregel is dat de treinlengte niet meer uitmaakt zodra de trein minstens 2 maal zo lang is als de afstand tot het spoor. Voor de fam. Martin zou de trein 300 meter lang moeten zijn geweest. Dit betekent dat de resultaten van deze woning een onderschatting zijn, van ten hoogste een factor 2, c.q. 6 dB.

Verder zijn voor de opwekking van trillingen de rondheid van de wielen, de dynamica van de wagons en locs en de ligging van het spoor van belang. Specifiek voor trillingshinder kunnen ook de aslasten een rol spelen. De testtrein is 'bont' van karakter: 2 locs, een containerwagen, een reizigersrijtuig, een aantal platte wagons. Er is dus een goede kans dat er voldoende ongunstige elementen in aanwezig zijn. Exacte informatie, over bijvoorbeeld de rondheid van de wielen en de kwaliteit van de baanligging, zijn echter niet voorhanden. Daarom is er gemeten aan de resultante van al deze factoren: de trillingskracht in de baan, tussen spoorstaaf en dwarsligger.

Helaas zijn er op dit moment geen vergelijkbare metingen beschikbaar van trillingskrachten in de 63 Hz octaafband, bij TNO of elders (voor zover bekend). Om te beoordelen in welke mate de krachten representatief zijn voor de toekomstige goederentreinen kan dus alleen worden vergeleken met modellen zoals die bijvoorbeeld eerder zijn opgesteld ten behoeve van het onderzoek naar hinder in De Volgerlanden.

Wel is uit de empirie bekend dat de variatie aan goederentreinen een bandbreedte aan trillingsniveaus veroorzaakt van een factor 3 á 4, ofwel 10 á 12 dB (tussen de 5% laagste en 5% hoogste niveaus). De modellering kan dus inzicht verschaffen in waar de testtrein zich binnen deze bandbreedte bevindt. Vervolgens kan de schaalfactor worden bepaald waarmee de gemeten waarden moeten worden vermenigvuldigd om representatief te zijn voor de goederenpassages. Voor trillingshinder wordt daarbij, conform SBR richtlijn B, de hoogst te verwachten trillingssterktes gezocht, terwijl voor laagfrequent geluid volgens de Methodiek van de Ruiter het gemiddelde passageniveau maatgevend is.

In de modellering is de baanoneffenheid de belangrijkste onzekere factor. In de eerdere onderzoeken is hier dieper op in gegaan (zie ref [3], [5] en [8]). Spoor kan worden gelegd en onderhouden op verschillende kwaliteitniveaus. Spoor dat de laatste 10, 15 jaar is aangelegd ligt er beter bij dan ouder spoor. De kwaliteit van dit recentere spoor is zelfs vergelijkbaar met HSL spoor in de ons omringende landen. In de prognoses voor De Volgerlanden is altijd uitgegaan van de oude kwaliteit, omdat onbekend was wat voor eisen zouden gaan worden gesteld aan een goederenspoor als de Betuweroute. Intussen heeft de projectorganisatie Betuweroute duidelijk gemaakt dat aanleg en onderhoud volgens de nu gangbare praktijk zal plaatsvinden, en dus van de 'nieuwe' kwaliteit zal zijn.

5.2.1 modellen

Van de volgende situaties zijn met behulp van het trein-baan-bodem model TRINT de trillingskrachten op de dwarsliggers berekend:

- volle en lege ertstreinen en containertreinen over 'oud' NS spoor, met 80 en 100 km/uur
- onbelaste platte wagons met loc over 'oud' NS spoor met 90 en 100 km/uur, belaste platte wagons met 100 km/uur

- onbelaste platte wagens met loc over 'nieuw' NS spoor met 90 en 100 km/uur, belaste platte wagens met 80 en 100 km/uur

De erts- en containertreinen zijn gebruikt in de voorgaande prognoses voor De Volgerlanden. Om deze te vergelijken met de testtrein is een modellering gemaakt van een trein met platte wagens over hetzelfde oude spoor. Vervolgens is deze trein gevoerd over 'nieuw' spoor. De krachten die uit deze laatste modellering volgt zouden vergelijkbaar moeten zijn aan de gemeten krachten.

5.2.2 resultaten

De krachtsignalen zijn verwerkt conform SBR richtlijn B tot effectieve waarden, als ware het snelheidssignalen. Deze waarden zijn representatief voor de trillingshinder veroorzakende trillingskrachten. De signalen zijn ook verwerkt tot krachtniveaus in de 63 Hz octaafband. Die niveaus zijn representatief voor de geluidhinder veroorzakende trillingskrachten. Onderstaande tabel vat de resultaten van modellering en meting samen.

aanstootkracht [N]	onbeladen		beladen	
	$F_{\text{eff,max}}$ [kN]	$L_{F, 6 \text{ sec}, 63 \text{ Hz}}$ [dB, ref 1 N]	$F_{\text{eff,max}}$ [kN]	$L_{F, 6 \text{ sec}, 63 \text{ Hz}}$ [dB, ref 1 N]
erts, 80 k/u, oud spoor	-	-	5.4	68
container, 80 k/u, oud spoor	-	-	5.5	69
erts, 100 k/u, oud spoor	7.3	72	7.3	72
container, 100 k/u, oud spoor	4.5	69	4.5	69
platte wagens, 90 k/u, oud	17	57	-	-
platte wagens, 100 k/u, oud	-	-	18	61
platte wagens, 80 k/u, nieuw	-	-	16	49
platte wagens, 90 k/u, nieuw	17	52	-	-
platte wagens, 100 k/u, nieuw	-	-	18	56
testtrein, 90 k/u	8.3	58	-	-

Tabel 5.2: vergelijking van berekende en gemeten aanstootkrachten

De aanstootkracht van de testtrein in het voor trillingshinder relevante frequentiegebied (kolom $F_{\text{eff,max}}$) is redelijk gemiddeld. De gemodelleerde erts- en containertreinen hebben een vergelijkbare aanstootkracht terwijl de gemodelleerde platte wagens aanmerkelijk hogere waardes leveren. Voor trillingen is de sterkste passage gedurende een langere tijd (een dag tot een week) maatgevend. Dat betekent dat de hoogst te verwachten aanstootkracht representatief is. Uit de tabel volgt daarom dat de meetresultaten wat betreft trillingshinder nog met een factor 2 ($=17/8.3$) dienen te worden vermenigvuldigd.

De aanstootkracht van de testtrein is in het voor laagfrequent geluid relevante frequentiegebied (kolom $L_{F, 6 \text{ sec}, 63 \text{ Hz}}$) ook redelijk gemiddeld te noemen. Het niveau is iets hoger dan de gemodelleerde platte wagens op nieuw spoor. De erts- en containertreinen geven veel hogere niveaus, maar dat is op oud spoor. Verschil tussen oud- en nieuw spoor is, volgens de platte wagens, 5 dB. Dit betekent dat de erts en de containertreinen die met 100 km/uur passeren respectievelijk 67 en 64 dB aanstootkracht genereren op nieuw spoor. De bandbreedte (bij 100 km/uur) is dus volgens de modellen 52 tot 67 dB. Met 58 dB ligt het passageniveau van de testtrein iets onder het gemiddelde. Een toeslag van 2 dB is nodig om de meetresultaten representatief te maken voor de toekomstige goederentreinen.

Vooralsnog is de baanvakssnelheid in de Sophiaspoortunnel 80 km/uur. Uit de modelleringen blijkt dat dat enkele dB's in aanstootkracht scheelt ten opzichte van 100

km/uur, afhankelijk van het type trein. De meetresultaten inclusief 2 dB toeslag zijn de komende tijd dus zelfs wat conservatief.

5.3 Definitieve prognose

Om de meetresultaten representatief te maken voor de woningen in De Volgerlanden en voor de toekomstige range aan goederentreinen dienen deze voor wat betreft trillingshinder te worden opgeschaald met een factor 3 ($1,5 \times 2$) en voor wat betreft laagfrequent geluid te worden opgehoogd met een toeslag van 2 dB. Dit levert de volgende eindresultaten.

afstand [m]	$V_{\text{eff,max}}$ [-]	$L_{p, 63 \text{ Hz}}$ [dB]
20	0,28	58
30	0,23	56
40	0,19	54
50	0,16	52
60	0,13	50
70	0,11	49
80	0,09	48
90	0,07	47
100	0,06	46
grenswaarde	0,2 / 0,4	55

Tabel 5.3: trillings- en geluidniveaus in de woning van de fam. Bezemer gesteld dat deze op verschillende afstanden tot de tunnel zou staan

Voor laagfrequent geluid is de afstand waarbuiten aan de richtlijnen wordt voldaan halverwege de 30 en de 40 meter, dus 35 meter. Op deze afstand ligt het trillingsniveau ook (afgerond) op de streefwaarde van de SBR richtlijn (0,2) en nog aanmerkelijk onder de grenswaarde van het Tracé Besluit (0,4).

De uitkomst valt binnen de bandbreedte van de eerdere prognose van de contourligging voor laagfrequent geluid (zijnde ergens tussen de 20 en 90 meter). In 2004 is bijvoorbeeld op grond van metingen en prognoses een afstand van 25 meter voor trillingshinder (uitgaande van de grenswaarde van het Tracé Besluit) en 65 meter voor geluidhinder afgegeven (zie ref [8]).

5.4 Eindoordeel

De hindercontour van de Sophiaspoortunnel in De Volgerlanden kan worden vastgesteld op **35 meter** afstand vanaf de hartlijn, op maaiveld, van de dichtstbijzijnde tunnelbuis. Buiten deze contour is de kans op hinder vanwege trillingen of laagfrequent geluid voldoende laag. Vanaf de hindercontour wordt in een doorsnee woning voldaan aan de gestelde richtlijnen voor hinder van trillingen en laagfrequent geluid. Dit betekent dat onder de bewoners nabij de contour het percentage ernstig gehinderden lager zal zijn dan 2,5%.

Het is mogelijk dat er buiten de contour in bepaalde type woningen de richtlijn voor laagfrequent geluid wel wordt overschreden. Dat zijn woningen waarvan het ontwerp te kenschetsen is als gevoelig voor laagfrequent geluid uit de ondergrond. Dit geldt

bijvoorbeeld voor de woningen die in het voorgaande onderzoek als prestatielabel “-1” hebben gekregen en binnen 10 meter van de contour zijn gepland. Die onderzochte woningen zullen de richtlijn overigens hoogstens met ongeveer 1 dB overschrijden, hetgeen een kleine toename van de kans op hinder in zo’n woning zou zijn. De bouwer zou ter voorkoming hiervan de in eerder onderzoek voorgestelde constructieve maatregelen kunnen nemen. Deze ‘TNO’-maatregelen leveren volgens de metingen een reductie van 4 dB. De kosten bedragen enkele duizenden euro’s per woning.

6 Conclusies en aanbevelingen

De hindercontour van de Sophiaspoortunnel in De Volgerlanden is vastgesteld op **35 meter** afstand (vanaf de hartlijn, op maaiveld, van de dichtstbijzijnde tunnelbuis). Buiten deze contour is de kans op hinder vanwege trillingen of laagfrequent geluid voldoende laag. Vanaf de hindercontour wordt in een doorsnee woning namelijk voldaan aan:

- de richtlijn voor laagfrequent geluid van ondergrondse railinfrastructuur ("Methodiek van de Ruiter")
- de richtlijn voor trillingshinder ("SBR Richtlijn B")
- de, minder strenge, trillingsparagraaf in het Tracé Besluit van de Betuweroute

Dit impliceert dat onder de bewoners nabij de contour het percentage ernstig gehinderden lager zal zijn dan 2,5%.

De uitkomst valt binnen de bandbreedte van de prognose van de contourligging uit 2004 (zijnde ergens tussen de 20 en 90 meter).

De contour is vastgesteld op grond van metingen tijdens een representatieve testrit. De bron van de trillingen (de goederentreinen en de kwaliteit van de spoorligging) zal na ingebruikname van de Betuweroute veranderen. Daarmee is rekening gehouden met behulp van modellen die uiteraard conservatief zijn opgezet. Dit betekent dat in de praktijk de geluid- en trillingsniveaus waarschijnlijk nog wat lager zullen zijn dan waar nu de contour op is gebaseerd. Anderzijds is er een zekere kans dat door de 'veroudering' van het spoor de geluid- en/of trillingsniveaus toch te hoog worden. Dit is te ondervangen door in het onderhoudsregime rekening te houden met omgevingstrillingen. Het monitoringsprotocol voor trillingen dat als uitvloeisel van het Tracé Besluit door de Betuweroute is opgesteld is daarvoor toepasbaar, zij het met een aanpassing in verband met het door het Tracé Besluit niet voorziene laagfrequent geluid.

Referenties

- [1] Koopman, A.: *Meetplan Laagfrequent Geluid De Volgerlanden*, v. 1.9. TNO-rapport 2006-D-R0060, 29 mei 2006
- [2] Brief van POBR aan TNO, ref. BR/BB/SI/881159 d.d. 19 september 2006, betreffende *Meting Sophiaspoortunnel*
- [3] Koopman, A.: *Verbetering van de spoorgeometrie in de Sophiaspoortunnel ter reductie van laagfrequent geluid in De Volgerlanden*, TNO-rapport 2005-CI-R0219, 21 maart 2006
- [4] Hofschreuder, E.: *Laagfrequent geluid De Volgerlanden t.g.v. de Sophiaspoortunnel*, DHV rapport Bg.Z2400.R01, 15 februari 2006
- [5] Brief van TNO aan POBR, ref. 2005-CI-B0370 d.d. 29 juni 2005, betreffende *effect bronmaatregelen Sophiaspoortunnel*
- [6] Noorland, J.; Ouwerkerk, H.; Lensen, T.: *Laagfrequent geluid Betuweroute – Advisering inzake De Volgerlanden*, rapportage van het VROM-Expertteam in opdracht van VROM – DG Wonen, 3 oktober 2005
- [7] Koopman, A.; Galanti, F. e.a.: *Onderzoek naar laagfrequent geluid in nieuwbouw op VINEX locatie "de Volgerlanden"*, TNO-rapport 2005-CI-R2007-D-R0294, 28 februari 2005
- [8] Koopman, A. en Molenaar, D.J.: *Trillingsmeting Sophiatunnel*, TNO-rapport 2004-CI-R0126, 16 juli 2004
- [9] Koopman, A en Oostvogels, J: *Evaluatie van de trillingsniveaus bij uitloopspoor de Akkers te Spijkenisse*, 2007-D-R0294, 19 februari 2004
- [10] Koopman, A: *Prognose van laagfrequent geluid in gebouwen nabij een boortunnel*, TNO-rapport 2001-CON-DYN-R8002, april 2001
- [11] Staalduinen, P.C. van en Courage, W.M.G.: *Berekening van trillingssterkte op maaiveld bij railverkeer in boortunnels*, TNO-rapport 99-CON-R1566, juli 1999

A Verslag van de communicatie tijdens metingen

A.1 Fase 1, 17 november 2006

Telefonische communicatie tussen TNO op locatie proeffunderingen (Flavio Galanti) en BB21 Testleider op trein (Rutger Meijer) en/of opmerkingen.

TIJD	TREIN LOCATIE (km)	OPMERKINGEN
18:33	25	Half uur vertraging bij startlocatie ivm problemen loc
18:58	10.7	Trein rijdt straks wat langzamer (<40 km/h) over 5 min bij tunnel ingang (oostzijde)
19:10	6	Trein stil bij ingang tunnel (op 300 m afstand)
19:15	6	Vertrek trein
19:20	1.5	Voorbij tunnel meetopstelling Snelheid 27 km/h (geschat) Trein met 12 assen (geteld op grafiek)
19:48	0 (Kijfhoek)	Meijer: Beginsnelheid bij ingang tunnel 40 km/h Halverwege in de tunnel iets minder Bij 3/4 van tunnel even gestopt
20:28	0	Vertrek vanuit kijfhoek Problemen met veiligheid dus max hanteerbare snelheid is 40 km/h
20:44	1.5	Voorbij tunnel meetopstelling
20:55	?	Rutger: Ivm met tijd voor terugreis naar basis station CUP is de test beëindigd Flavio: Vraagt of toch nog een poging kan worden gedaan om door de tunnel te gaan
21:00	?	Rutger: bevestiging einde test
21:05		Afbouwen proeffunderingen, tunnel en woning B.
23:00		Einde afbouw.

A.2 Fase 2, 16 januari 2007

Telefonische communicatie / opmerkingen TNO (Flavio Galanti) op locatie proeffunderingen tot 23u op locatie proeffunderingen, daarna bij Woning B).

TIJD	TREIN LOCATIE (km)	Gesprek met	OPMERKINGEN
18:05	Elst	Johan Barelds	Nog niet vertrokken. Vertraging 1.5u. ETA 20:15-20:30.
19:28	?	Johan	Vertrokken richting Kijfhoek. Nog 1/2u tov eerdere prognose dus ETA >20:45. Problemen met ERTMS op 1ste Loc - dus wordt er "blind" gereden (snelheid naar west toe beperkt tot 40 km/h). 2e Loc waarschijnlijk ok (dus max. snelheid haalbaar).
20:45	45	Erik 't Hoff	Door allerlei problemen met beveiligingssysteem nog meer vertraging. ETA 21:45. Naar West toe 40 km/h (schouwen moet in ieder geval plaatsvinden). Naar Oost toe 80 km/h.
21:00	Deil	Johan	Nog 40 km van Sophia. Trein heeft allerlei problemen ondervonden.
21:57	17	Johan	Nog 10 km van ingang oost. Target snelheid is 40 km/h. Bij uitgang wordt snelheid gemeld.

TIJD	TREIN LOCATIE (km)	Gesprek met	OPMERKINGEN
22:00	?	Arnold Koopman	Arnold meldt (vanuit woning B) passage trein uit grafieken (valse alarm).
22:15	8	Johan	Snelheid bij ingang is 37~38 km/h.
22:25	1,5		Trein gepasseerd bij meetopstelling in de tunnel. Arnold meldt verandering in signaal (22:26). Piet Meijer (Woning A) niets (22:27)
22:37	0 (Kijfhoek)	Johan	Snelheid bij passage meetopstelling is 40~41 km/h geweest.
~23	0	Johan	Mogelijkheid TNO'er op trein besproken. Arnold gaat op de trein stappen. Flavio neemt over van Arnold bij Woning B.
23:34	0	Arnold	Arnold op trein. Vertrek verwacht binnenkort. Batterijen 2e Loc moeten opgeladen worden.
0:49	0	Arnold	Allerlei problemen met ERTMS op 2e loc. Opladen lukt niet. Locs zijn verwisseld. Snelheid bij rit dus 40 km/h vanwege gebreken in veiligheidssystemen. ETD over 10 min.
1:05		Arnold	Trein rijdt richting Oost
1:18	8?	Arnold	Arnold stapt uit. Snelheid > 80 km/h. Trein rijdt richting CUP. Herhaling rit niet haalbaar in verband met storingen. Einde meting.
1:20			Afbouwen proeffunderingen en woning A.
2:50			Einde afbouw.

B Meetresultaten

Locatie fam. Bezemer

- Blz. 101-110: ruwe data (versnellingen en geluidniveaus)
- Blz. 111-112: trillingssnelheid
- Blz. 121-122: trillingsniveau 63 Hz octaafband
- Blz. 131-132: trillingen in tertsspectra
- Blz. 141-145: coherenties

Locatie fam. Martin

- Blz. 201-205: ruwe data (versnellingen en geluidniveaus)
- Blz. 211: trillingssnelheid
- Blz. 221: trillingsniveau 63 Hz octaafband

Locatie proeffunderingen

- Blz. 301-307: ruwe data (versnellingen en geluidniveaus)
- Blz. 311-312: trillingssnelheid
- Blz. 321-322: trillingsniveau 63 Hz octaafband

Locatie zandlaag

- Blz. 401: ruwe data (versnellingen en geluidniveaus)
- Blz. 411: trillingssnelheid
- Blz. 421: trillingsniveau 63 Hz octaafband

Locatie tunnel

- Blz. 501-506: ruwe data (versnellingen, aanstootkrachten, treinverklipper)
- Blz. 511: trillingssnelheid
- Blz. 521-522: trillingsniveau 63 Hz octaafband

TRINT modellering

- Blz. 601-606: aanstootkrachten

TNO Bouw

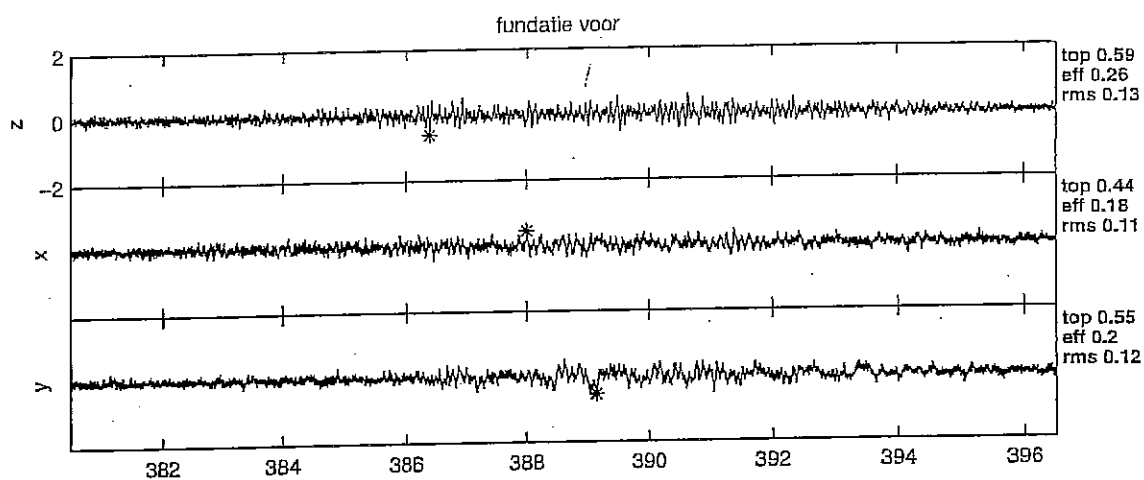
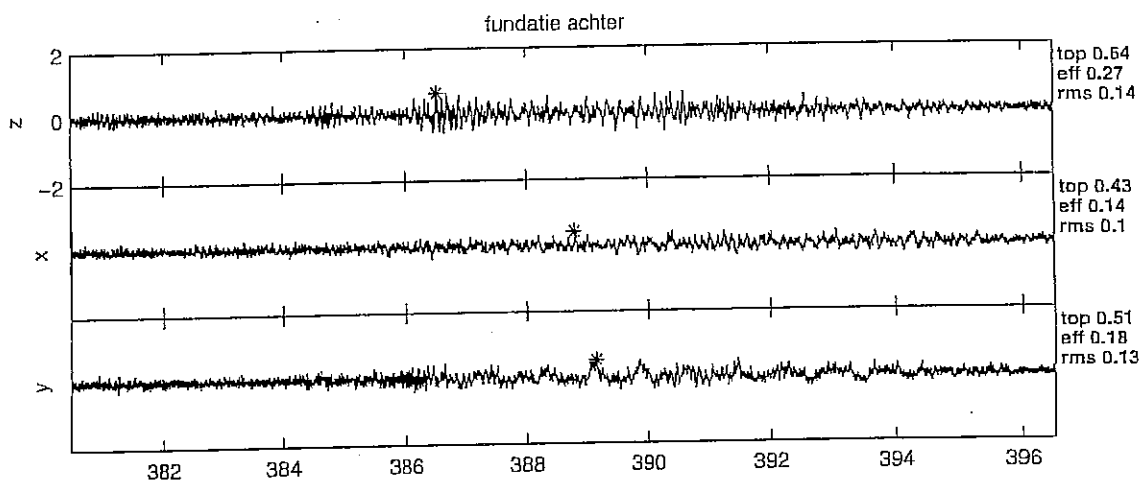
Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

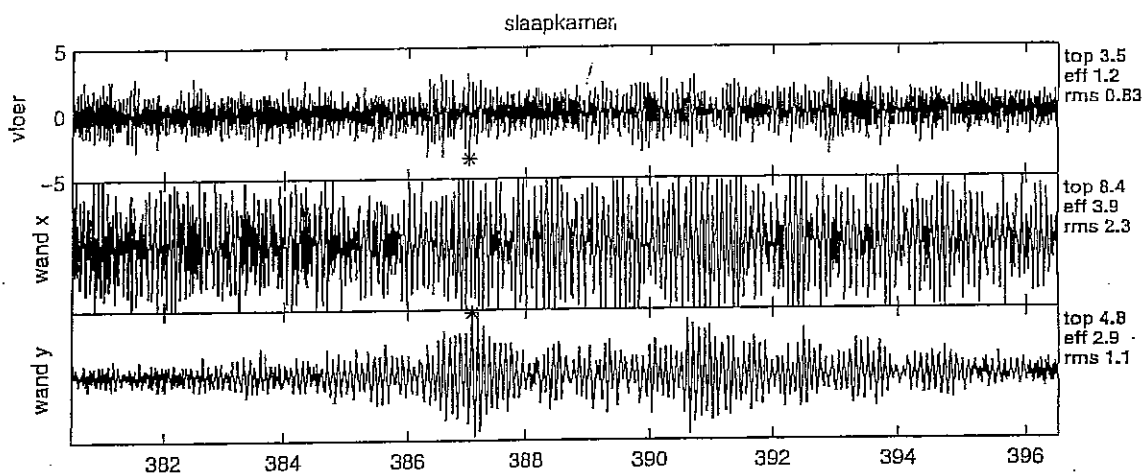
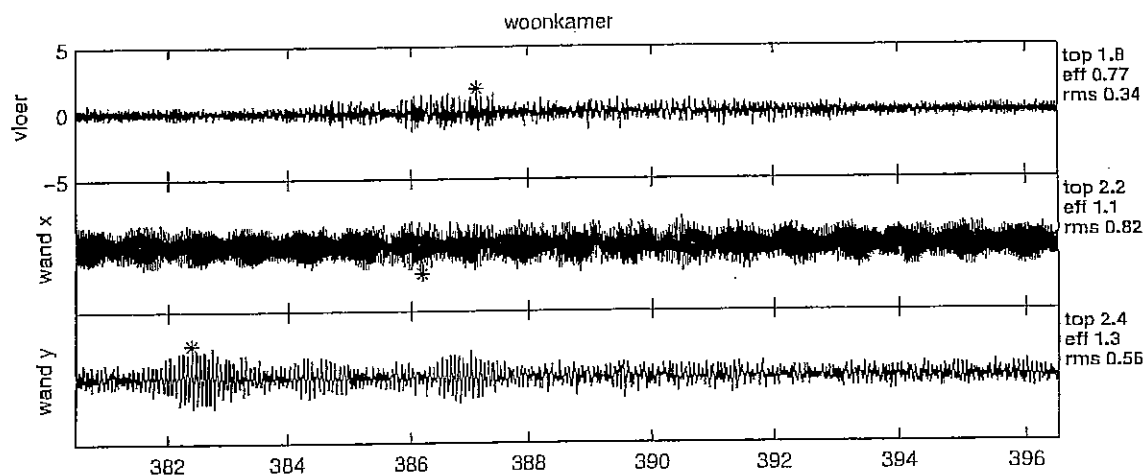
Onderwerp: versnellingen [mm/s²]
Project: Volgerlanden
Proj.nr.: 034.67254/01.01
Datum: 16 januari 2007

Kommentaar: Bezemer fundatiepunten

filenummer(s): 2



TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: versnellingen [mm/s²] Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007
	Kommentaar: Bezemer bouwdelen filenummer(s): 2



TNO Bouw

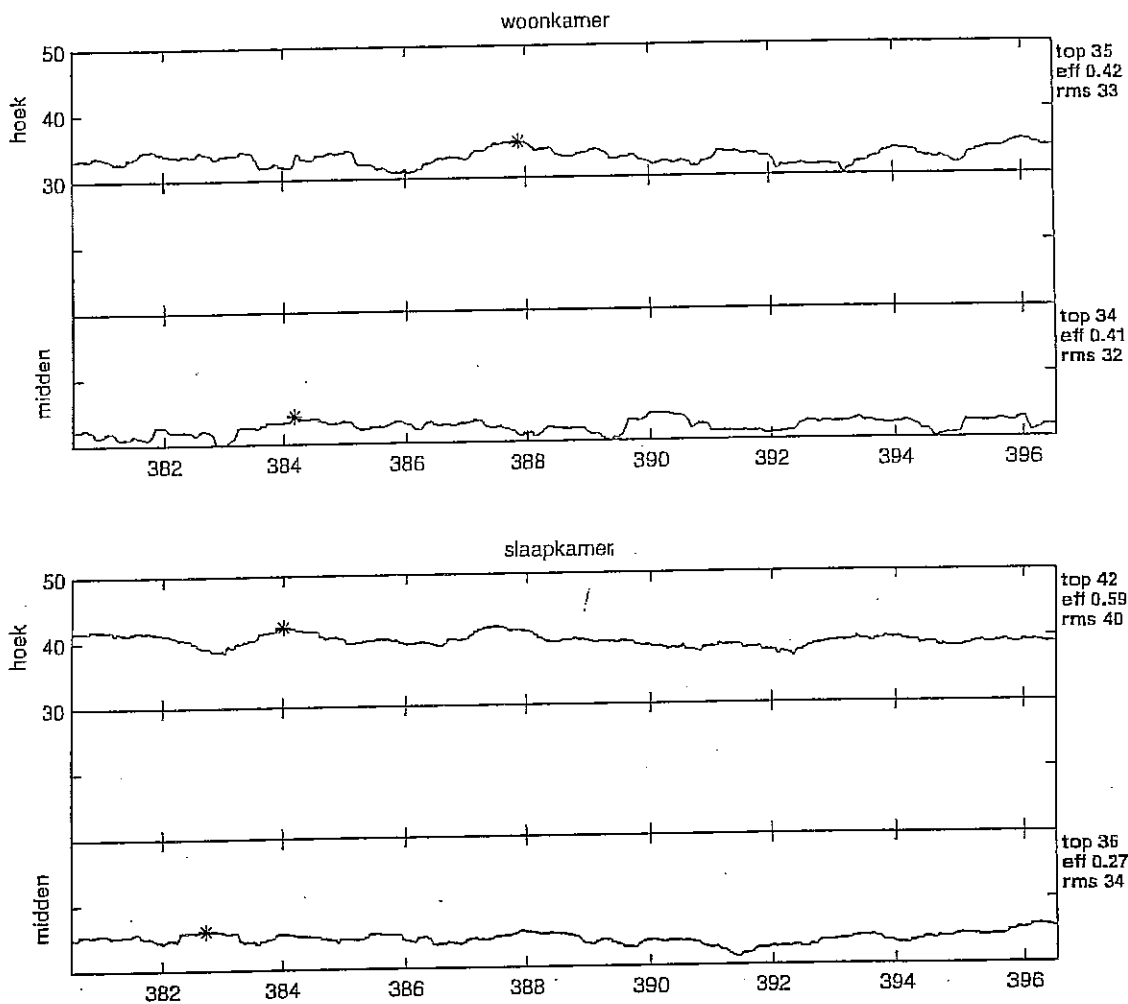
Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

Onderwerp: geluid 63 Hz octaafband [dB]
Project: Volgerlanden
Proj.nr.: 034.67254/01.01
Datum: 16 januari 2007

Kommentaar: Bezemer geluid

filenummer(s): 2



TNO Bouw

Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

Onderwerp: geluid 63 Hz octaafband [dB]

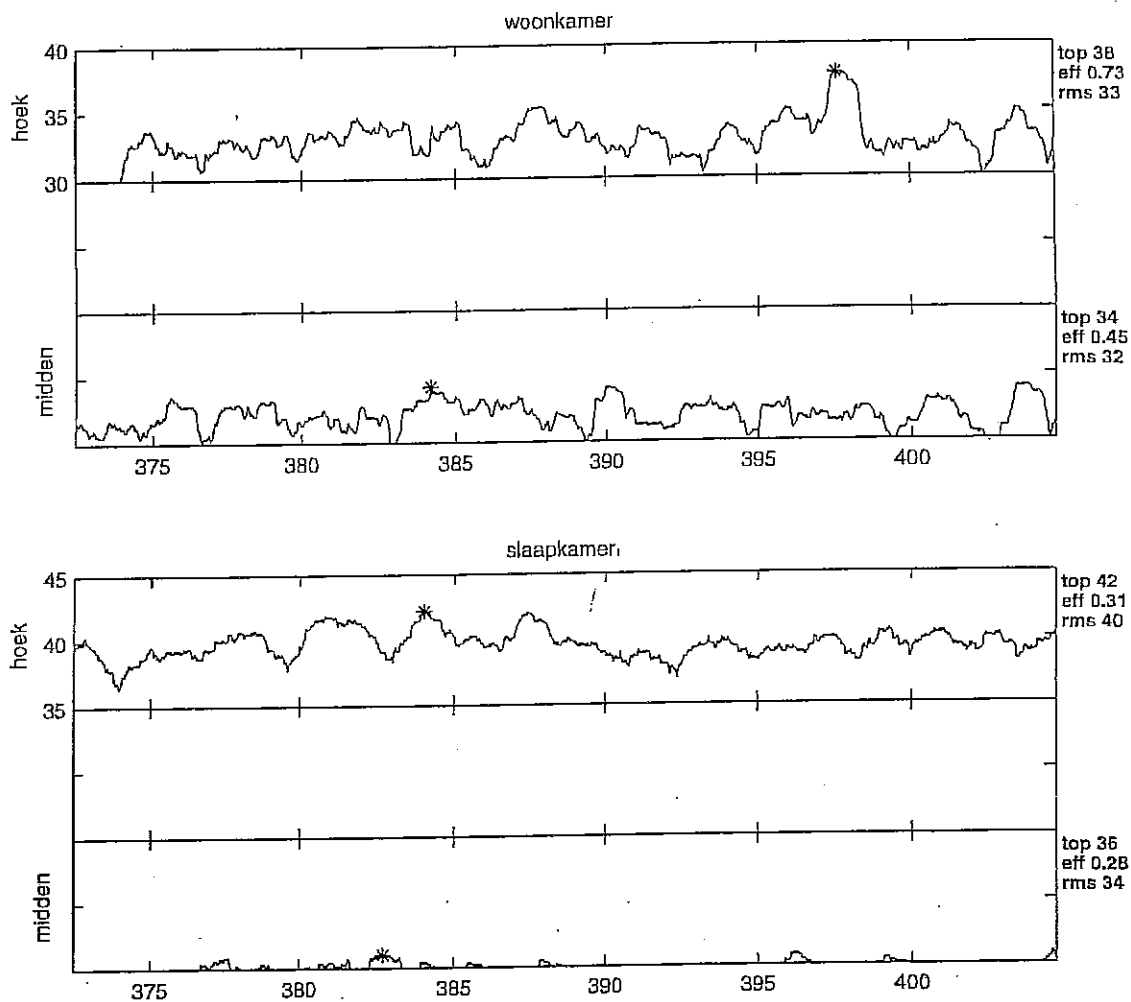
Project: Volgerlanden

Proj.nr.: 034.67254/01.01

Datum: 16 januari 2007

Kommentaar: Bezemer geluid
32 seconden, passage tussen 384 en 394

filenummer(s): 2



TNO Bouw

Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

Onderwerp: geluid 63 Hz octaafband [dB]

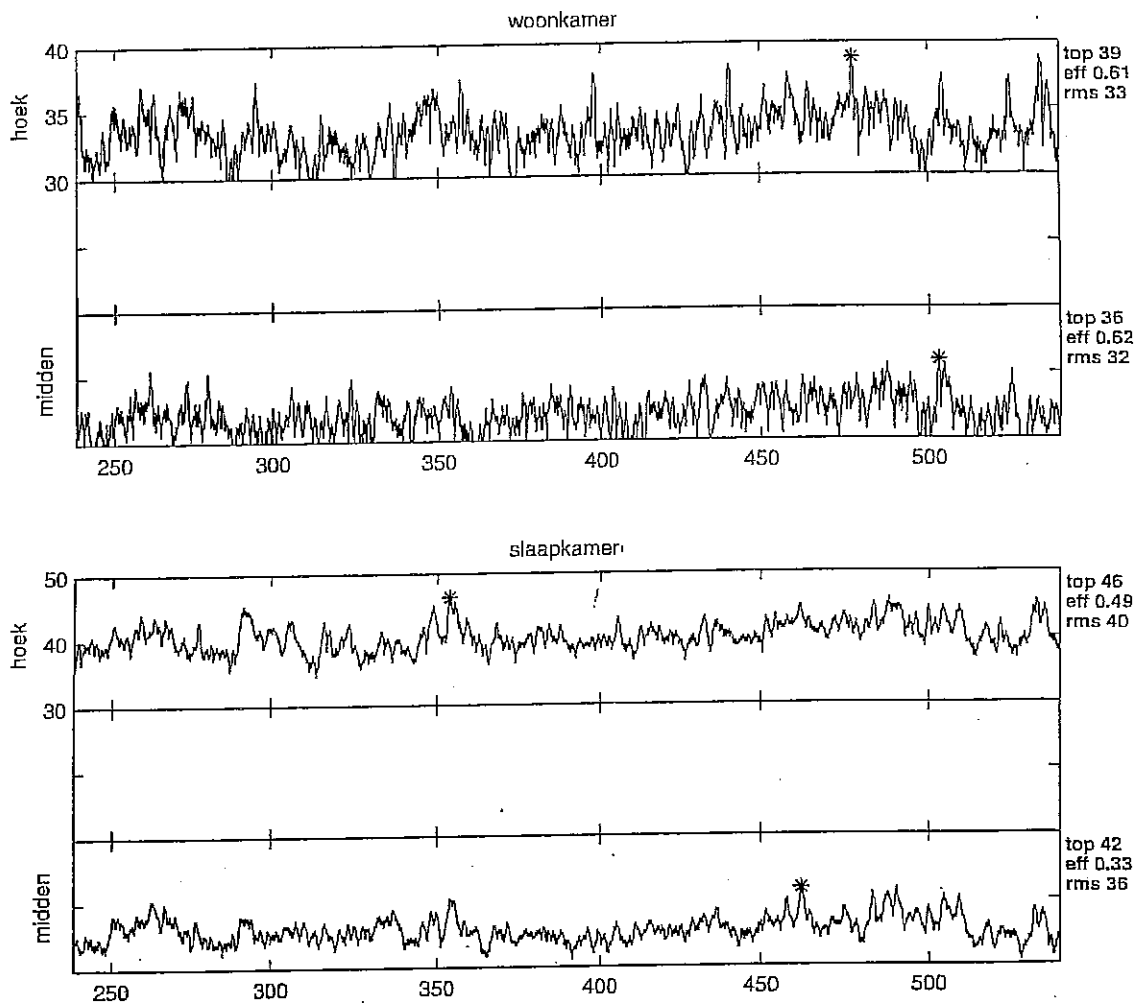
Project: Volgerlanden

Proj.nr.: 034.67254/01.01

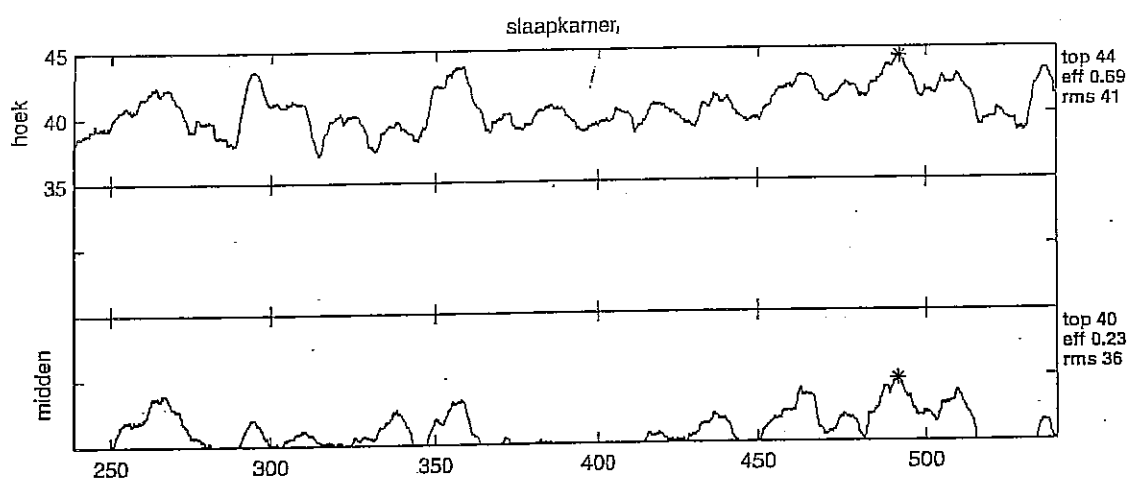
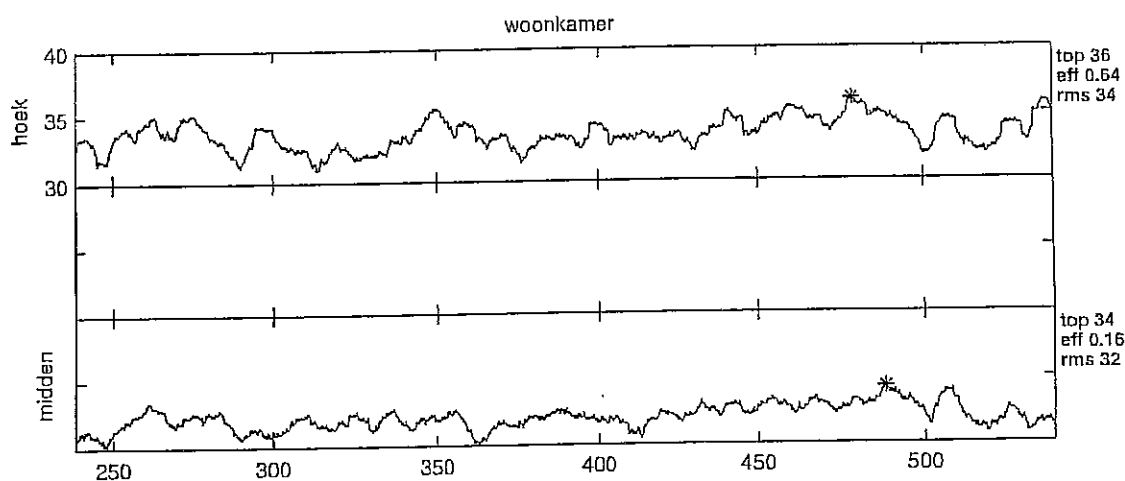
Datum: 16 januari 2007

Kommentaar: Bezemer geluid
5 minuten, passage ter hoogte van 390 s

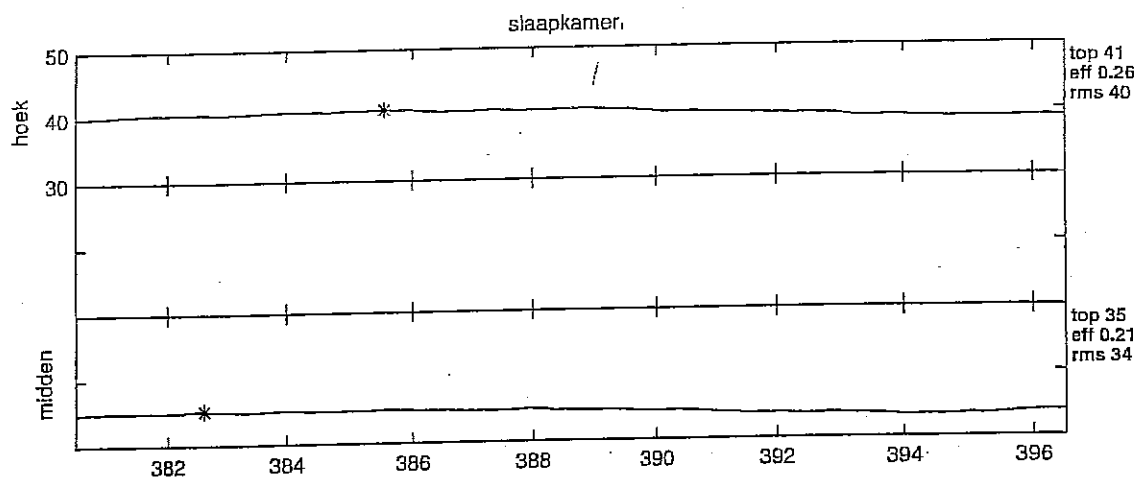
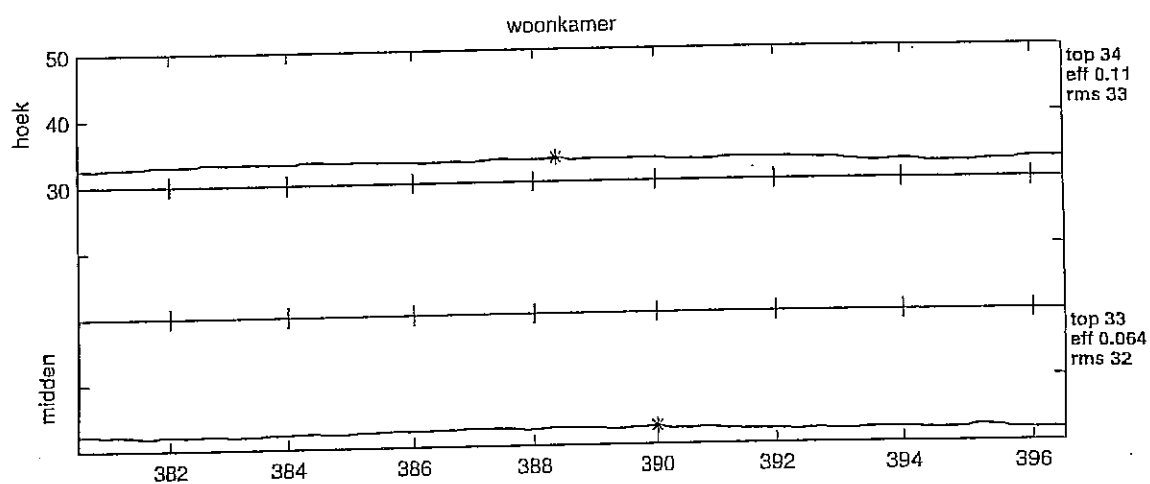
filenummer(s): 2



TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: geluid 63 Hz octaafband [dB] Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007
	Kommentaar: Bezemer geluid 5 minuten, Leq over 6 seconden filenummer(s): 2



TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: geluid 63 Hz octaafband [dB] Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007
	Kommentaar: Bezemer geluid Leq over 6 seconden filenummer(s): 2



TNO Bouw

Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

Onderwerp: geluid 32 Hz octaafband [dB]

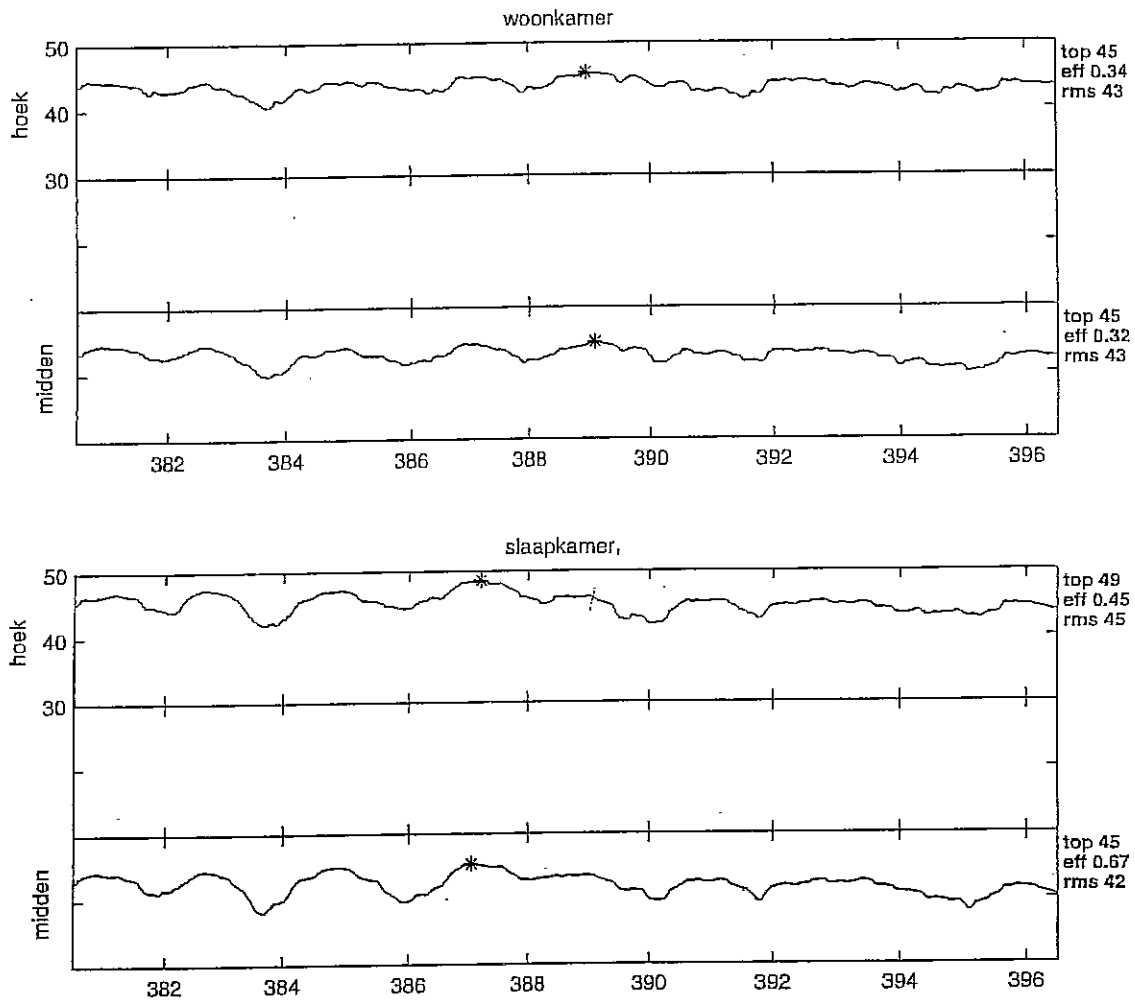
Project: Volgerlanden

Proj.nr.: 034.67254/01.01

Datum: 16 januari 2007

Kommentaar: Bezemer geluid

filenummer(s): 2



TNO Bouw

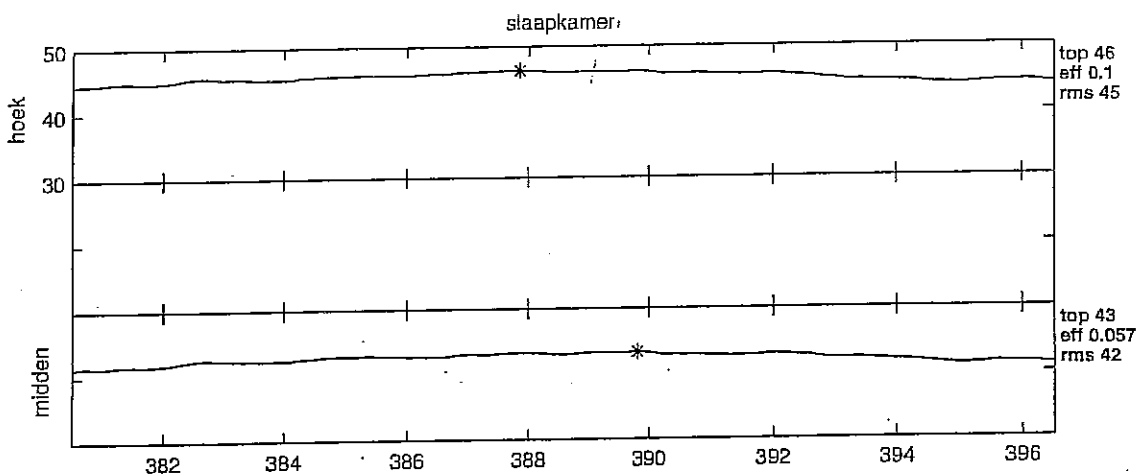
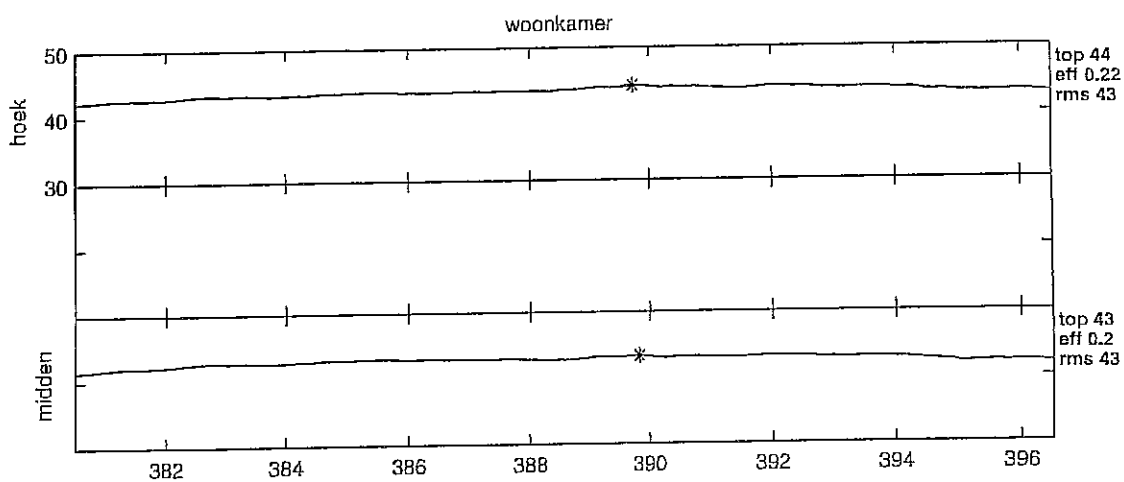
Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

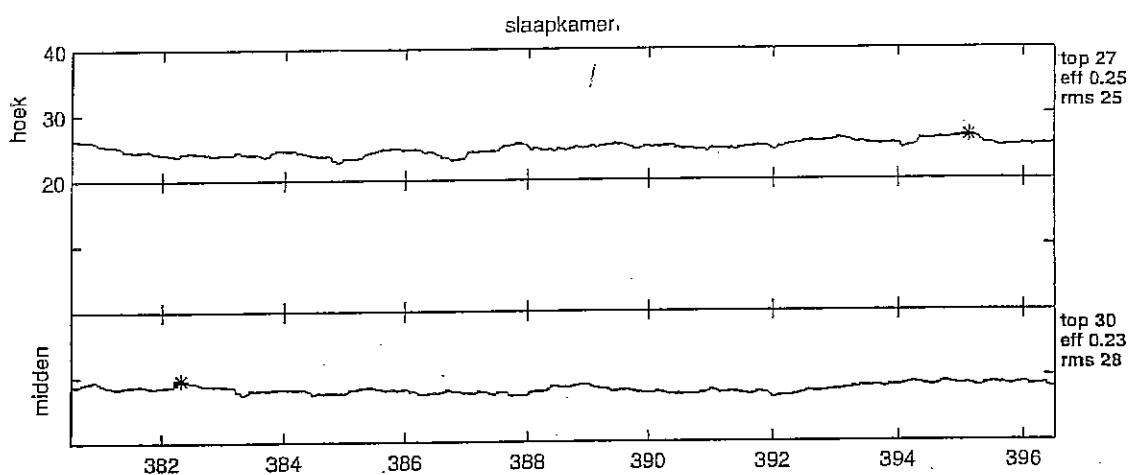
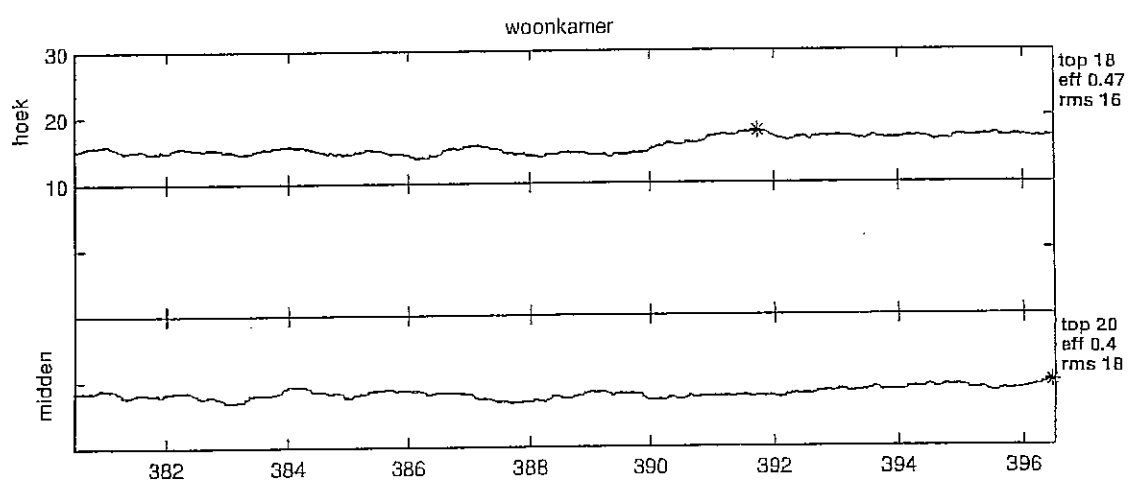
Onderwerp: geluid 32 Hz octaafband [dB]
Project: Volgerlanden
Proj.nr.: 034.67254/01.01
Datum: 16 januari 2007

Kommentaar: Bezemer geluid
Leq over 6 seconden

filenummer(s): 2



TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: geluid 125 Hz octaafband [dB] Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007
	Kommentaar: Bezemer geluid filenummer(s): 2



TNO Bouw

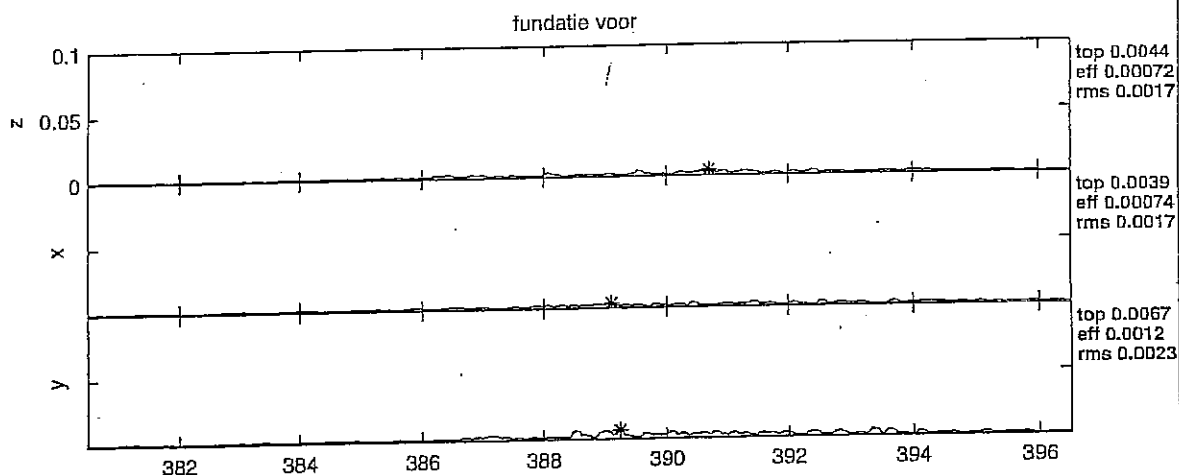
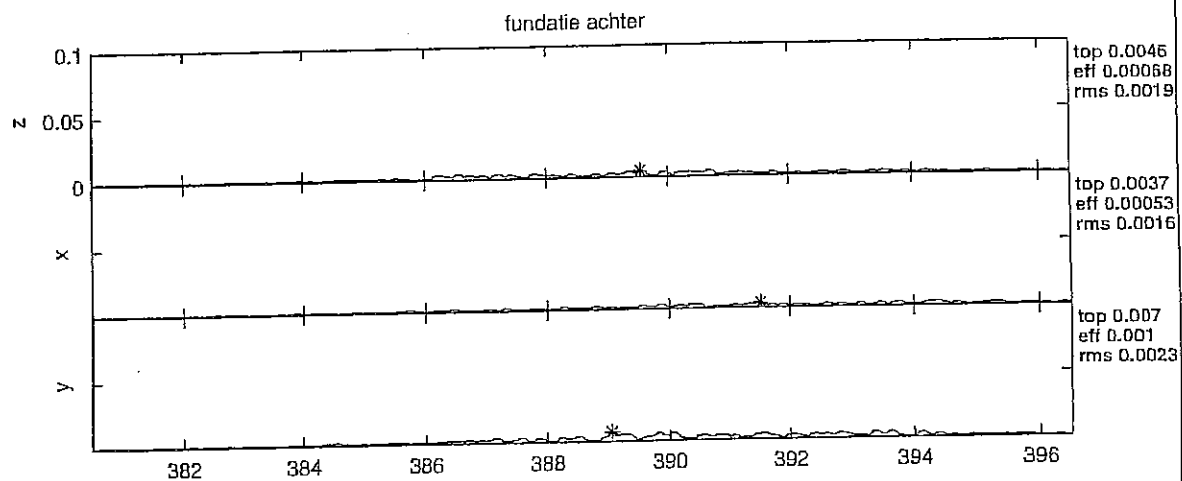
Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

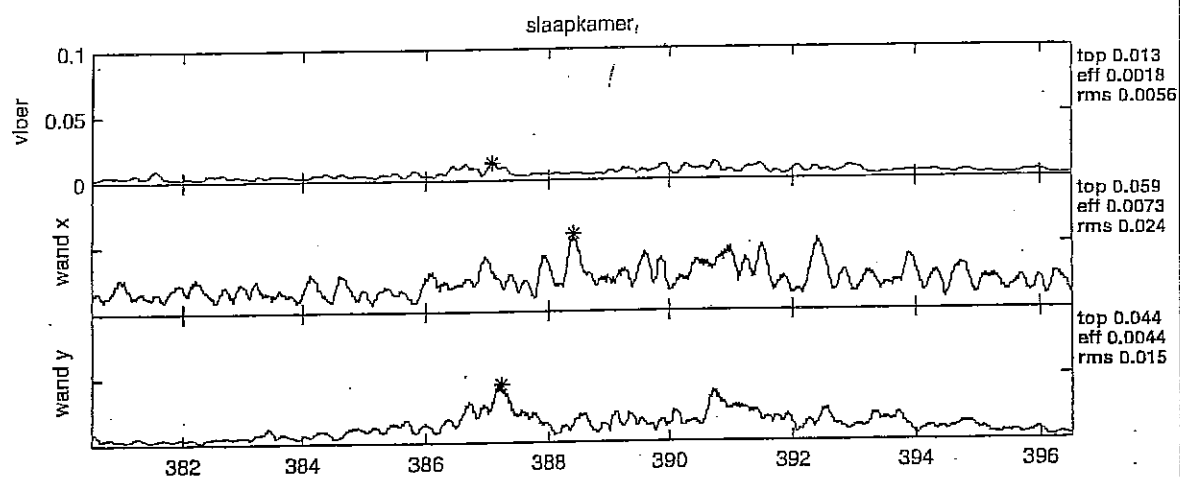
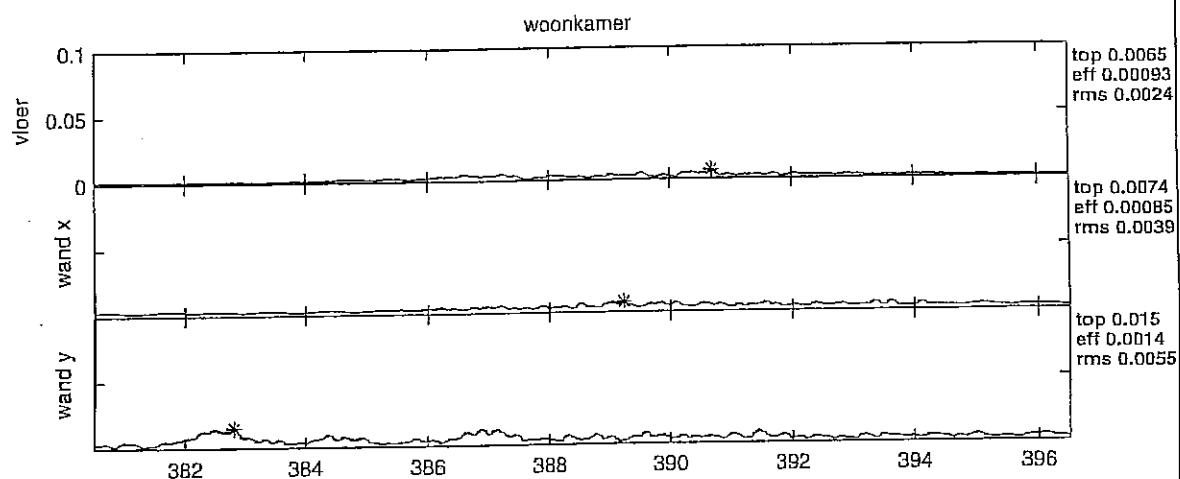
Onderwerp: effectieve snelheid [-]
Project: Volgerlanden
Proj.nr.: 034.67254/01.01
Datum: 16 januari 2007

Kommentaar: Bezemer fundatiepunten

filenummer(s): 2



TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: effectieve snelheid [-] Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007
	Kommentaar: Bezemer bouwdelen filenummer(s): 2



TNO Bouw

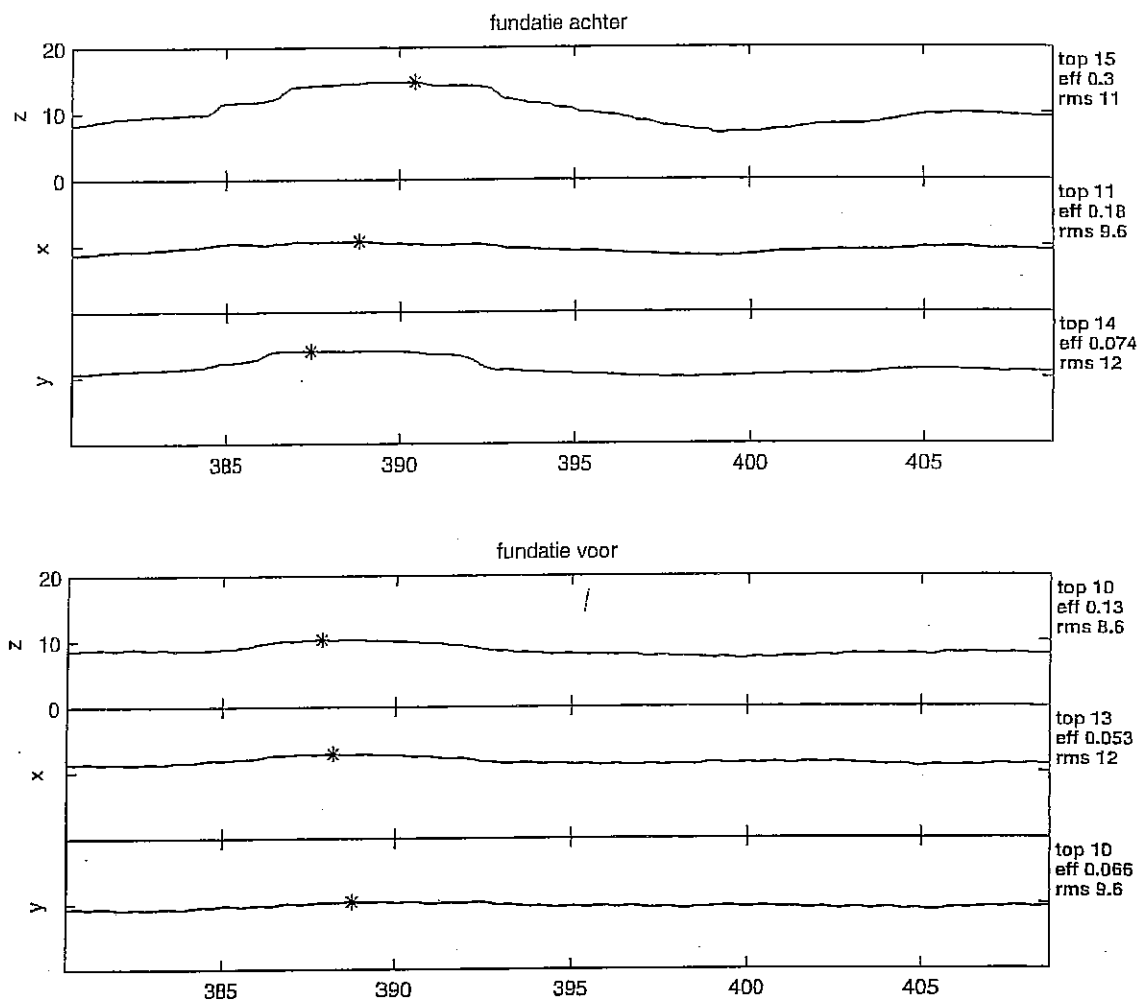
Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

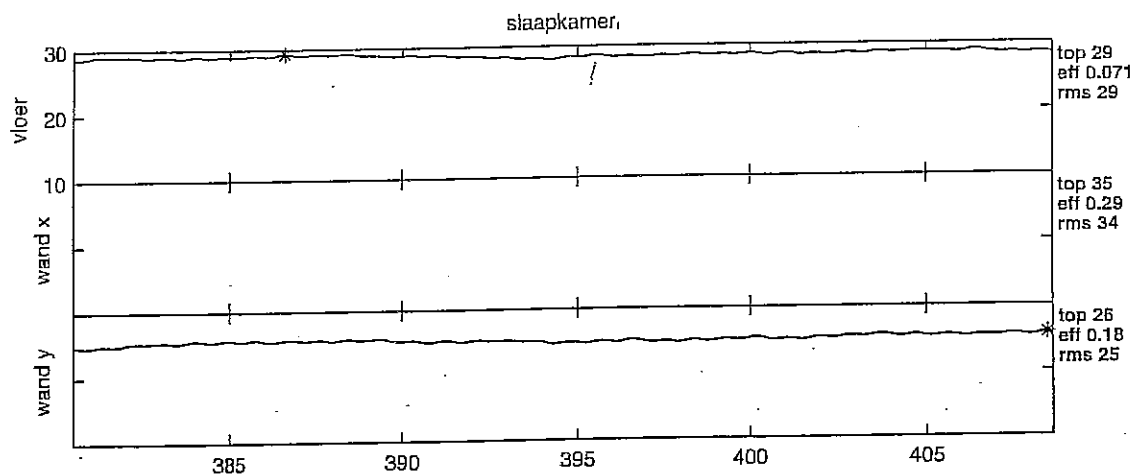
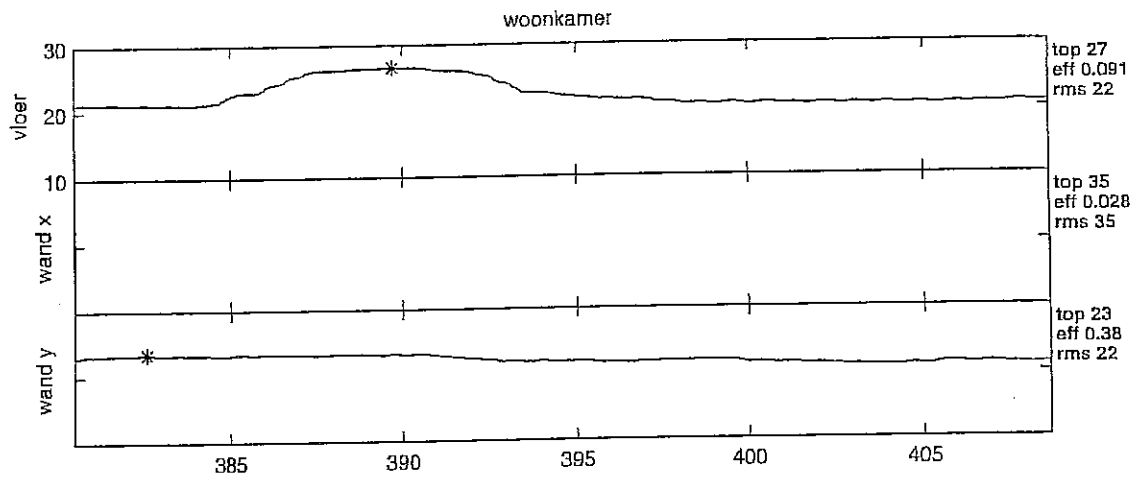
Onderwerp: Lv [dB, ref. 5E-8], 63 Hz octaafband
Project: Volgerlanden
Proj.nr.: 034.67254/01.01
Datum: 16 januari 2007

Kommentaar: Bezemer fundatiepunten
Leq over 6 seconden

filenummer(s): 2



TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: Lv [dB, ref. 5E-8], 63 Hz octaafband Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007 Kommentaar: Bezemer bouwdelen Leq over 6 seconden filenummer(s): 2
---	---



TNO Bouw

Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

Onderwerp: versnellingspectrum La [dB, ref. 1E-6]

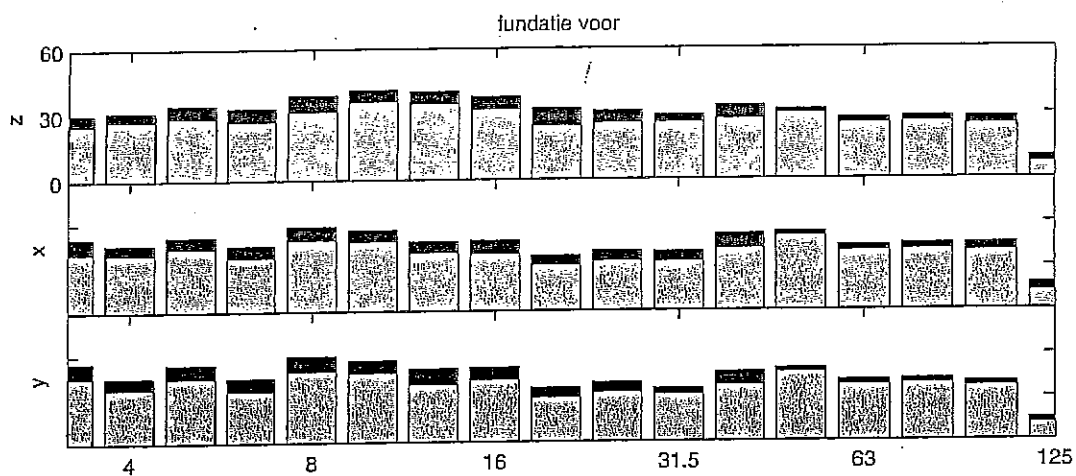
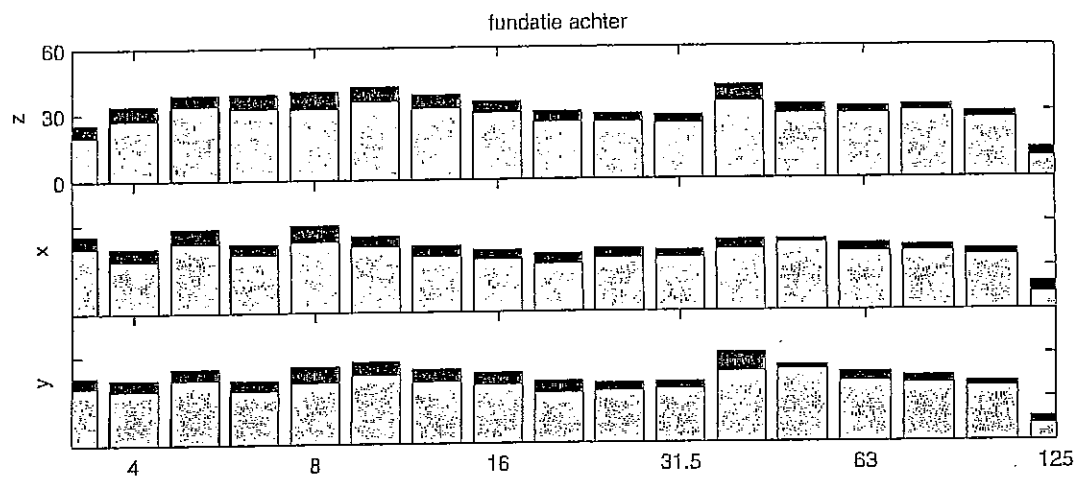
Project: Volgerlanden

Proj.nr.: 034.67254/01.01

Datum: 16 januari 2007

Kommentaar: Bezemer fundatiepunten

filenummer(s): 2



TNO Bouw

Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

Onderwerp: versnellingspectrum La [dB, ref. 1E-6]

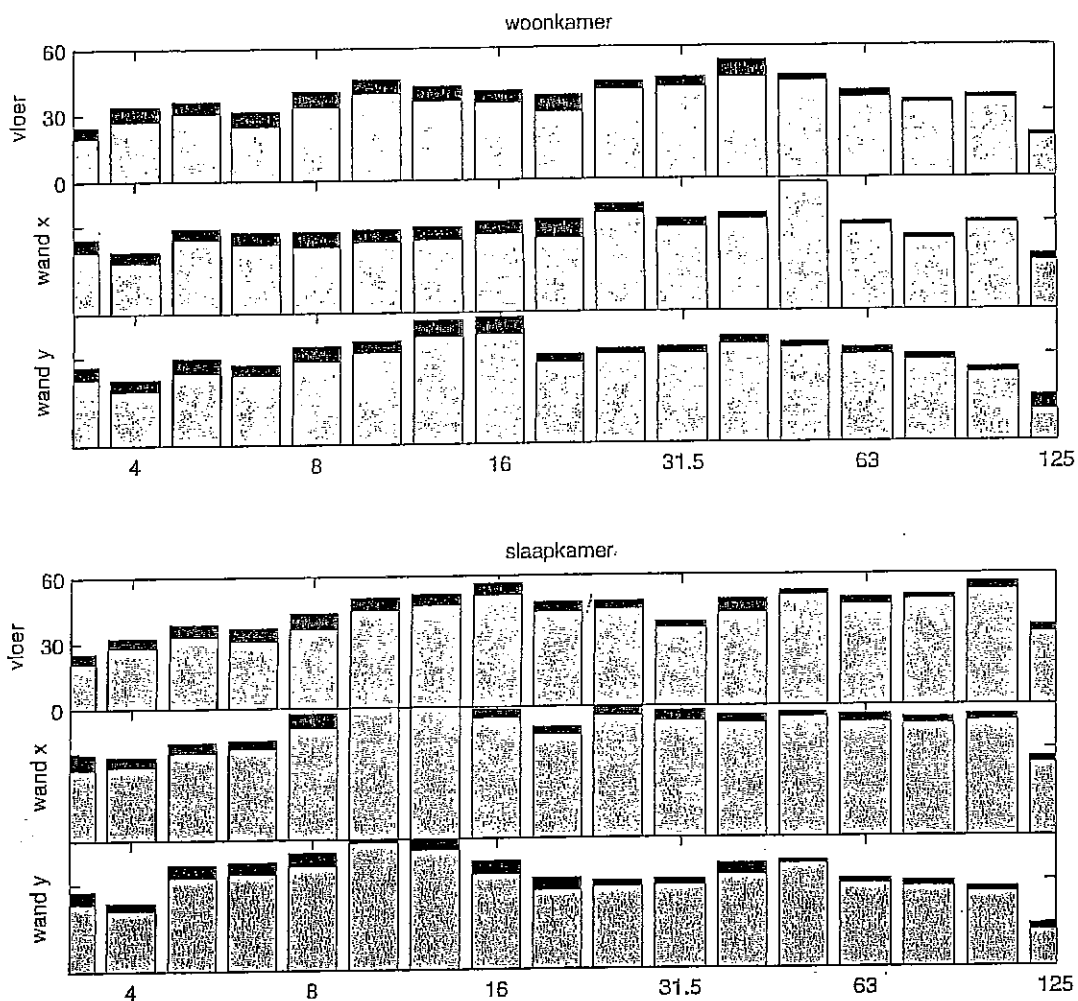
Project: Volgerlanden

Proj.nr.: 034.67254/01.01

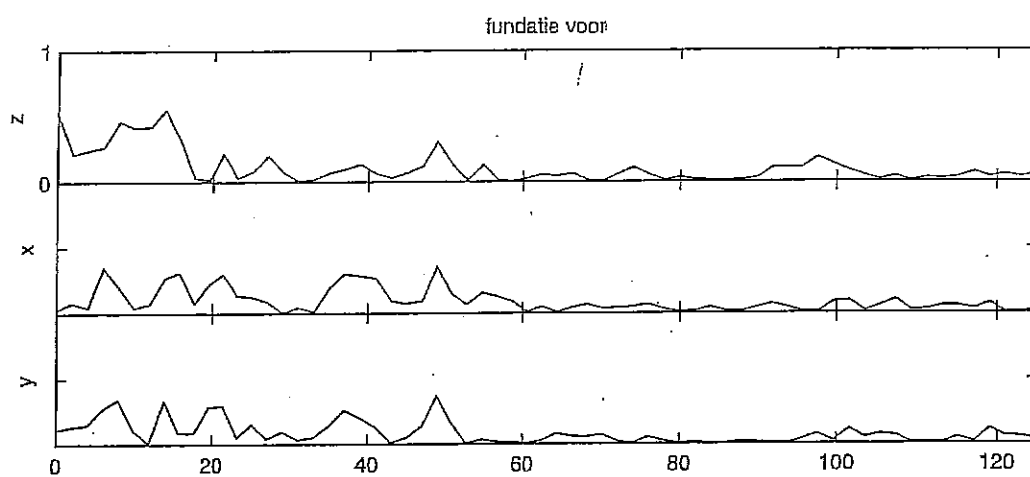
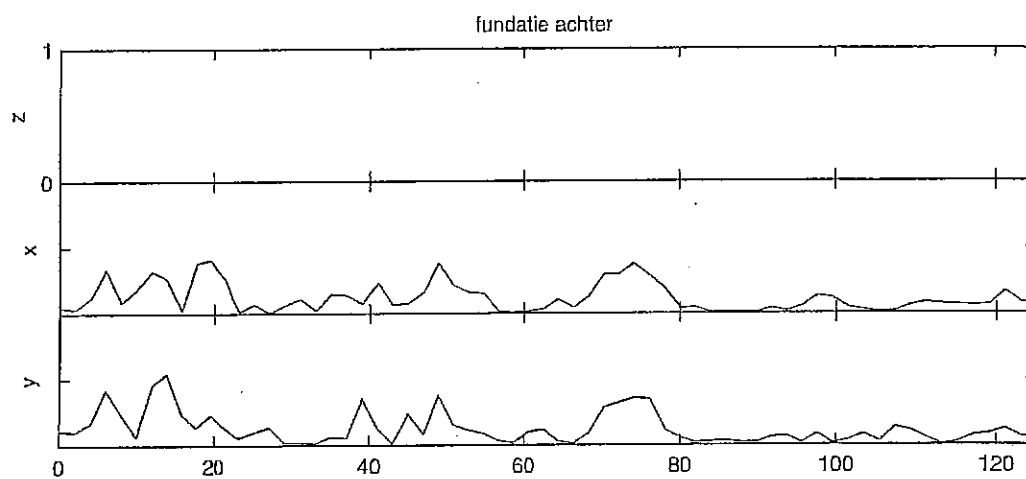
Datum: 16 januari 2007

Kommentaar: Bezemer bouwdelen

filenummer(s): 2



TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: coherentiespectrum (t.o.v. fundatie) Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007 Kommentaar: Bezemer fundatiepunten filenummer(s): 2
---	--



TNO Bouw

Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

Onderwerp: coherentiespectrum (t.o.v. fundatie)

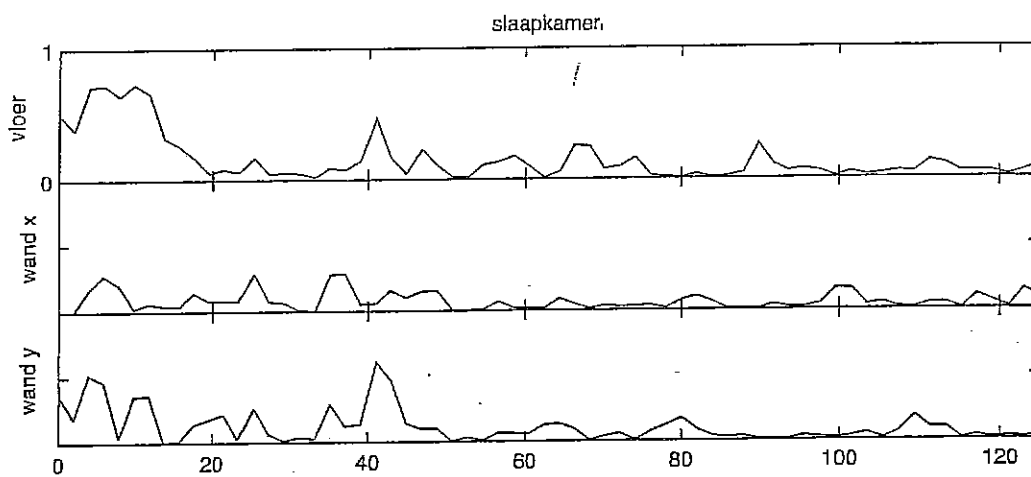
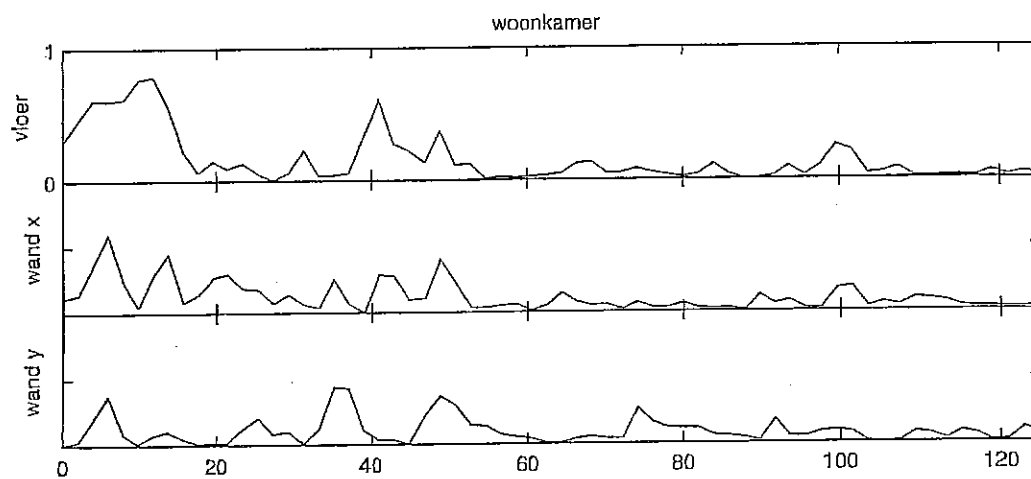
Project: Volgerlanden

Proj.nr.: 034.67254/01.01

Datum: 16 januari 2007

Kommentaar: Bezemer bouwdelen

filenummer(s): 2



TNO Bouw

Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

Onderwerp: coherentiespectrum (geluid t.o.v. fundatie)

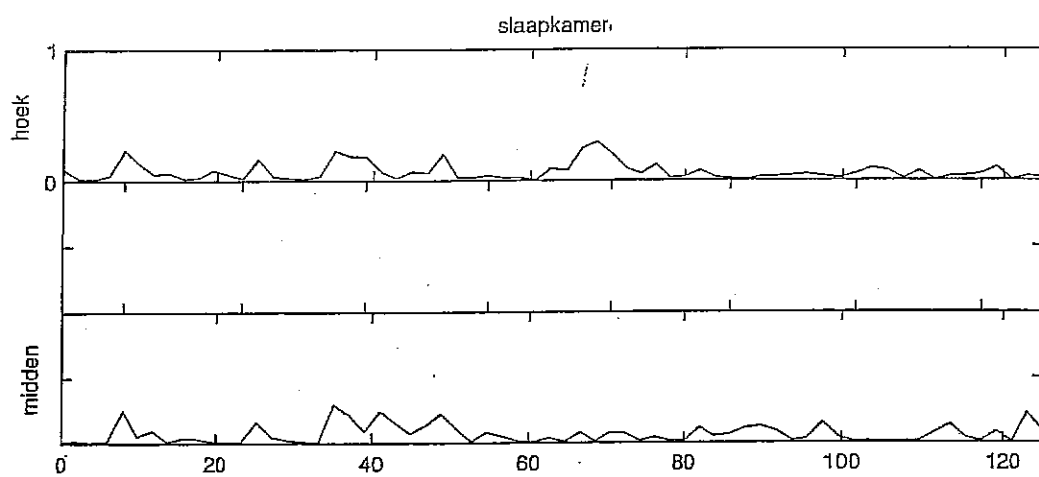
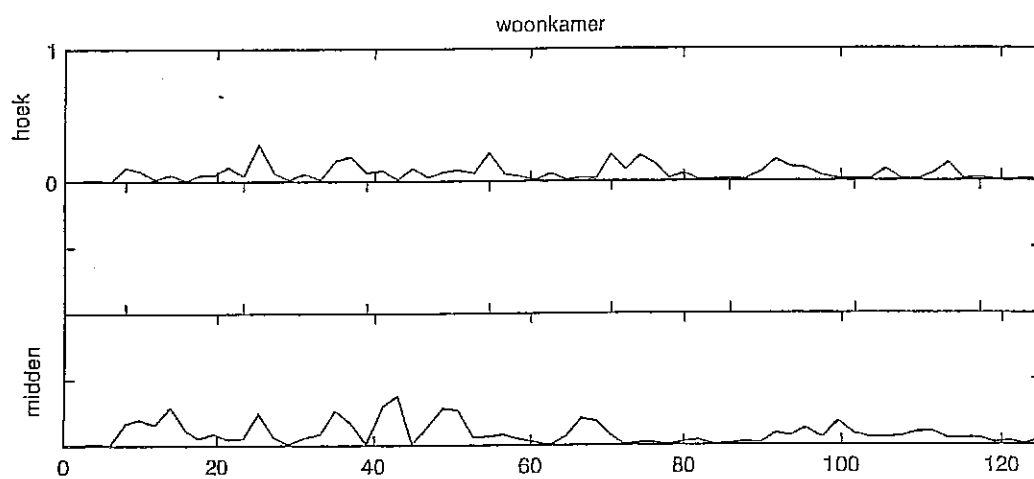
Project: Volgerlanden

Proj.nr.: 034.67254/01.01

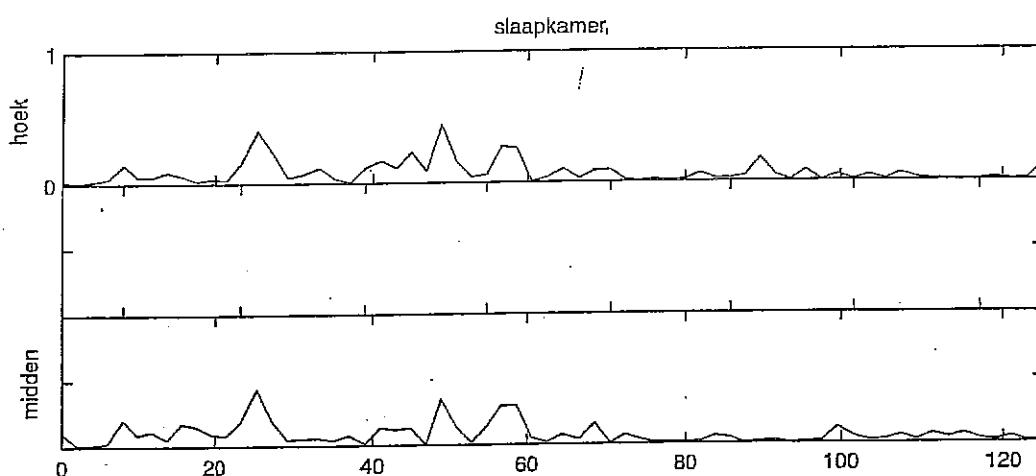
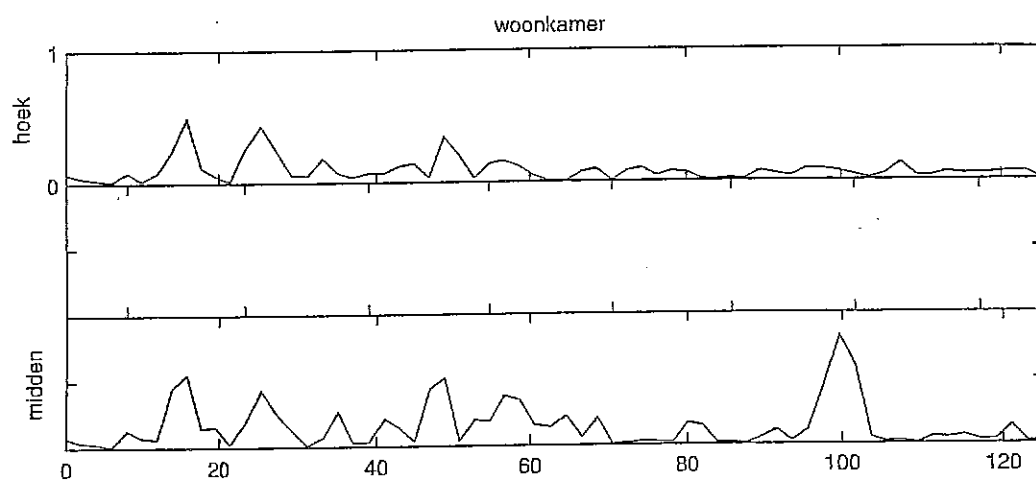
Datum: 16 januari 2007

Kommentaar: Bezemer geluid

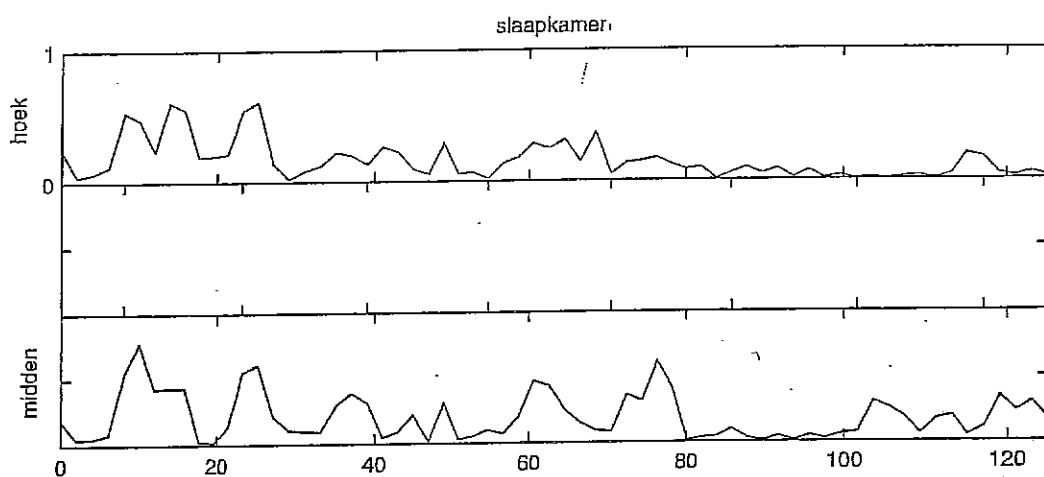
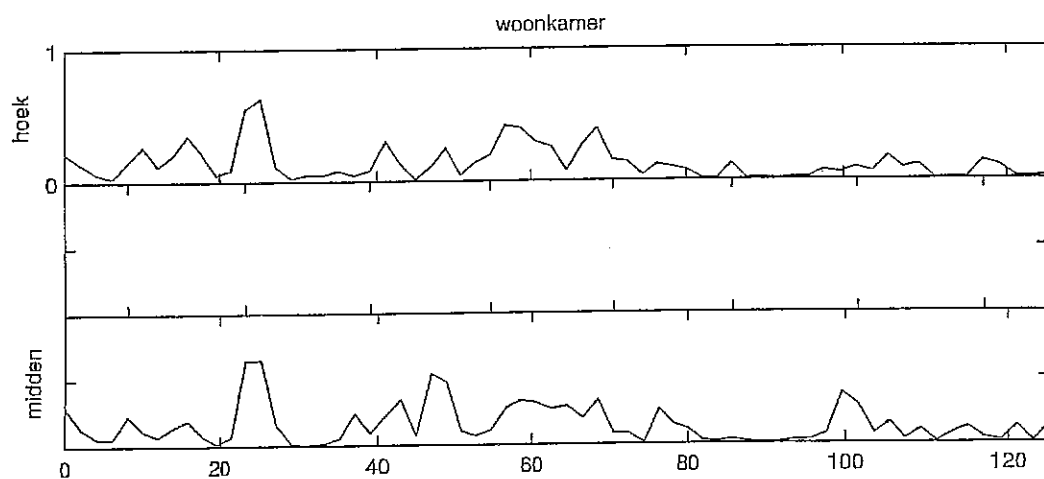
filenummer(s): 2



TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: coherentiespectrum (geluid t.o.v. vloer woonkamer) Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007
	Kommentaar: Bezemer geluid filenummer(s): 2



TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: coherentiespectrum (geluid t.o.v. wand x slaapkamer) Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007
	Kommentaar: Bezemer geluid filenummer(s): 2



TNO Bouw

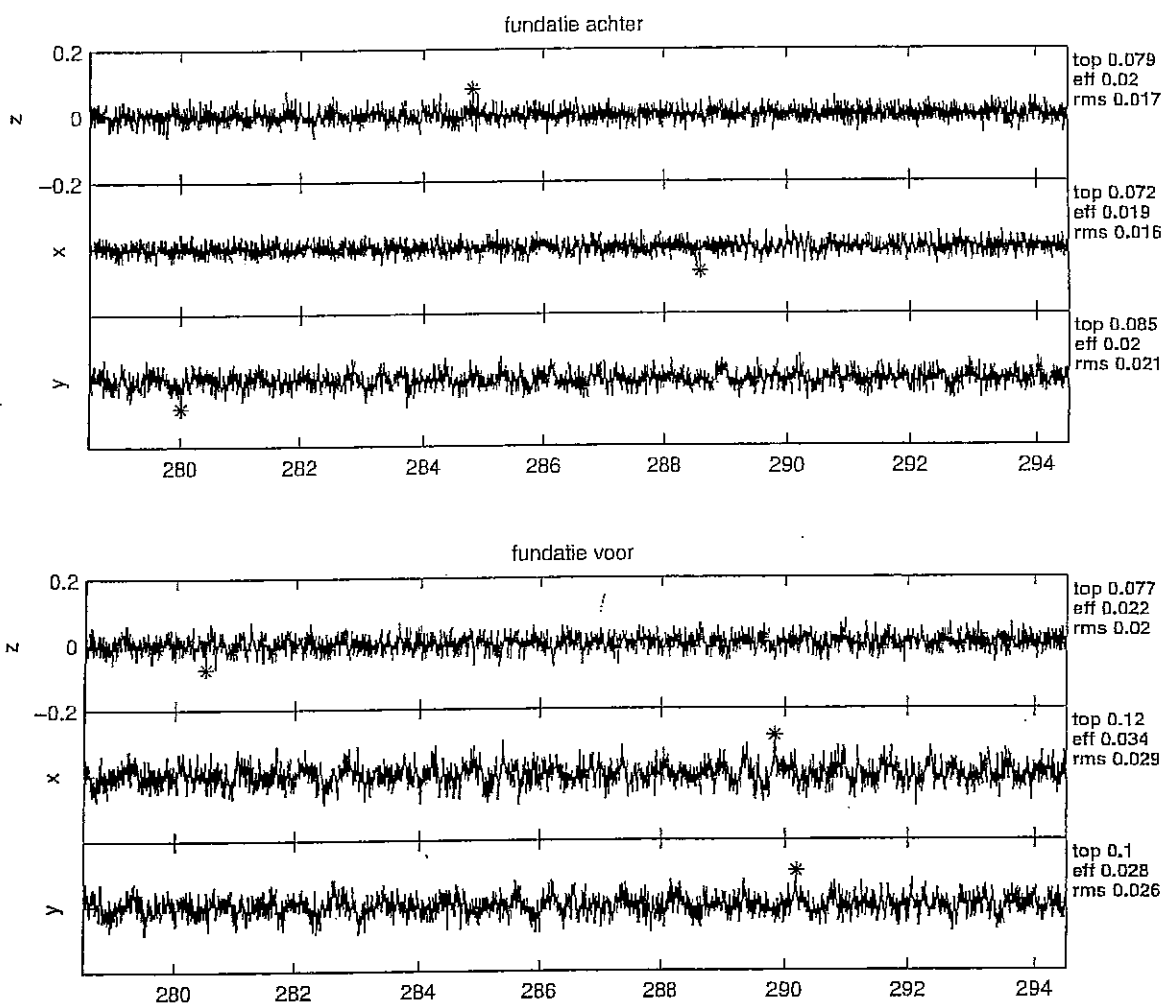
Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

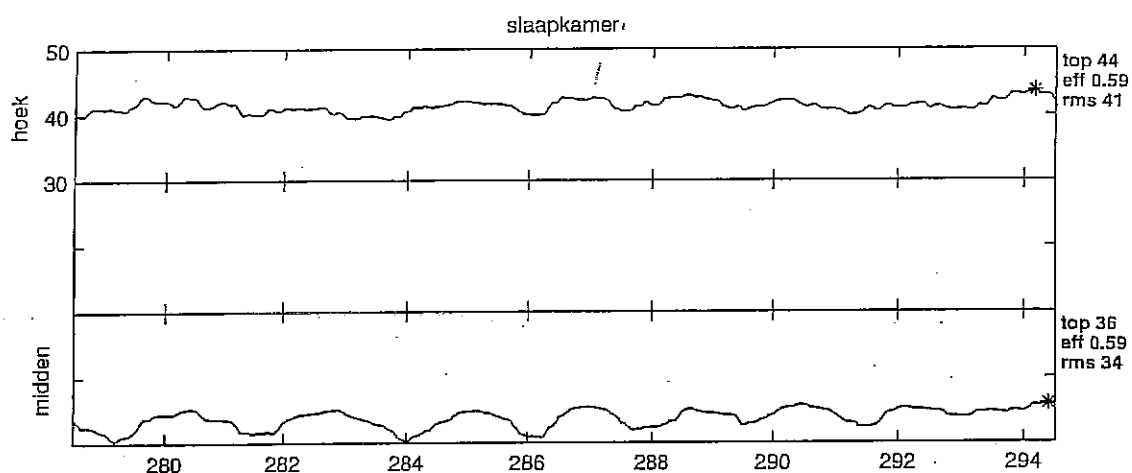
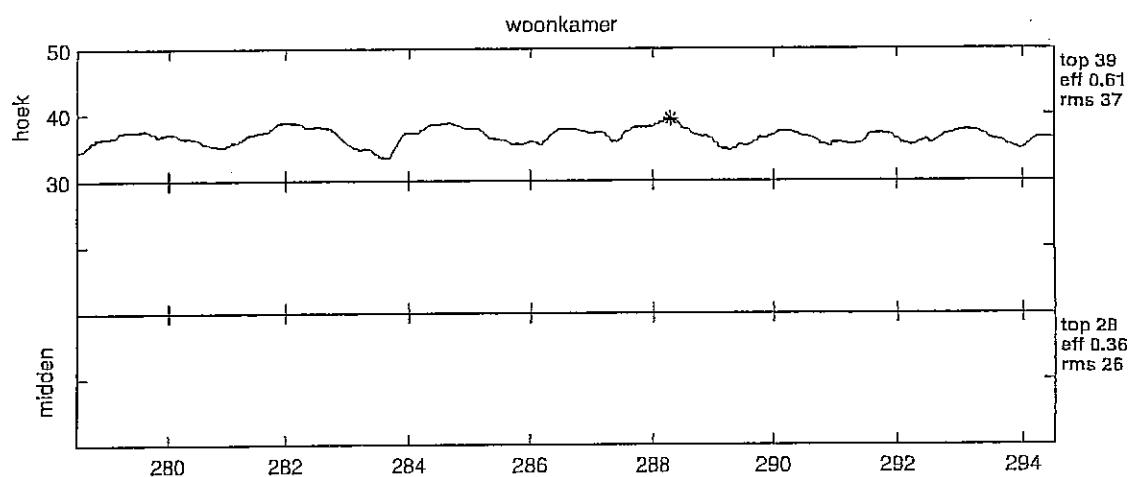
Onderwerp: versnellingen [mm/s²]
Project: Volgerlanden
Proj.nr.: 034.67254/01.01
Datum: 16 januari 2007

Kommentaar: Martin fundatiepunten

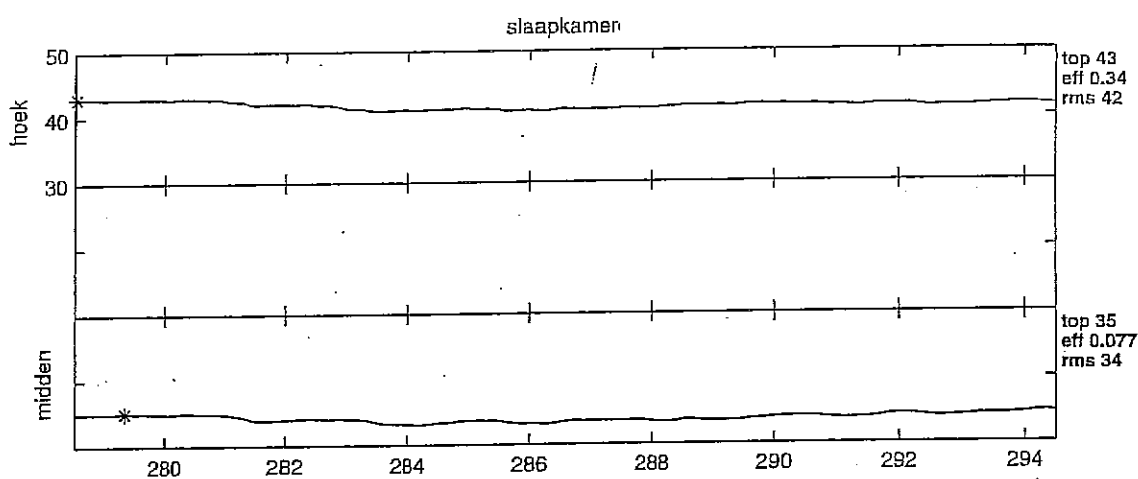
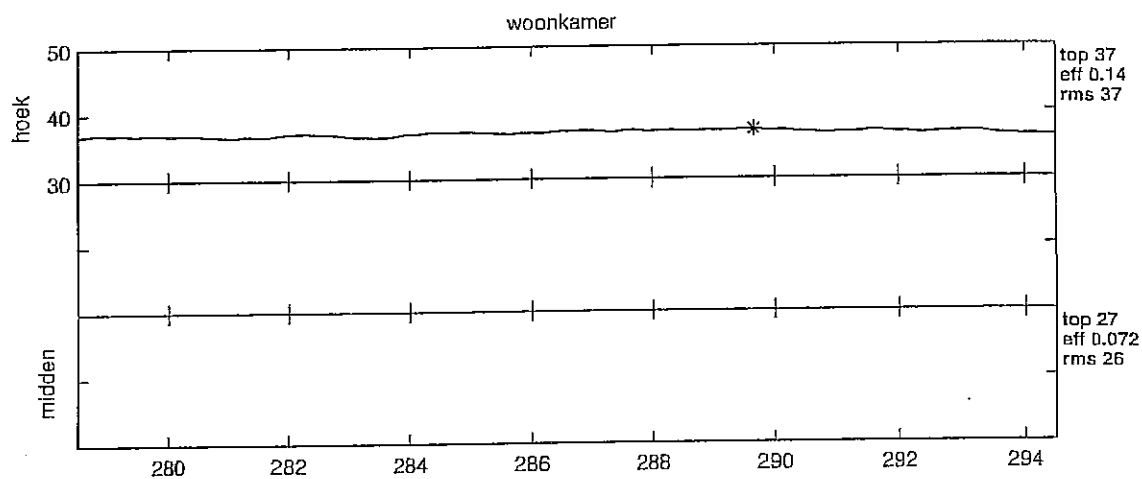
filenummer(s): 2



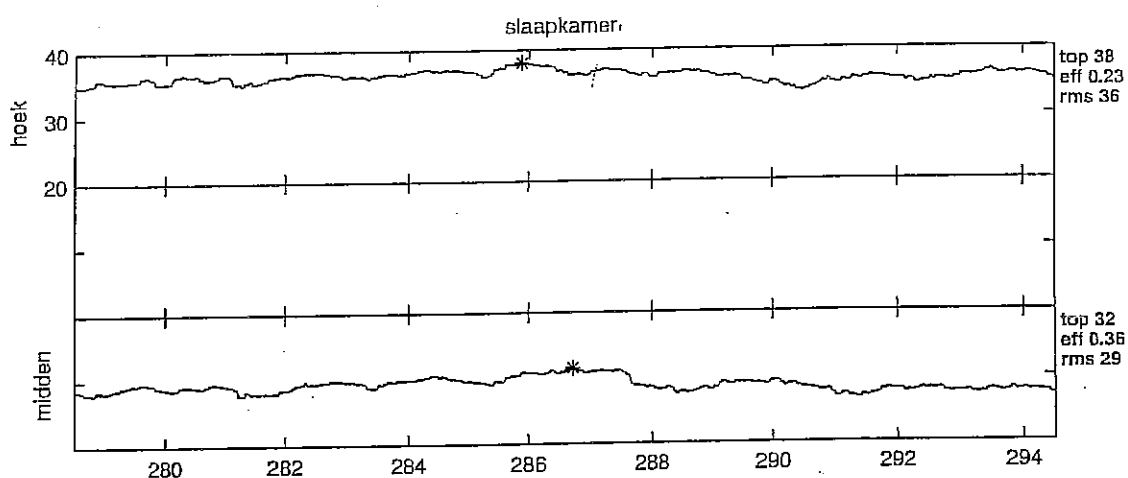
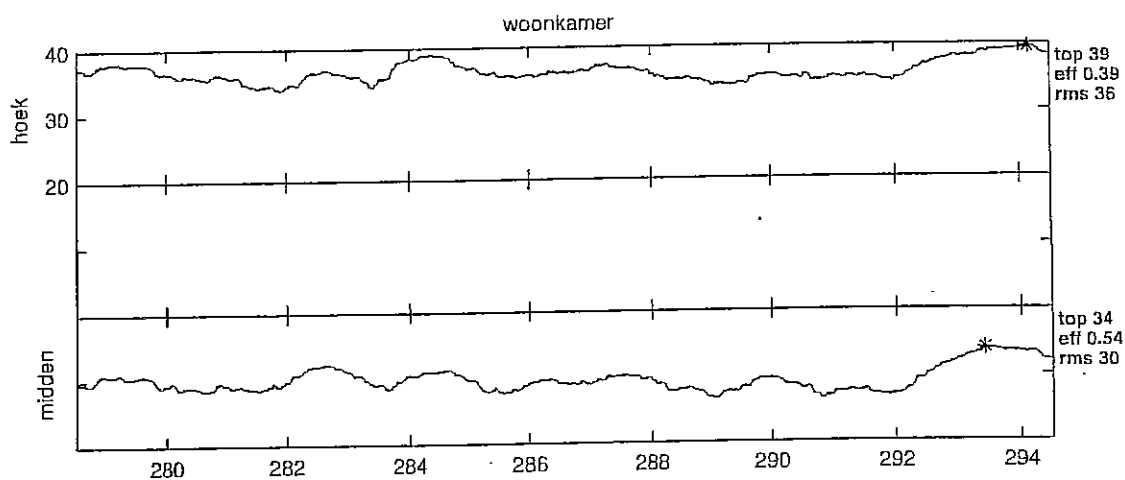
TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: geluid 63 Hz octaafband [dB] Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007 Kommentaar: Martin geluid filenummer(s): 2
---	---



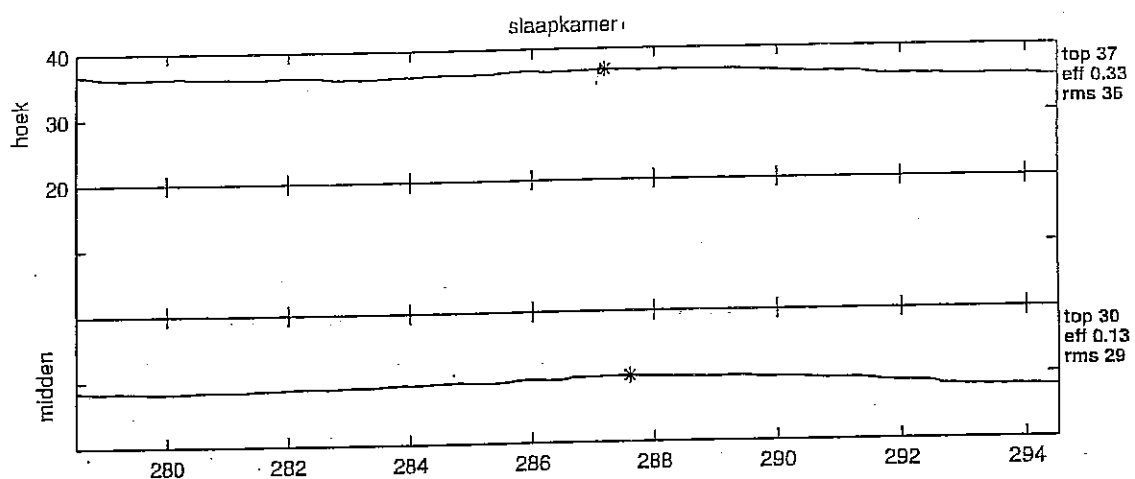
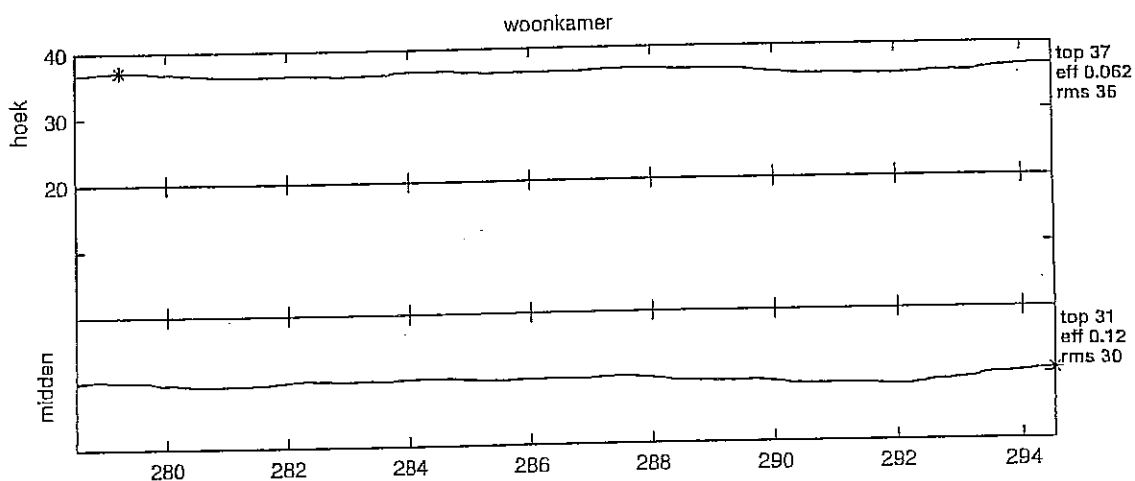
TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: geluid 63 Hz octaafband [dB] Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007
	Kommentaar: Martin geluid Leq over 6 seconden filenummer(s): 2



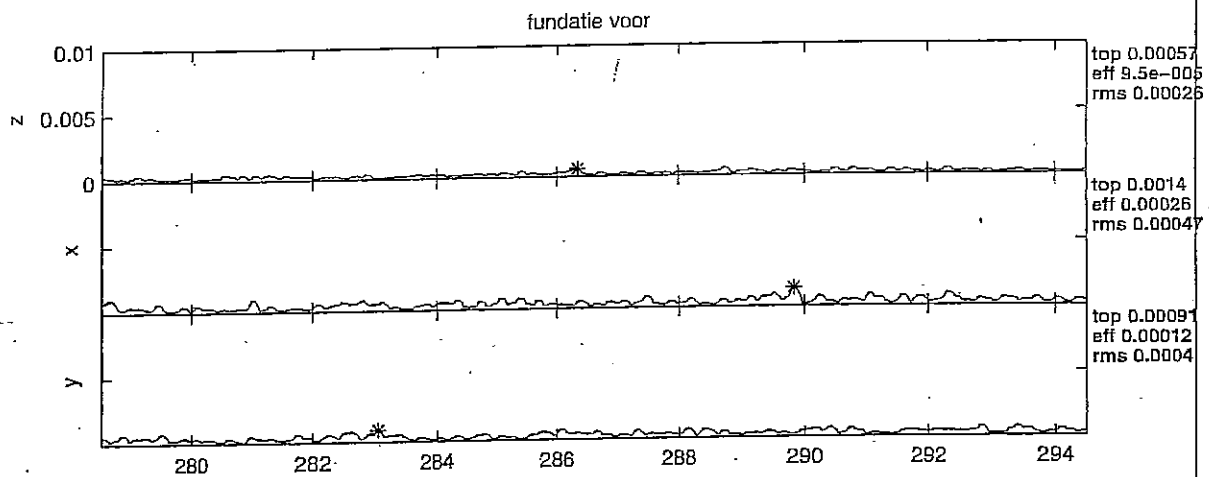
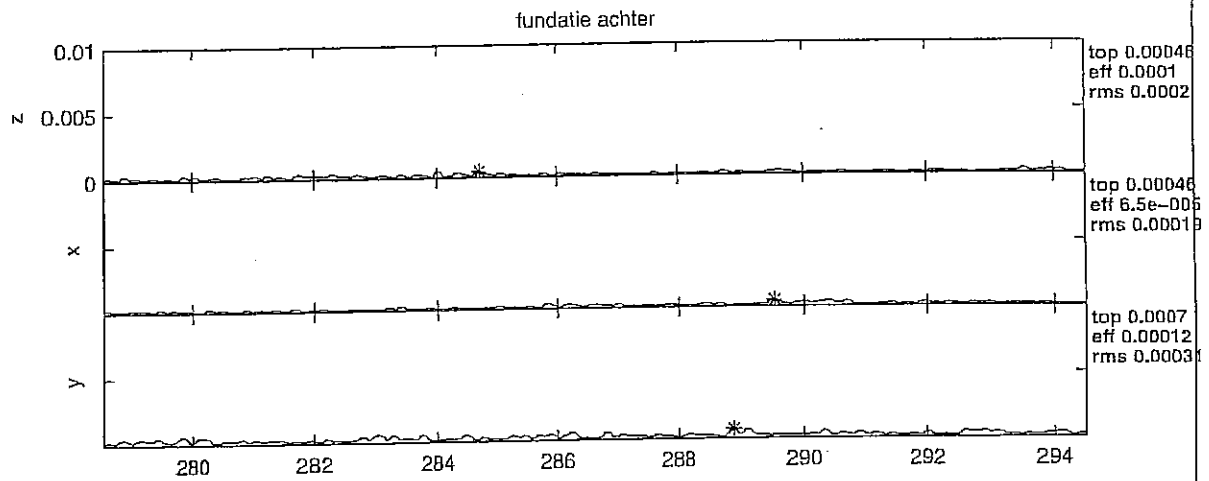
TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: geluid 32 Hz octaafband [dB] Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007
	Kommentaar: Martin geluid filenummer(s): 2



TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: geluid 32 Hz octaafband [dB] Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007 Kommentaar: Martin geluid Leq over 6 seconden filenummer(s): 2
---	--



TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: effectieve snelheid [-] Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007
	Komentaar: Martin fundatiepunten filenummer(s): 2



TNO Bouw

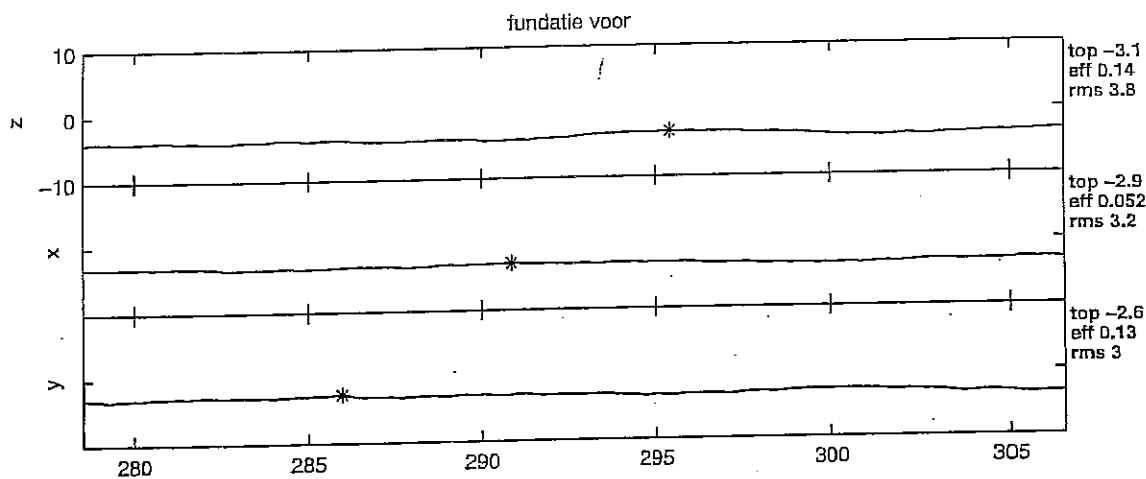
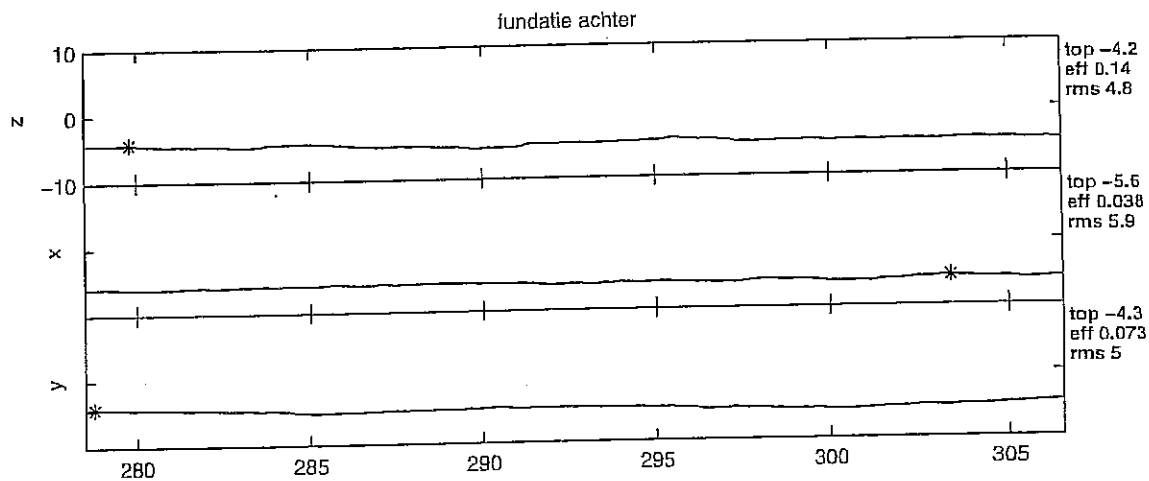
Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

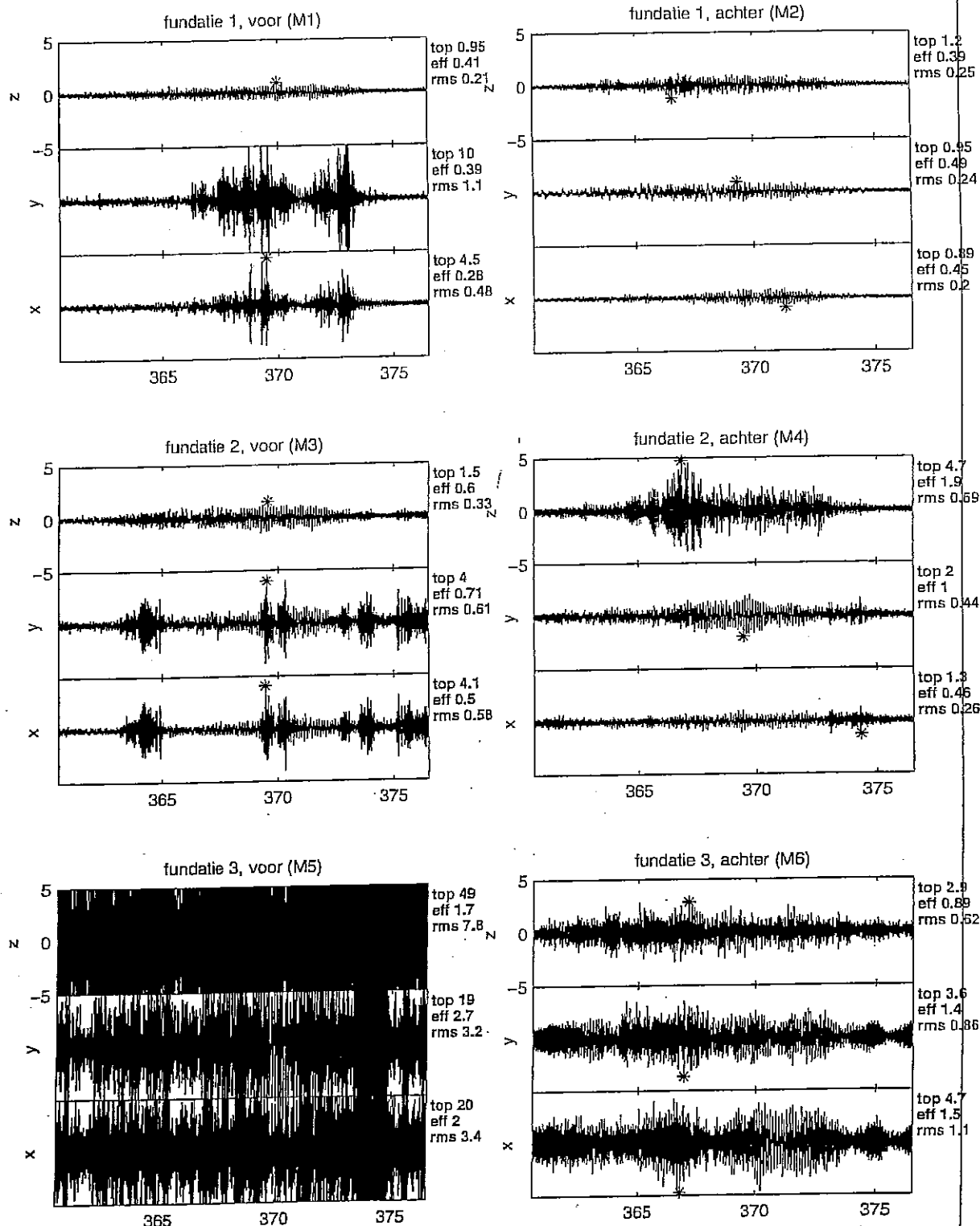
Onderwerp: Lv [dB, ref. 5E-8], 63 Hz octaafband
Project: Volgerlanden
Proj.nr.: 034.67254/01.01
Datum: 16 januari 2007

Kommentaar: Martin fundatiepunten
Leq over 6 seconden

filenummer(s): 2



TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: versnellingen [mm/s ²] Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007
	Kommentaar: fundaties 1 t/m 3 filenummer(s): 2



TNO Bouw

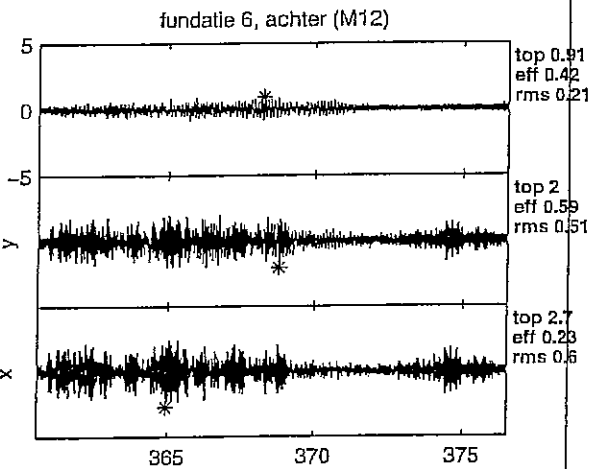
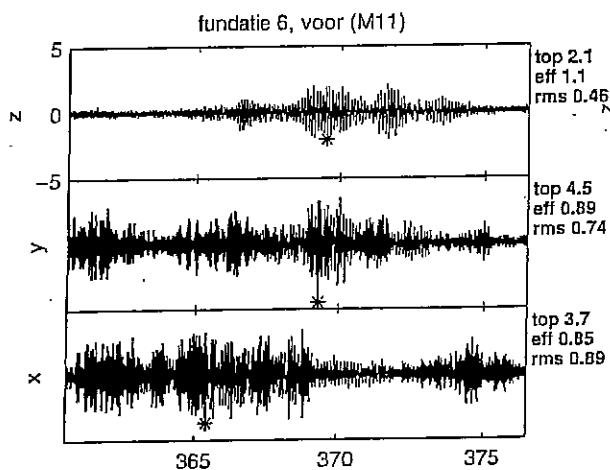
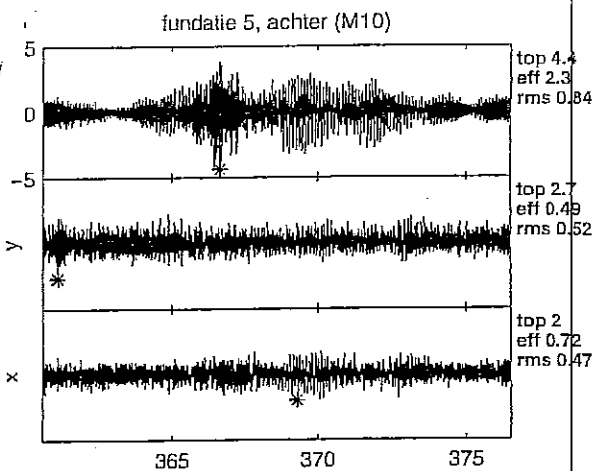
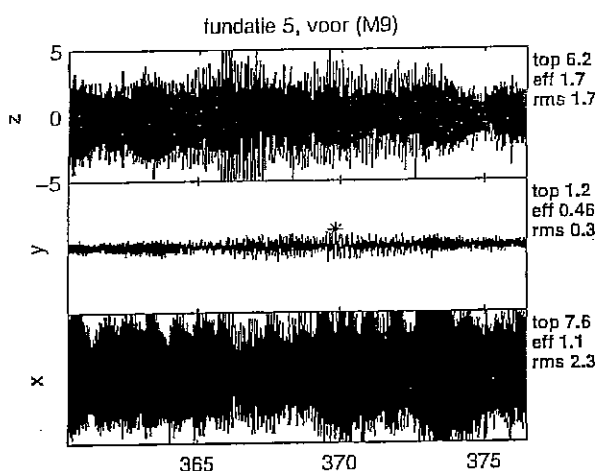
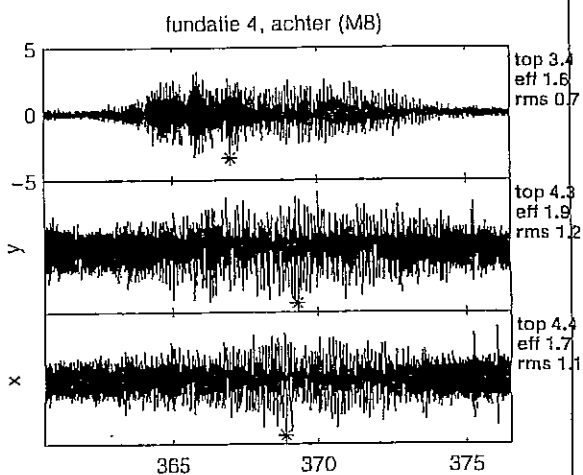
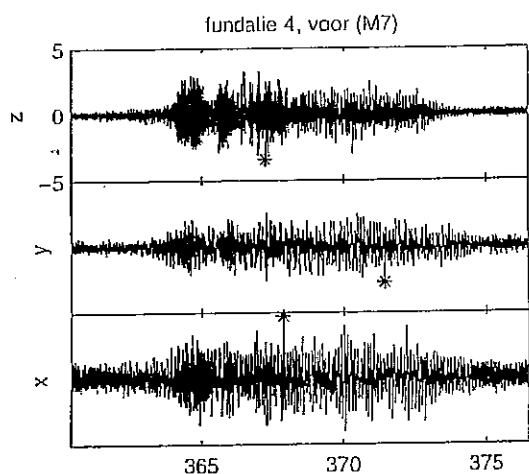
Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

Onderwerp: versnellingen [mm/s²]
Project: Volgerlanden
Proj.nr.: 034.67254/01.01
Datum: 16 januari 2007

Kommentaar: fundaties 4 t/m 6

filenummer(s): 2



TNO Bouw

Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

Onderwerp: geluid 63 Hz octaafband [dB]

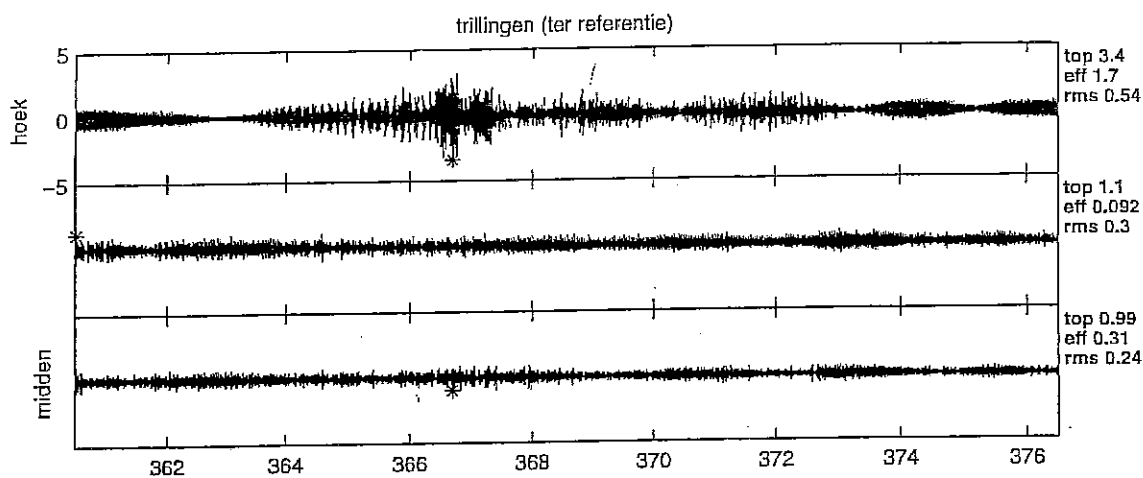
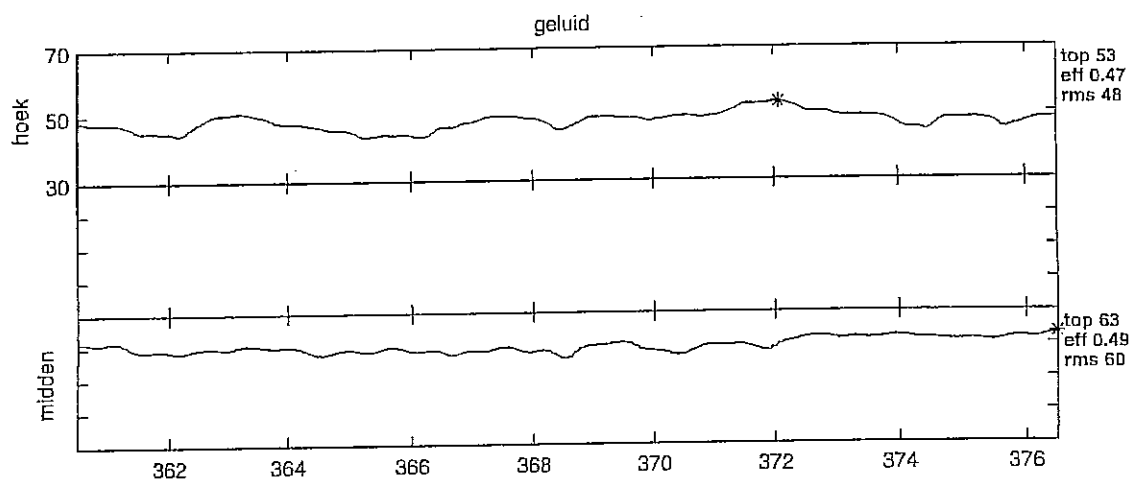
Project: Volgerlanden

Proj.nr.: 034.67254/01.01

Datum: 16 januari 2007

Kommentaar: fundatie geluid

filenummer(s): 2



TNO Bouw

Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

Onderwerp: geluid 63 Hz octaafband [dB]

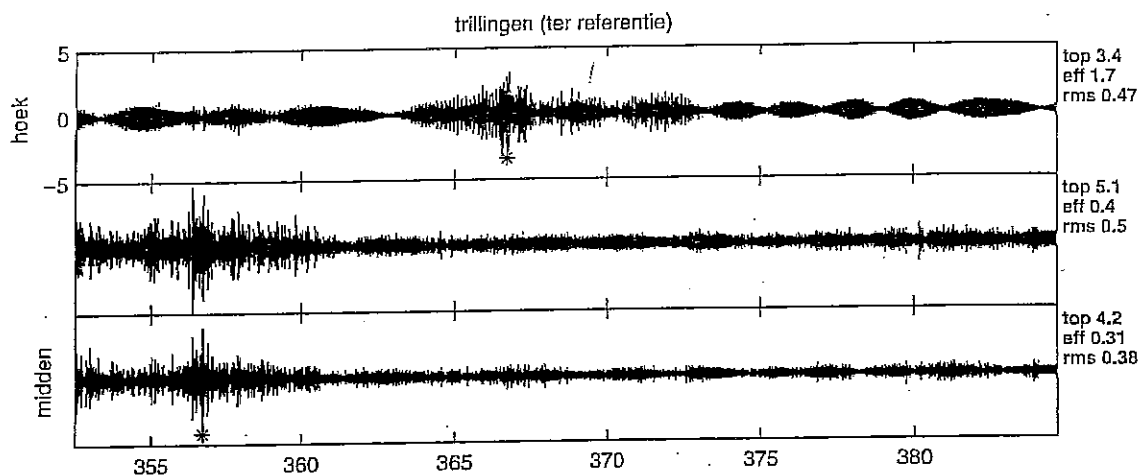
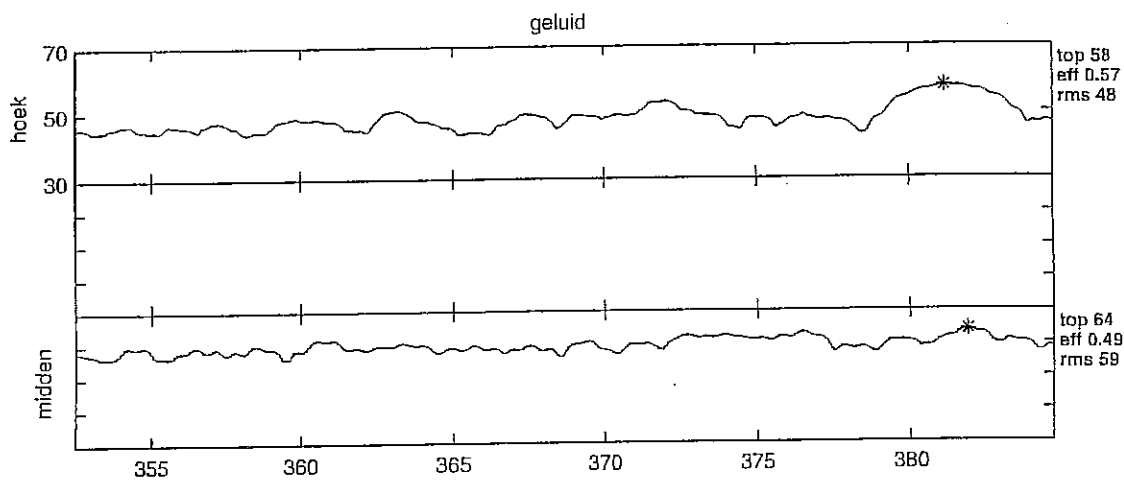
Project: Volgerlanden

Proj.nr.: 034.67254/D1.01

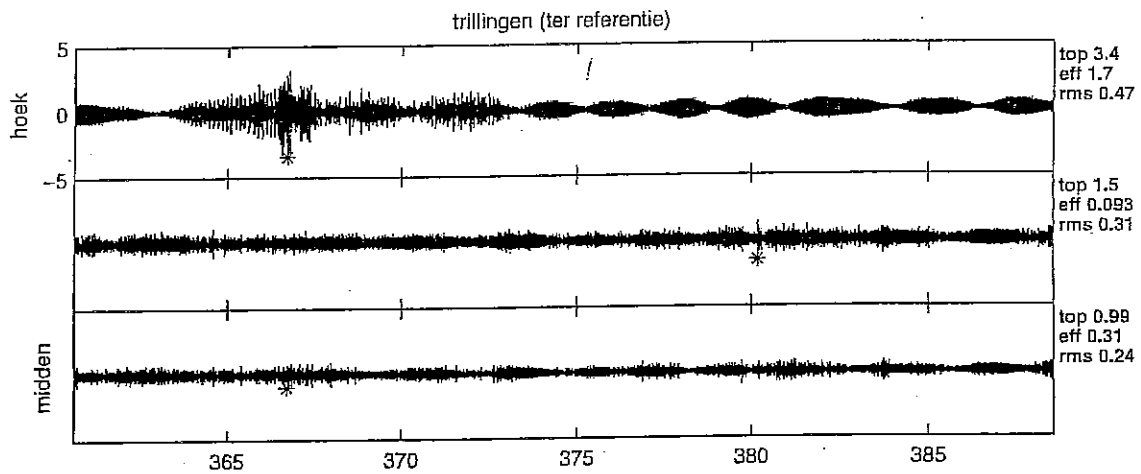
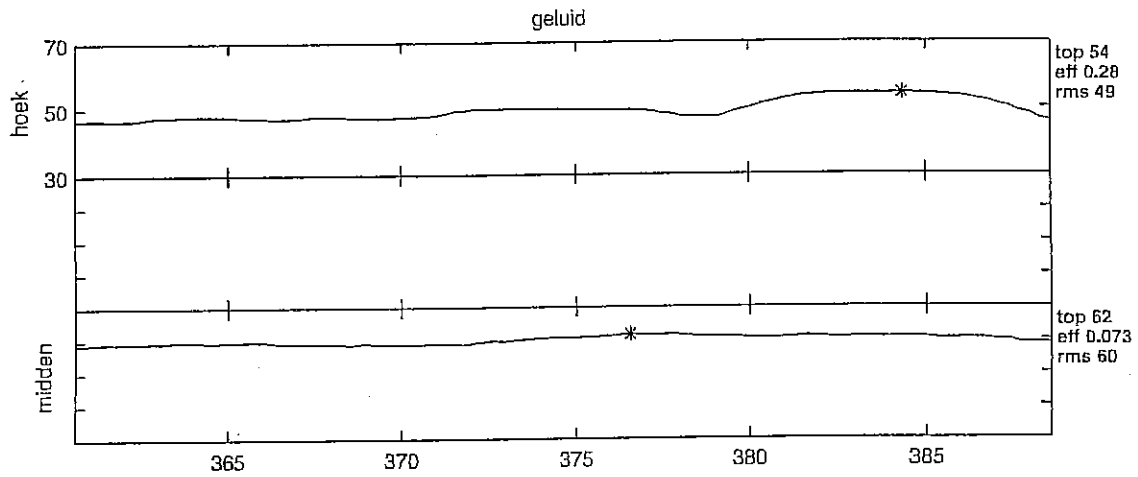
Datum: 16 januari 2007

Kommentaar: fundatie geluid
32 seconden

filenummer(s): 2



TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: geluid 63 Hz octaafband [dB] Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007
	Kommentaar: fundatie geluid Leq over 6 seconden filenummer(s): 2



TNO Bouw

Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

Onderwerp: geluid 32 Hz octaafband [dB]

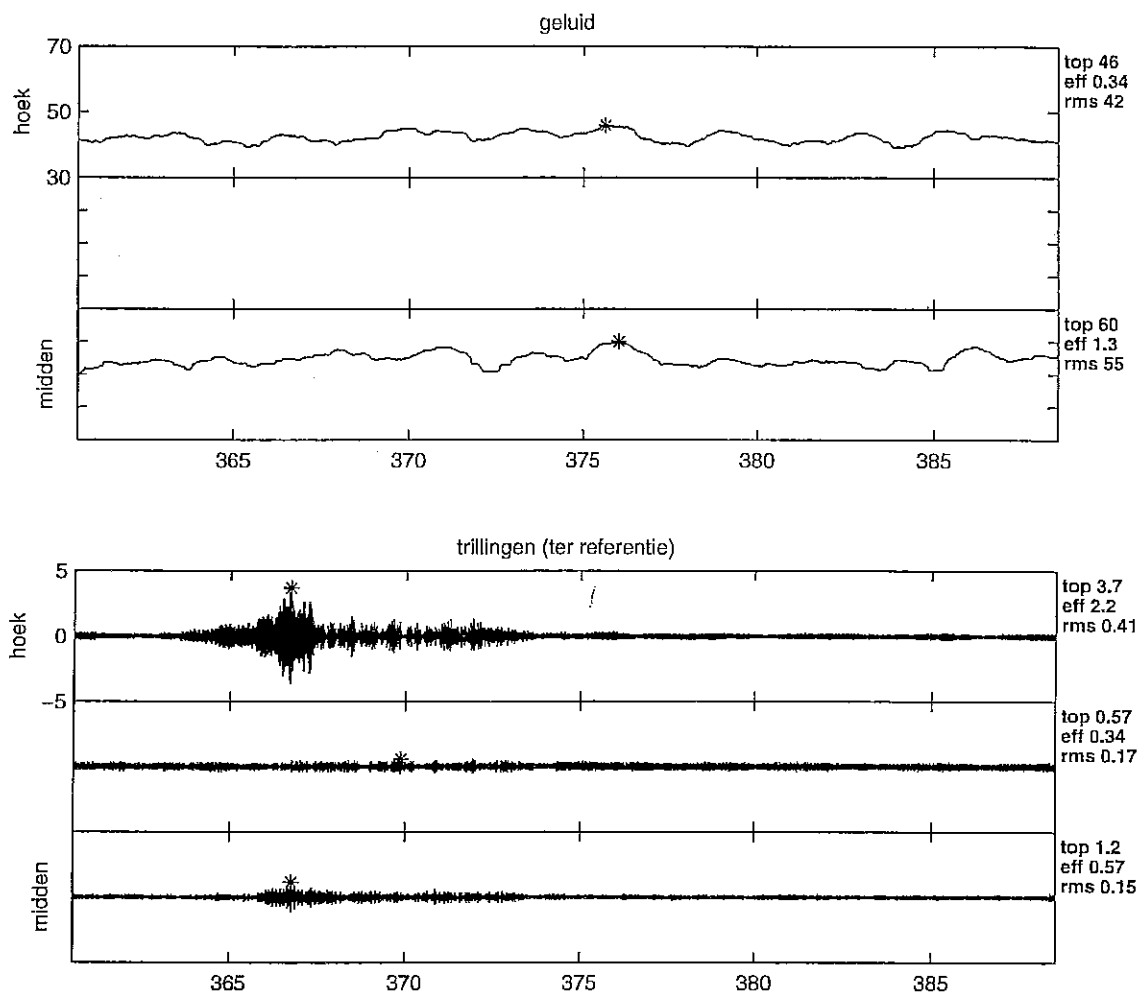
Project: Volgerlanden

Proj.nr.: 034.67254/01.01

Datum: 16 januari 2007

Kommentaar: fundatie geluid

filenummer(s): 2



TNO Bouw

Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

Onderwerp: geluid 32 Hz octaafband [dB]

Project: Volgerlanden

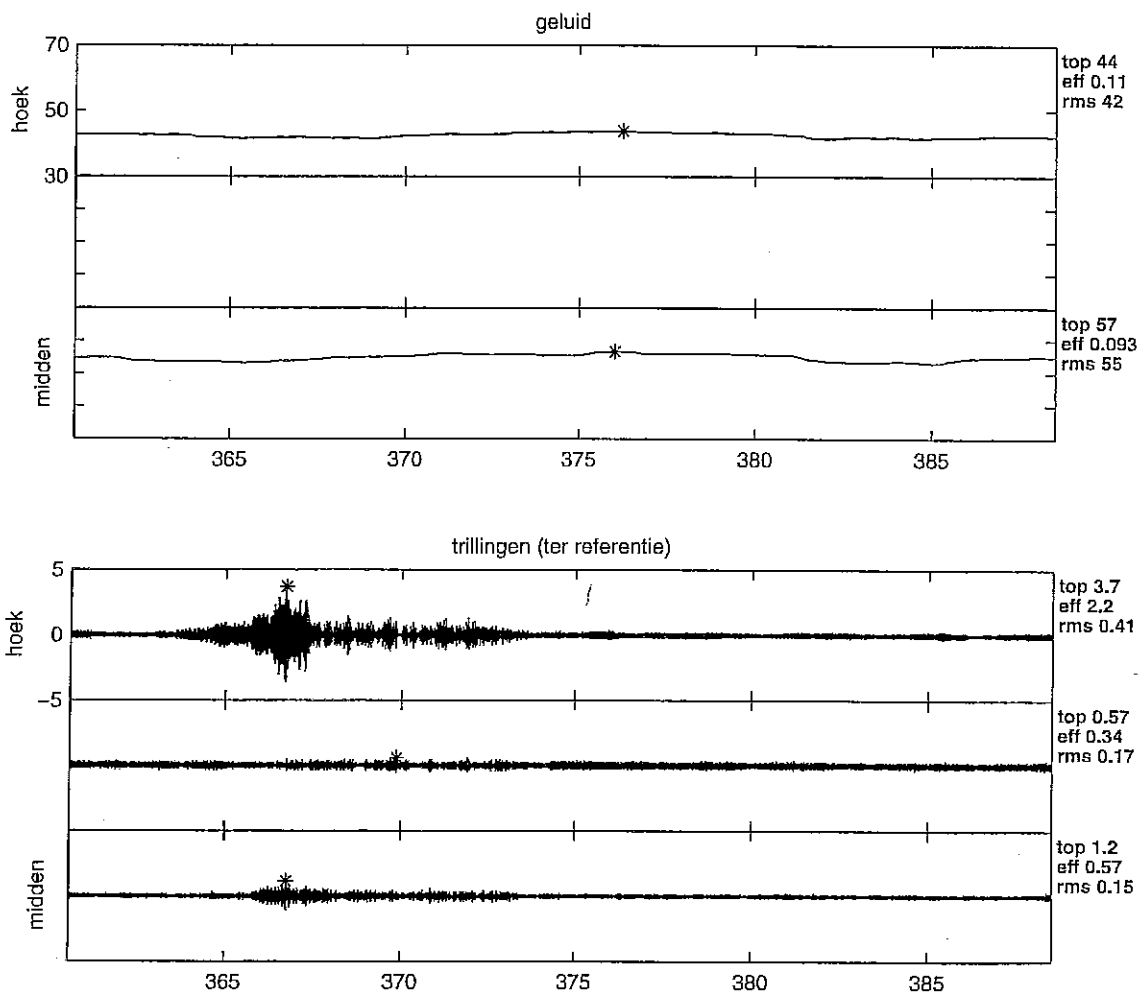
Proj.nr.: 034.67254/01.01

Datum: 16 januari 2007

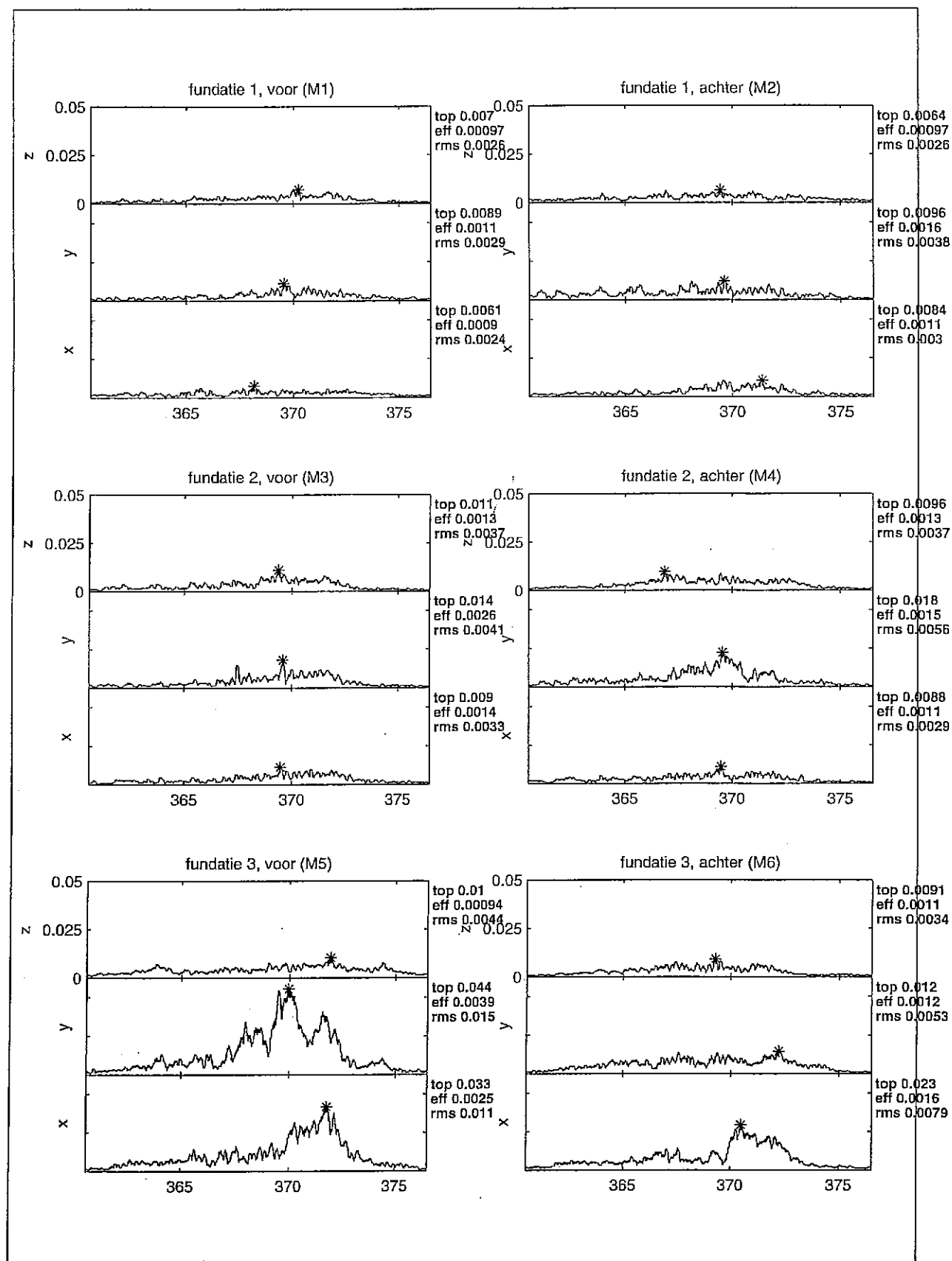
Kommentaar: fundatie geluid

Leq over 6 seconden

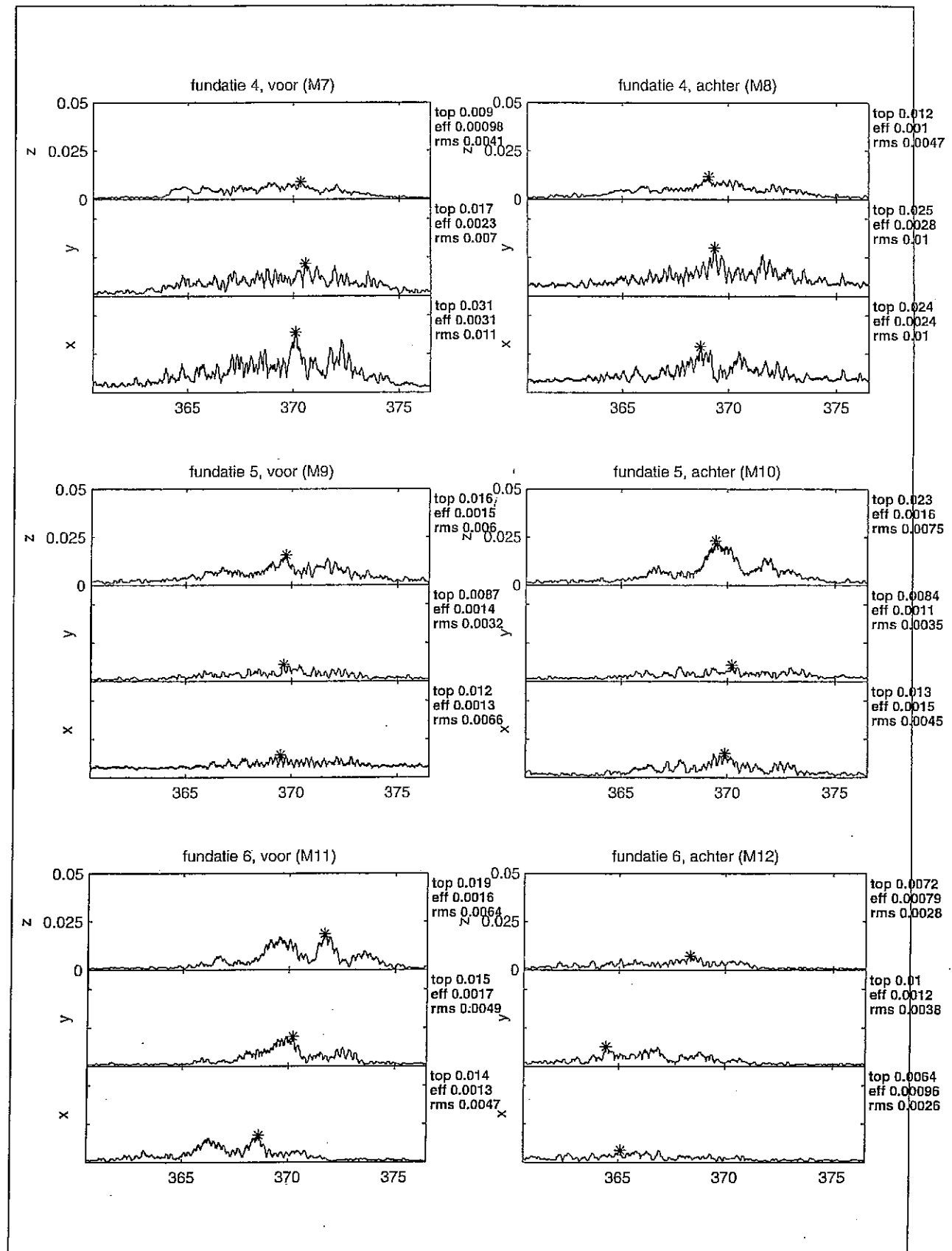
filenummer(s): 2

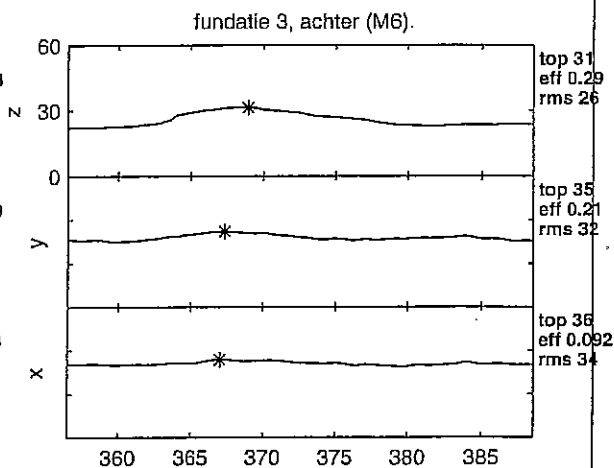
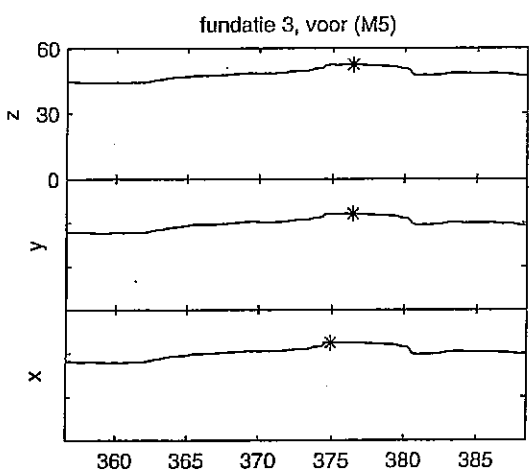
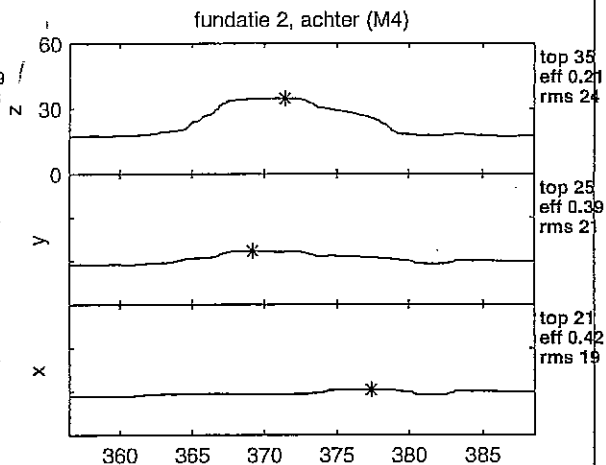
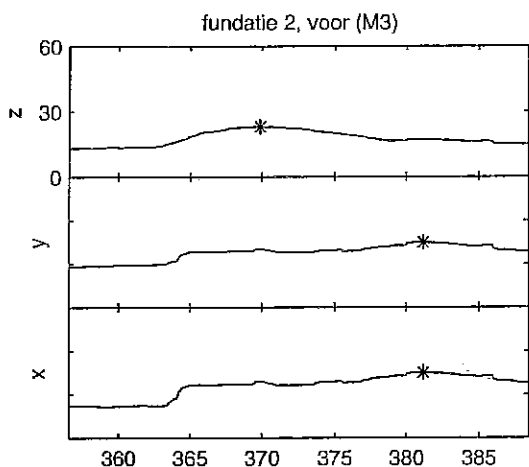
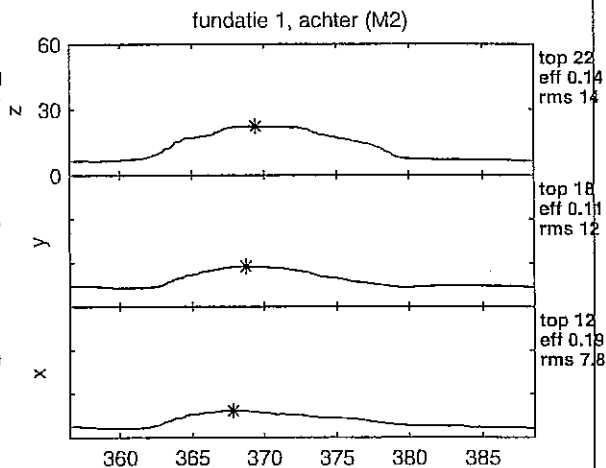
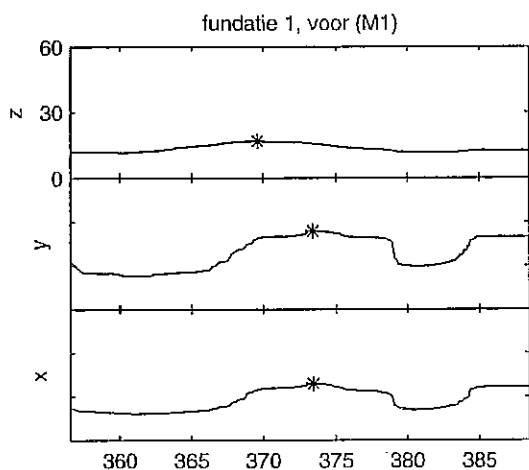


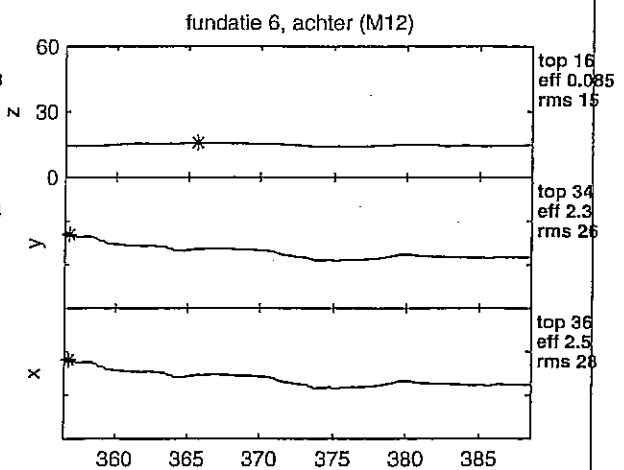
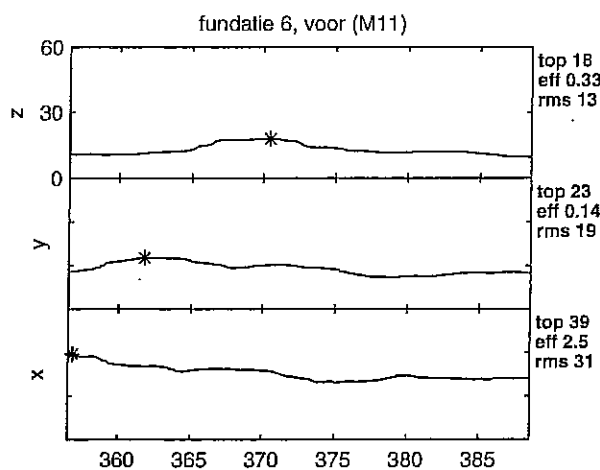
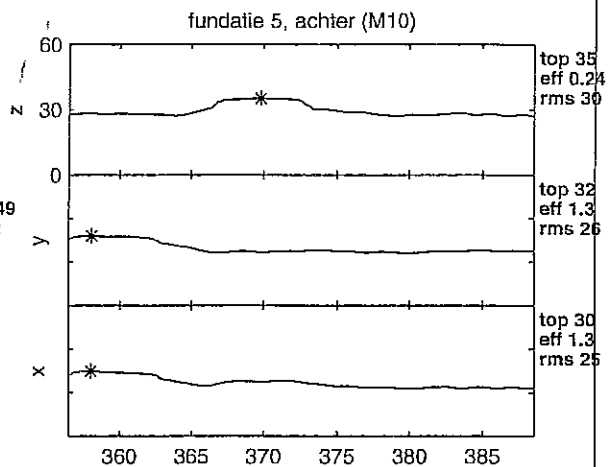
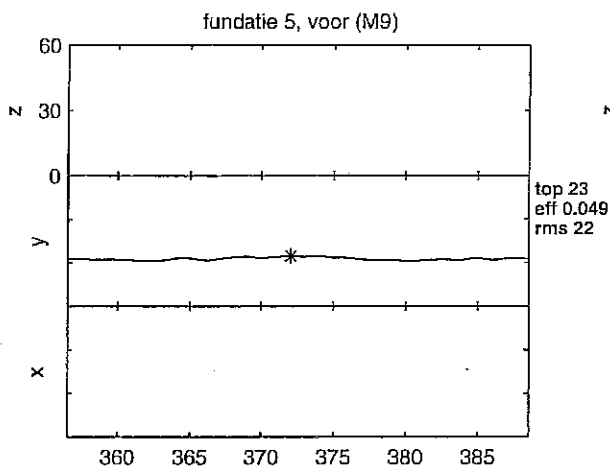
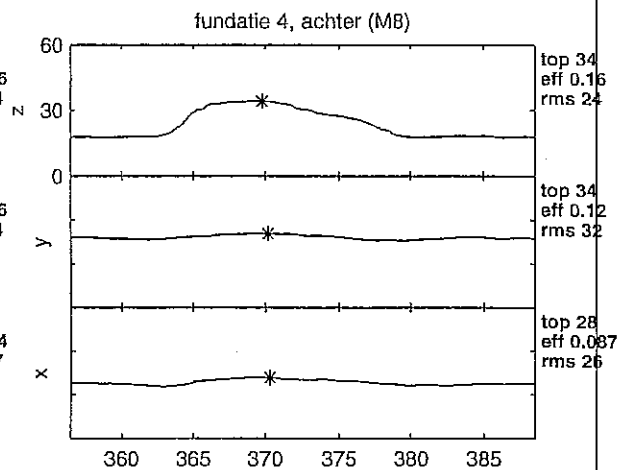
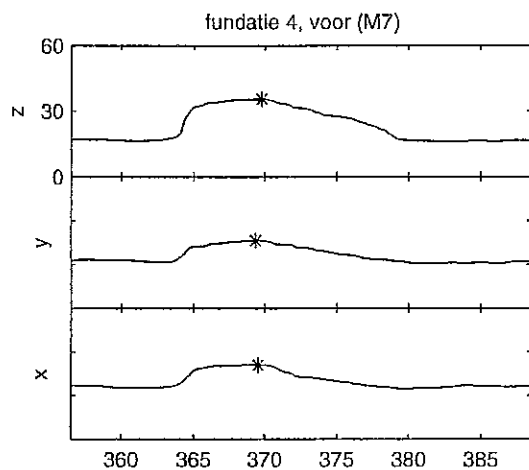
TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: effectieve snelheid [-] Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007
	Kommentaar: fundaties 1 t/m 3 filenummer(s): 2



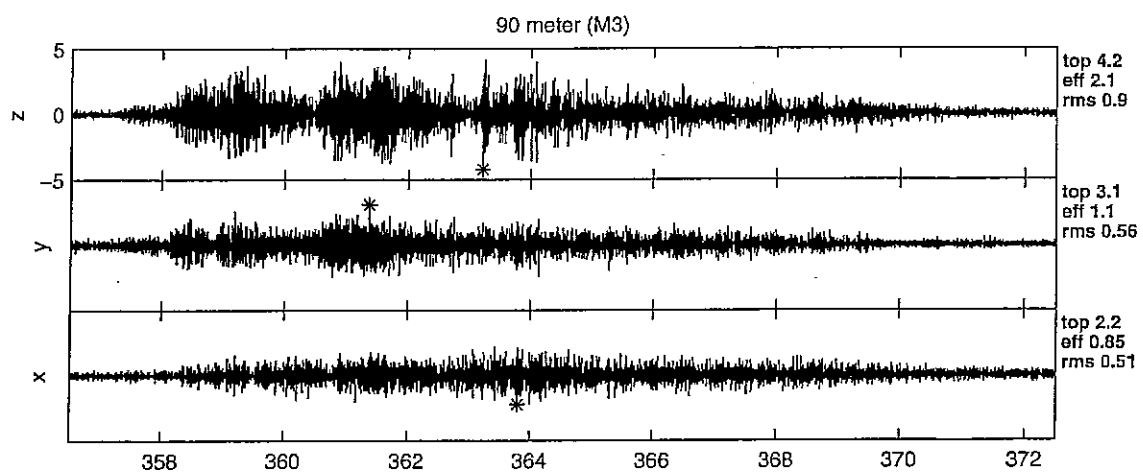
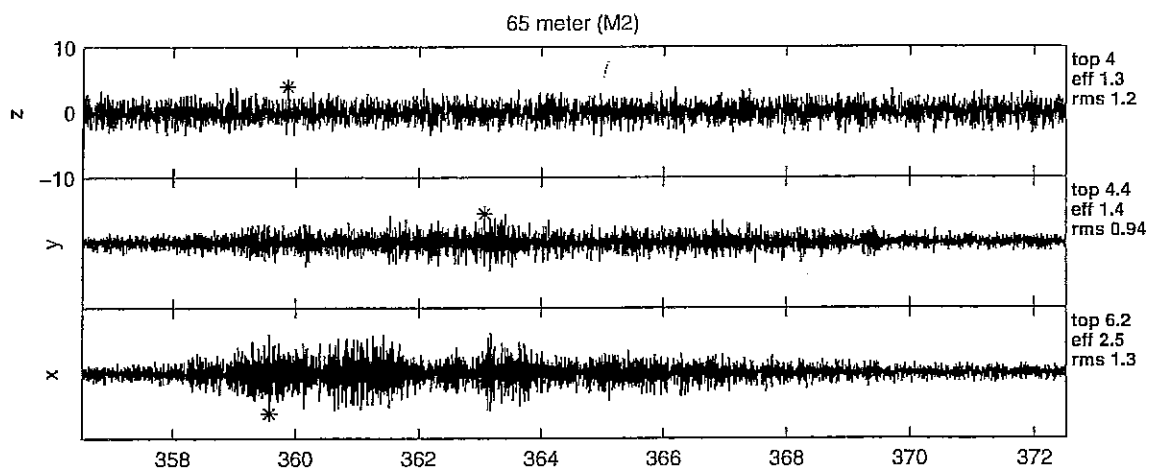
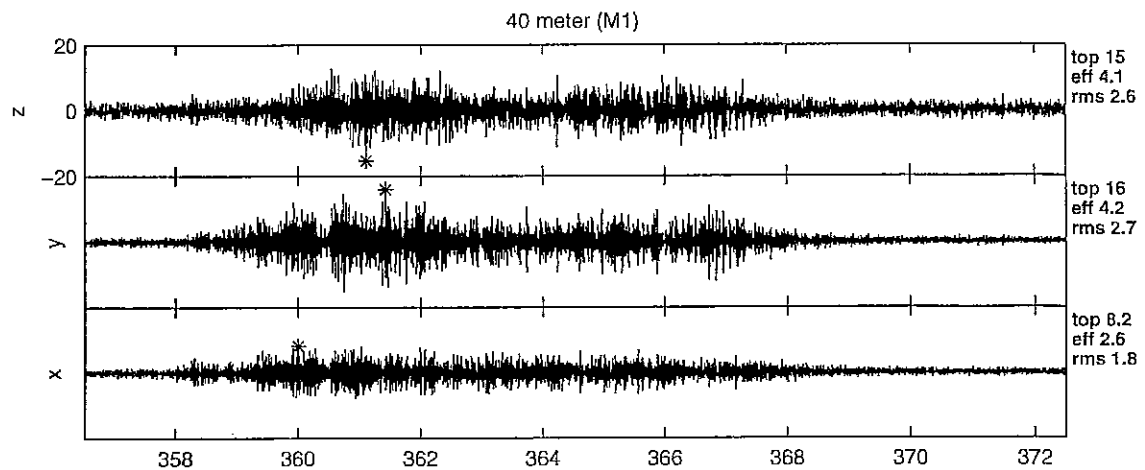
TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: effectieve snelheid [-] Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007
	Kommentaar: fundaties 4 t/m 6 filenummer(s): 2



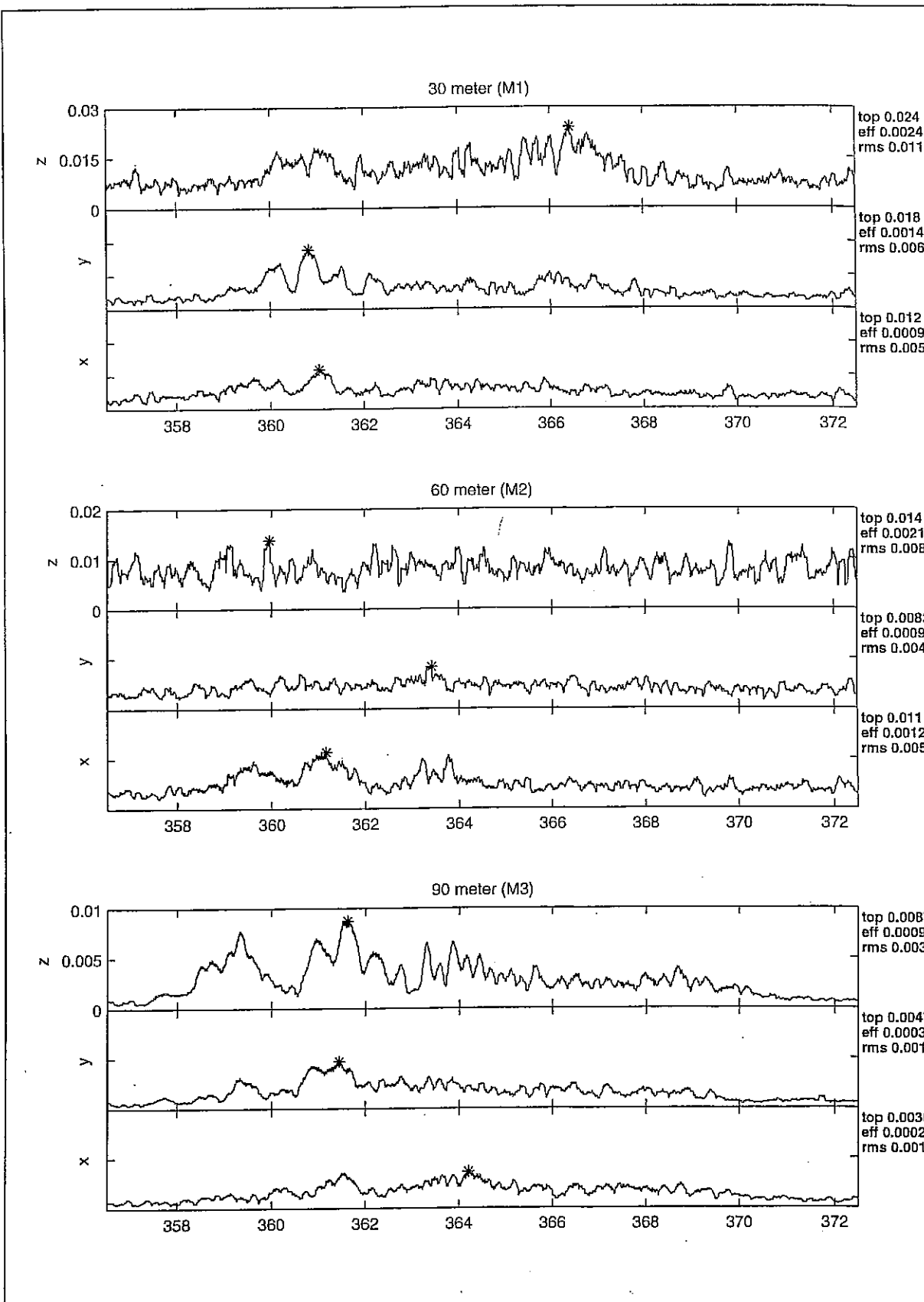




TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: versnellingen [mm/s²] Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007
	Kommentaar: zandlaag filenummer(s): 2



TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: effectieve snelheid [-] Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007
	Kommentaar: zandlaag filenummer(s): 2



TNO Bouw

Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

Onderwerp: Lv [dB, ref. 5E-8 m/s], 63 Hz octaafband

Project: Volgerlanden

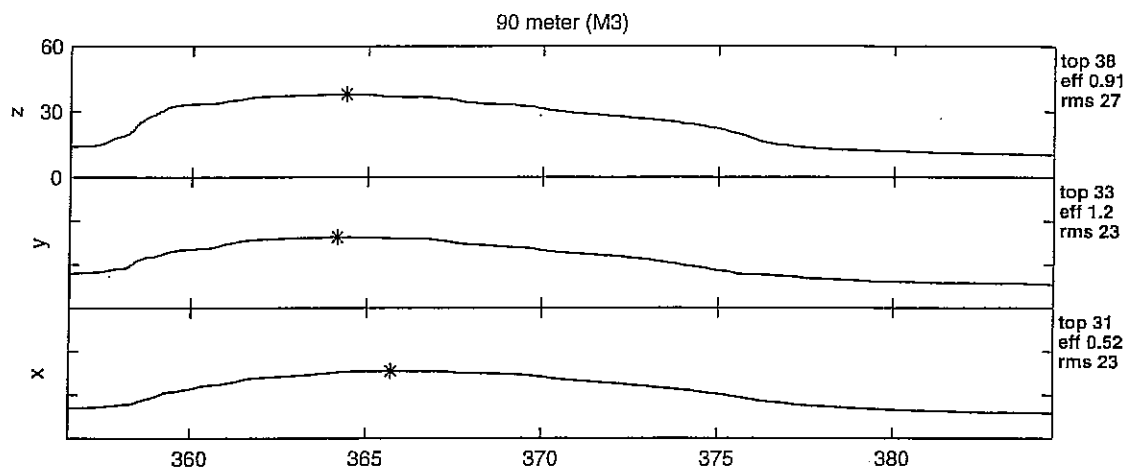
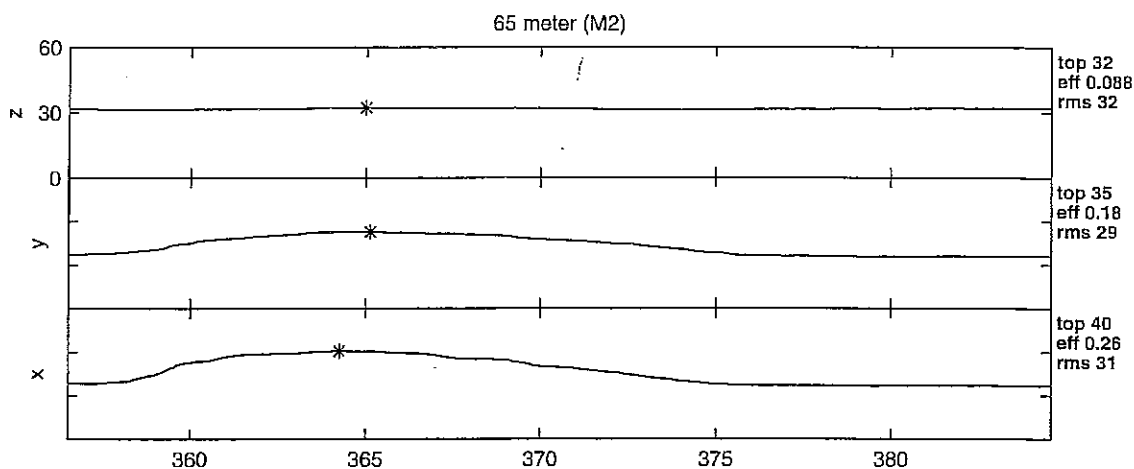
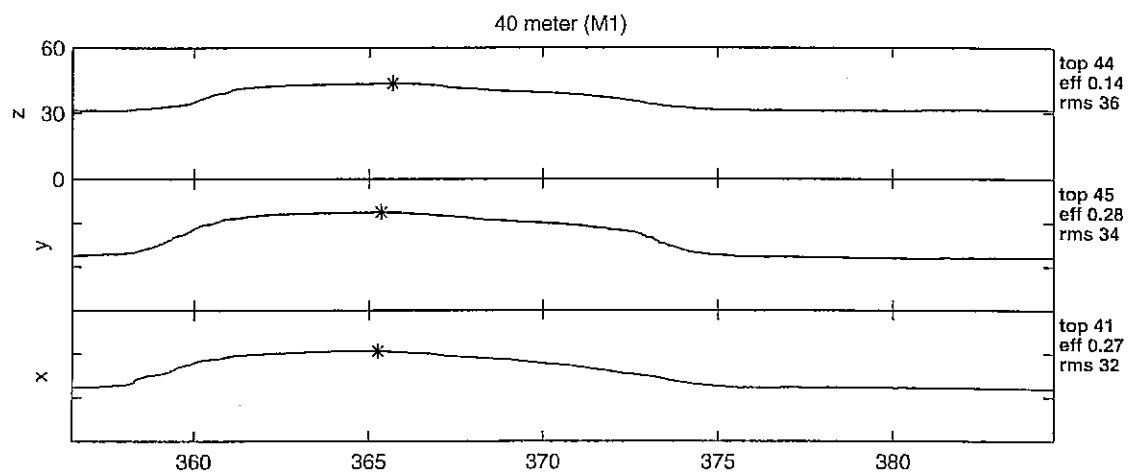
Proj.nr.: 034.67254/01.01

Datum: 16 januari 2007

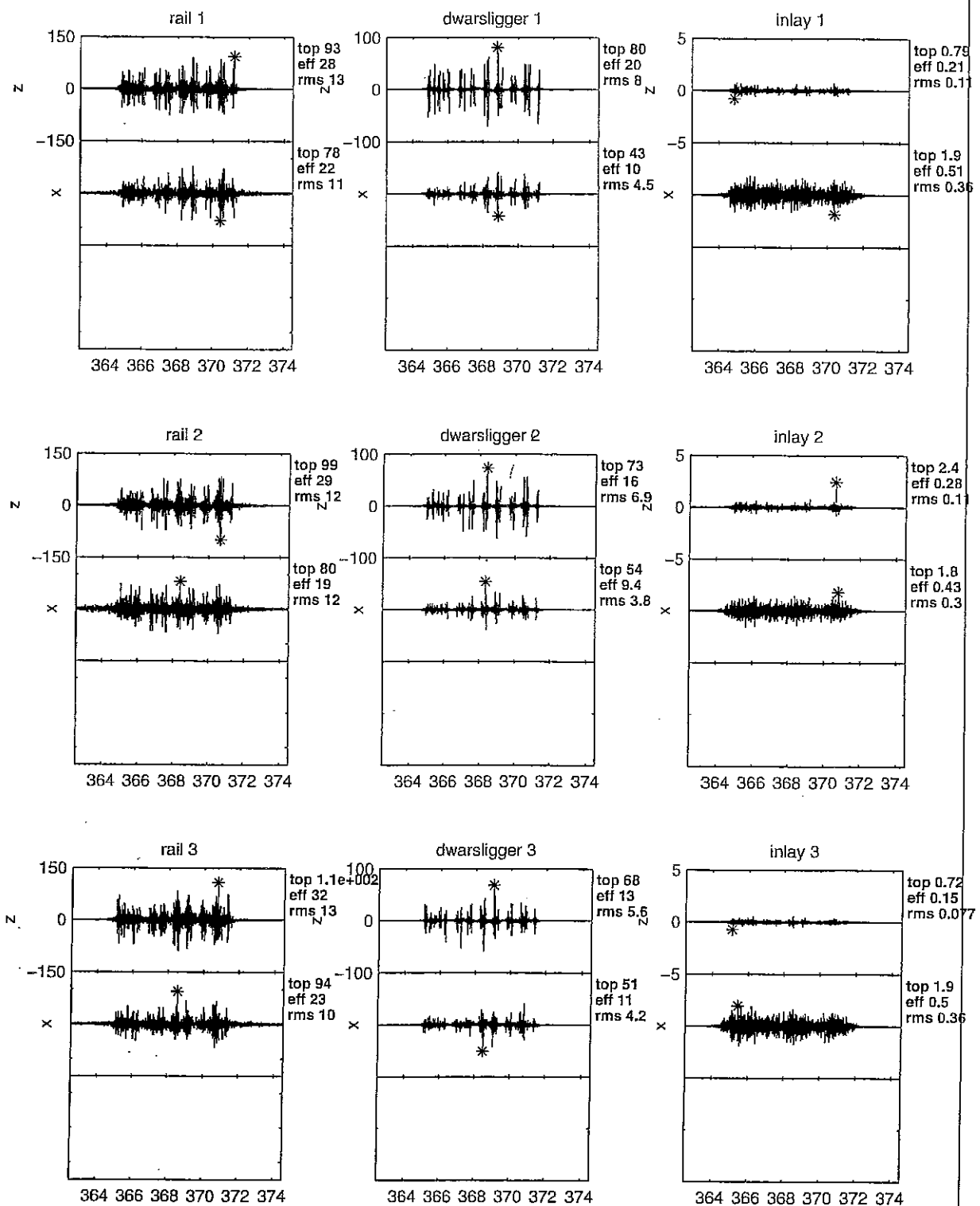
Kommentaar: zandlaag

Leq over 6 seconden

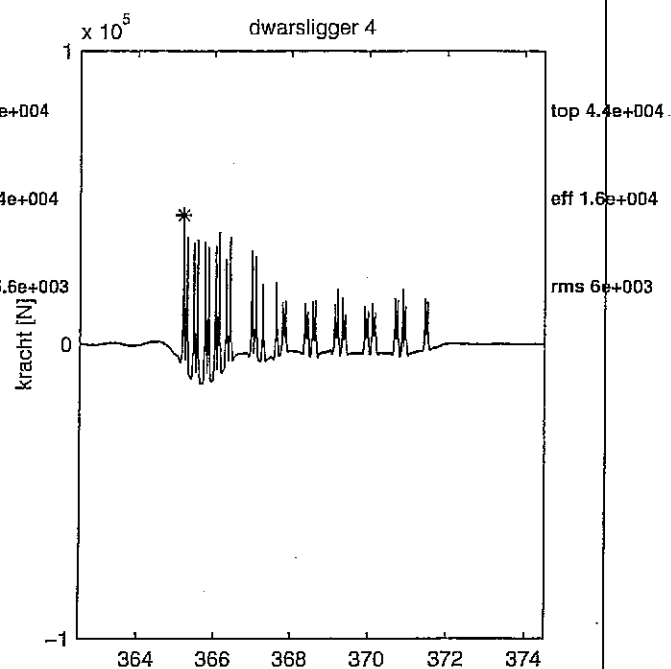
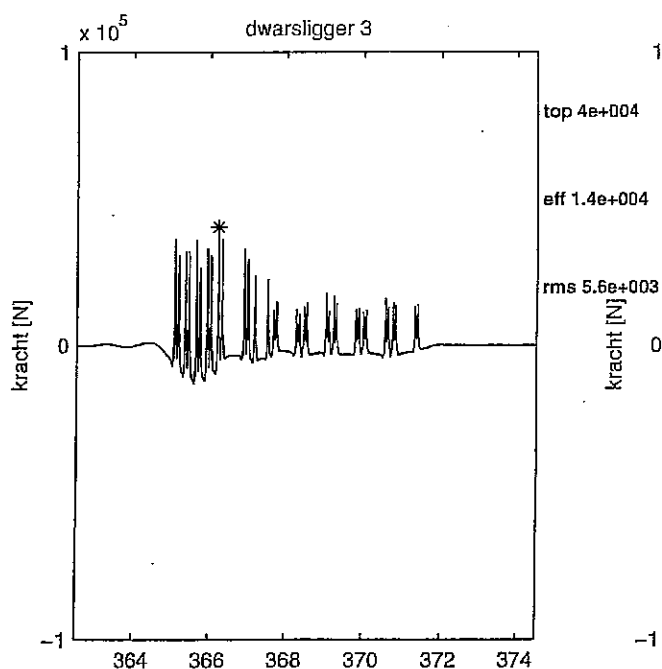
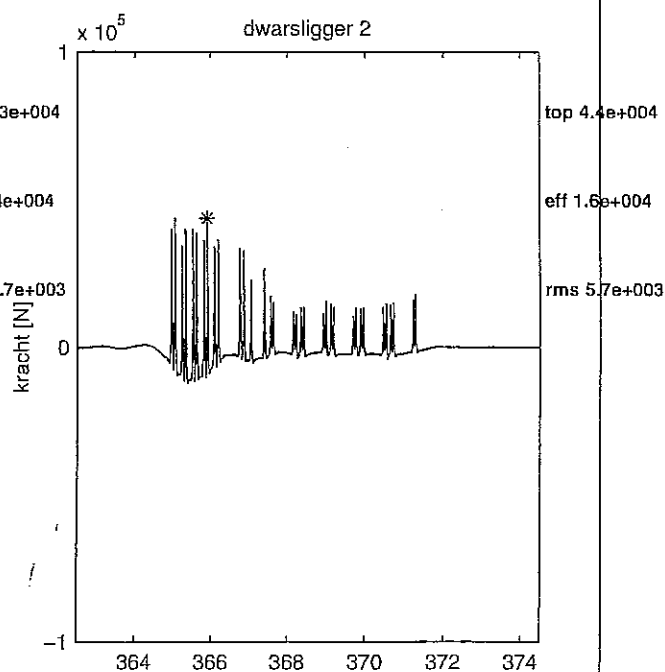
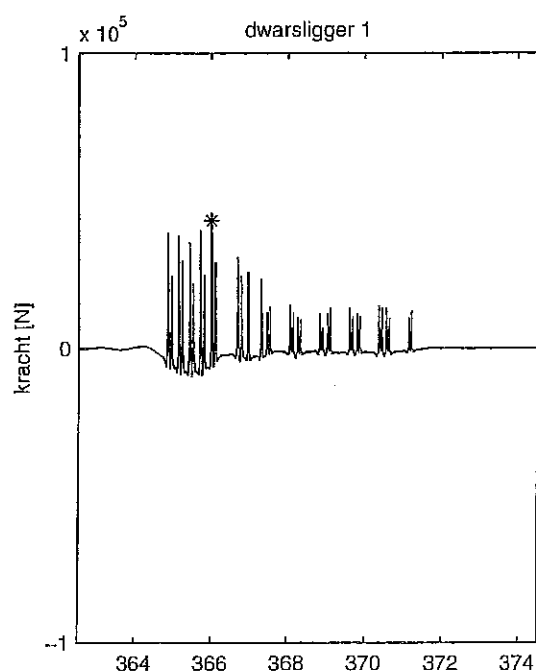
filenummer(s): 2

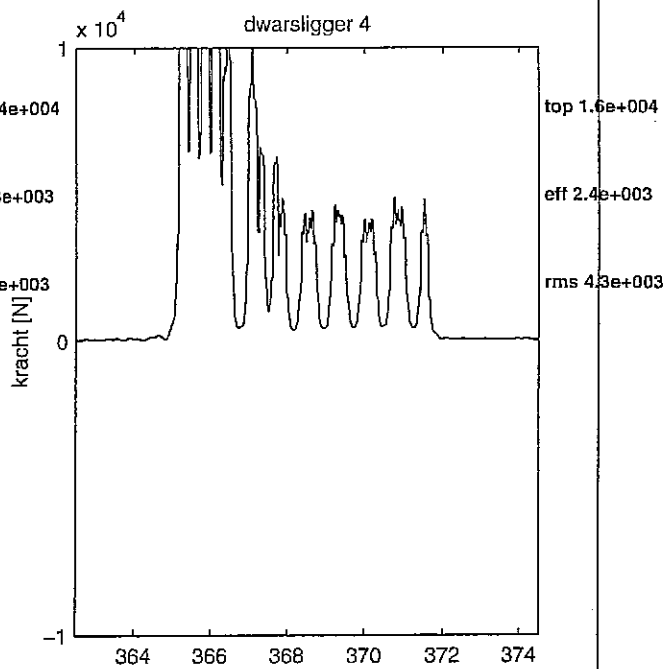
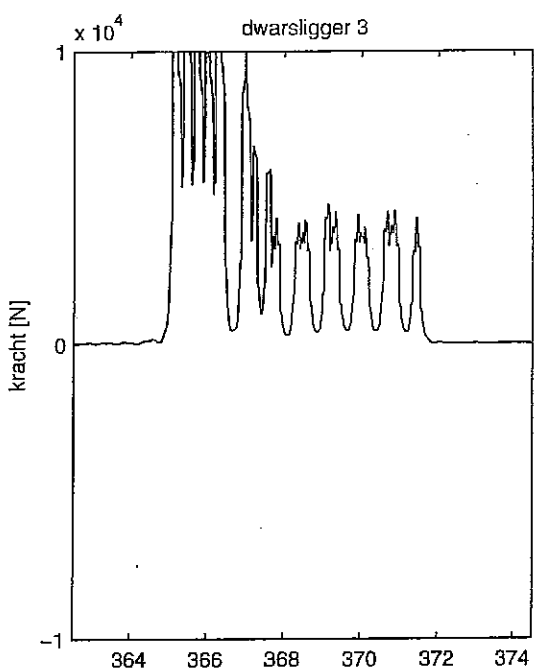
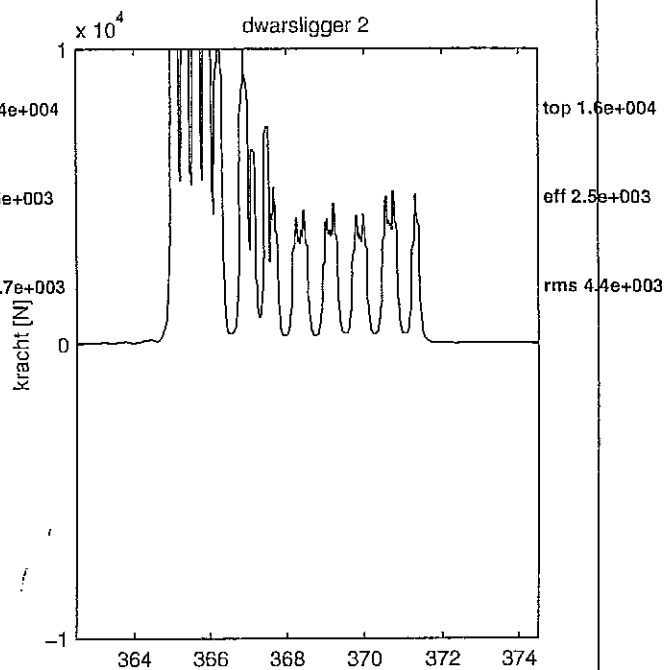
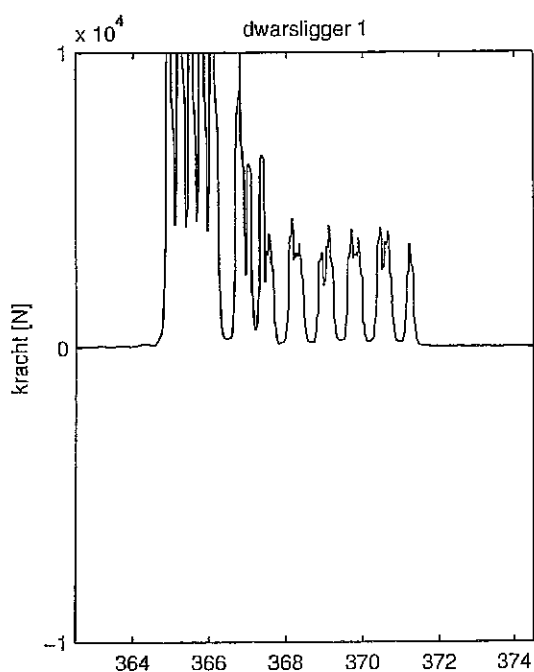


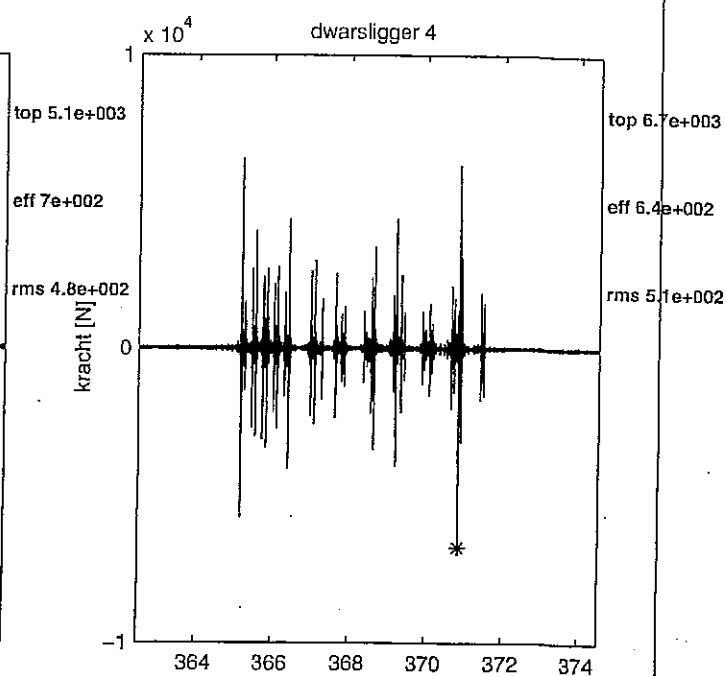
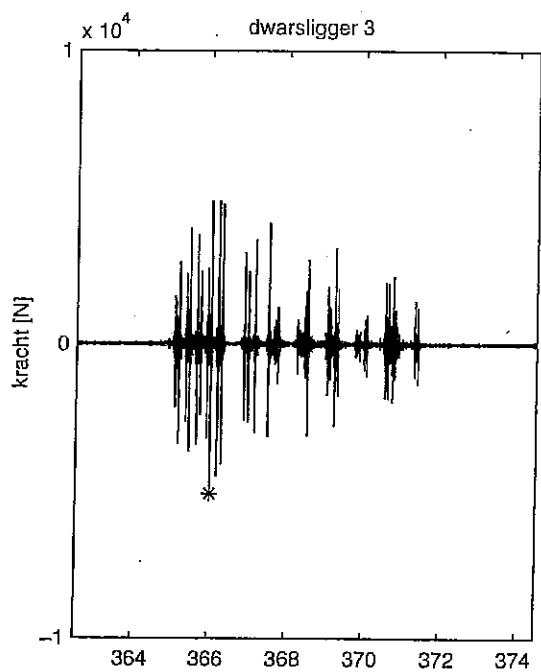
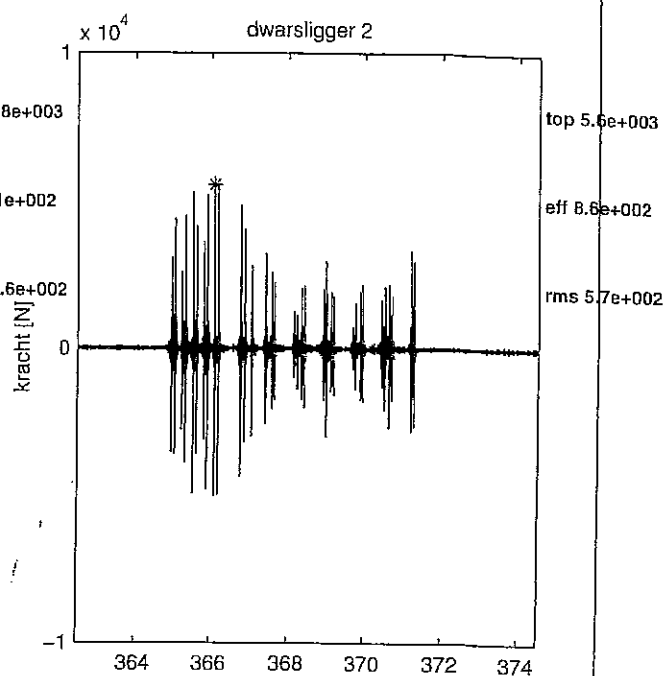
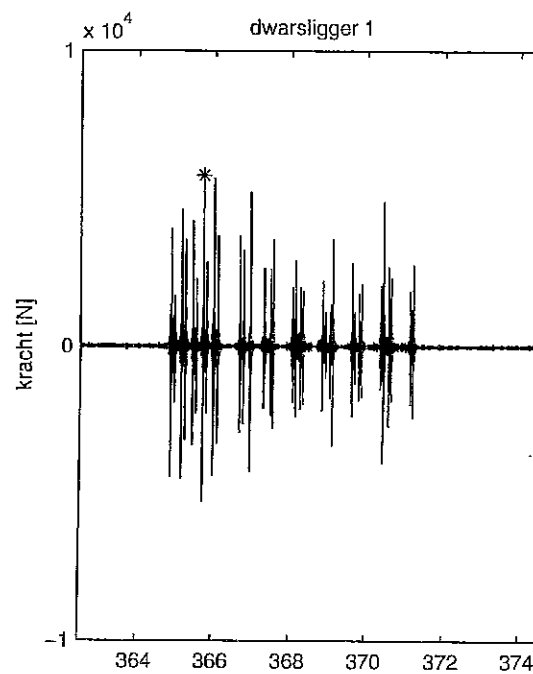
TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: versnellingen [m/s²] Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007 Kommentaar: tunnel filenummer(s): 2
---	--

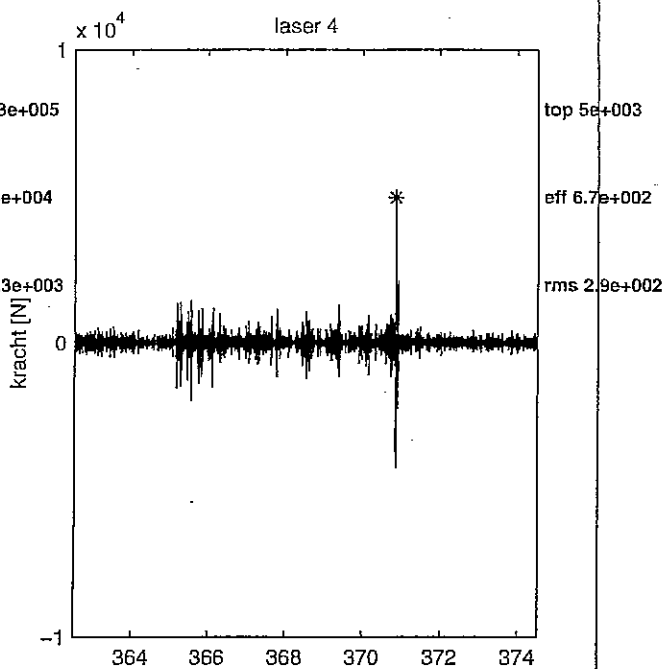
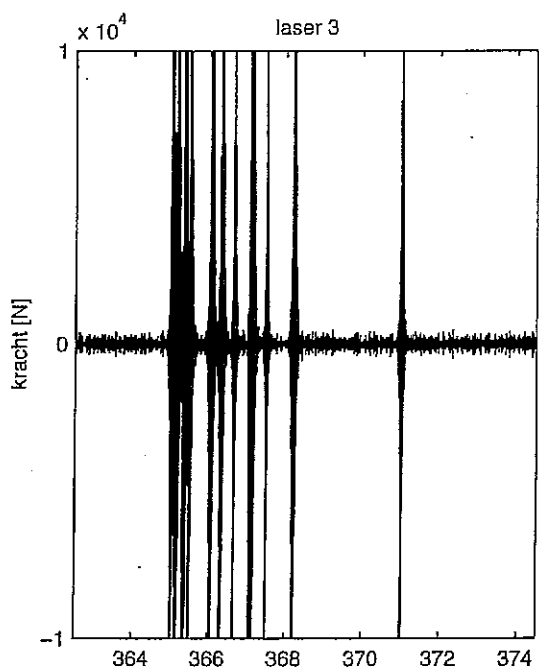
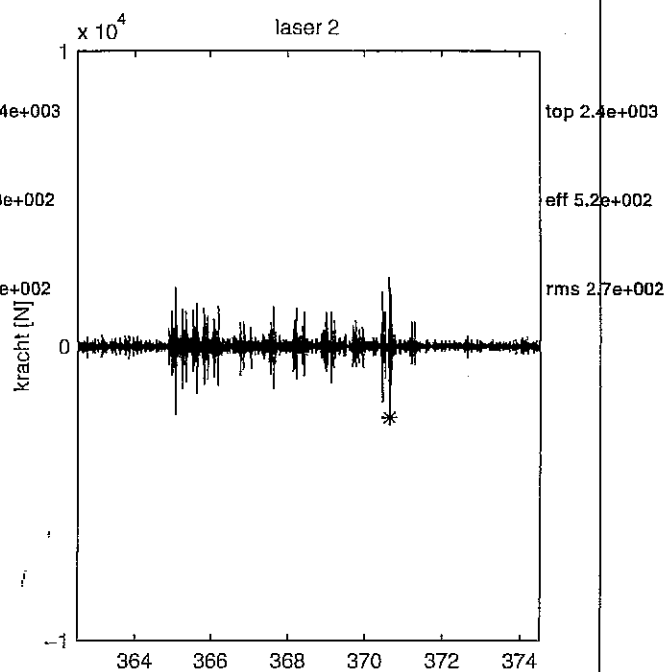
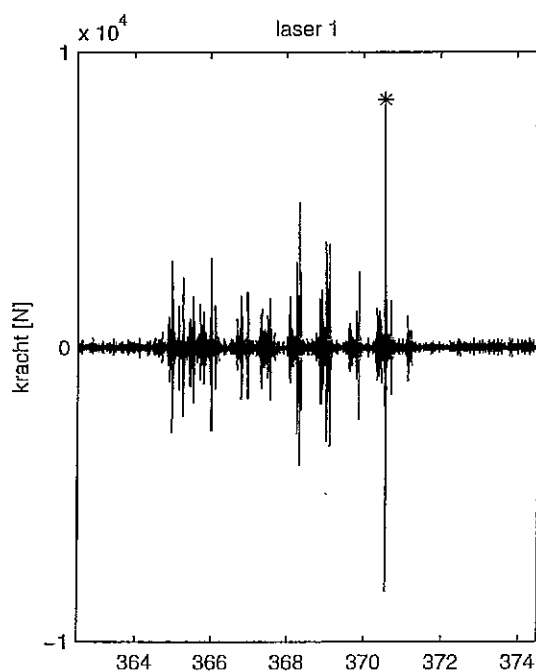


TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: kracht [N] Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007
	Kommentaar: tunnel filenummer(s): 2









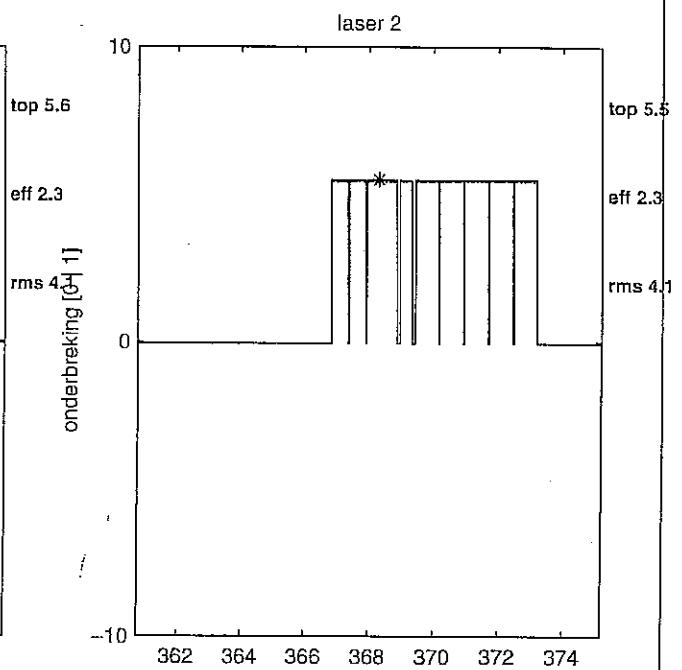
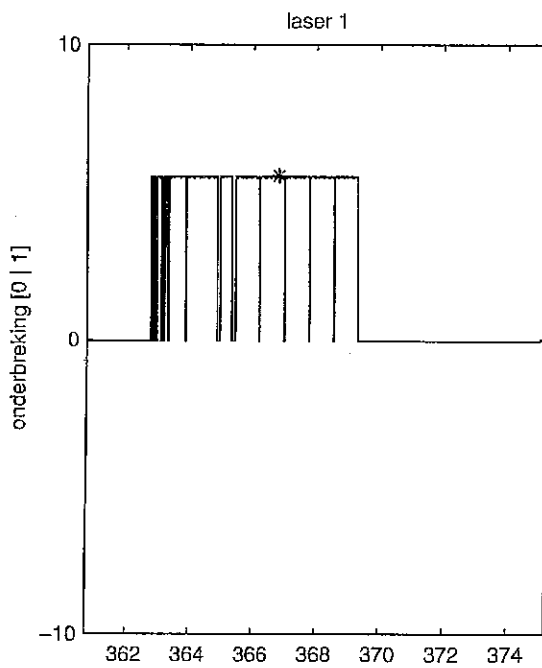
TNO Bouw

Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

Onderwerp: kracht [N]
Project: Volgerlanden
Proj.nr.: 034.67254/01.01
Datum: 16 januari 2007

Kommentaar: fundaties
treinlengte: 160 m, snelheid: 90 km/uur
filenummer(s): 2



TNO Bouw

Civiele Infrastructuur

postbus 49
2600 AA Delft

Onderwerp: effectieve snelheid [-]

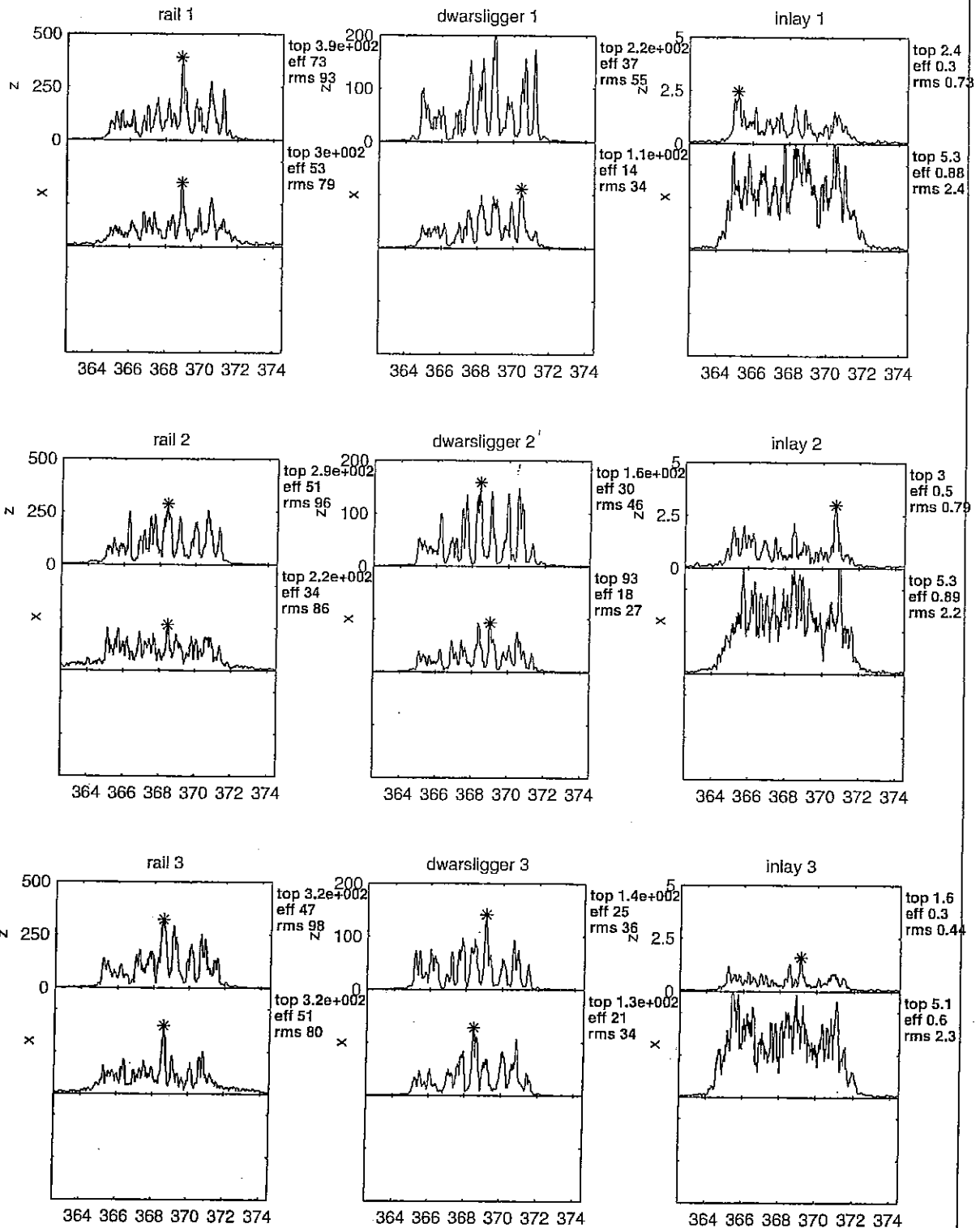
Project: Volgerlanden

Proj.nr.: 034.67254/01.01

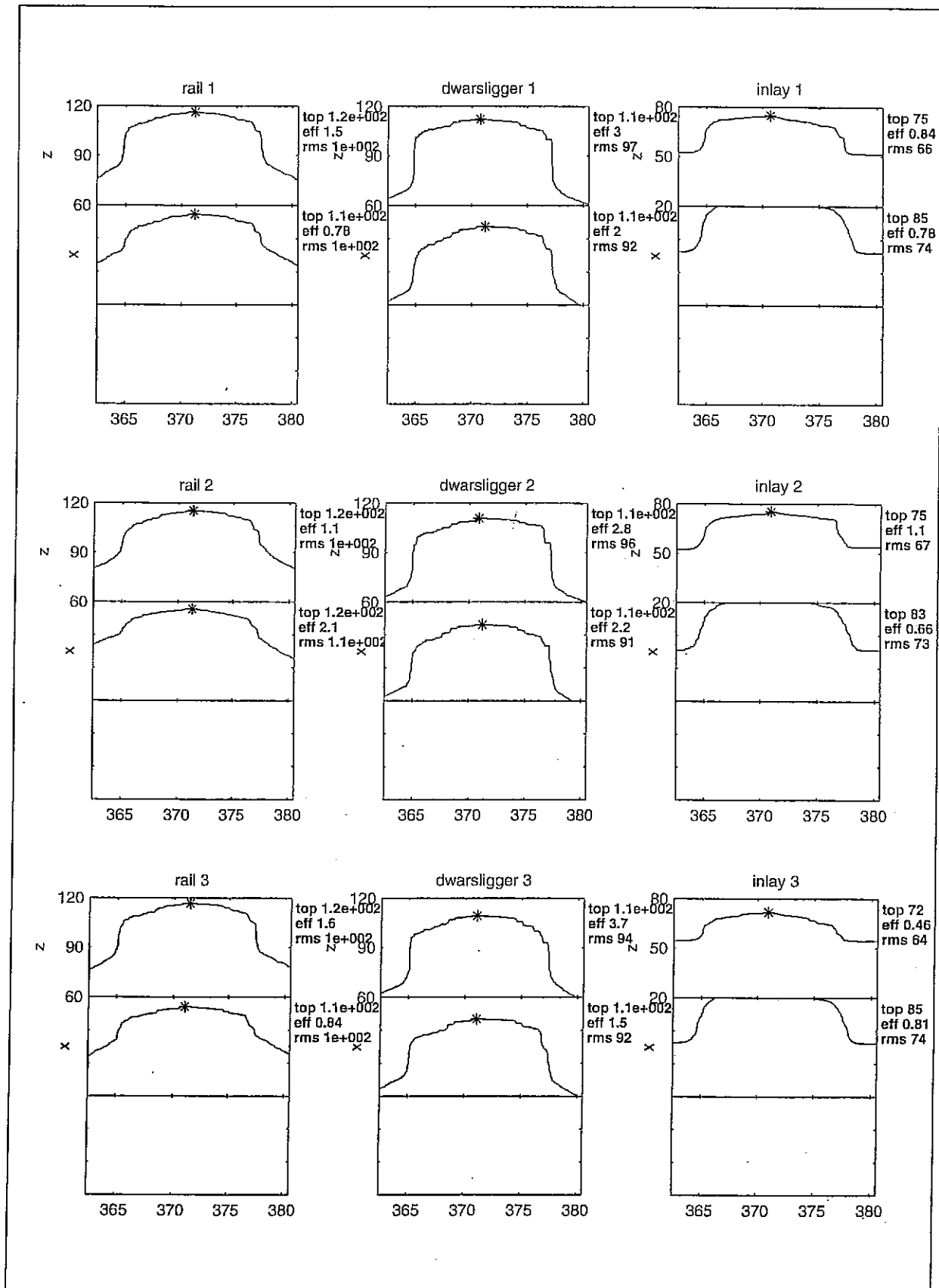
Datum: 16 januari 2007

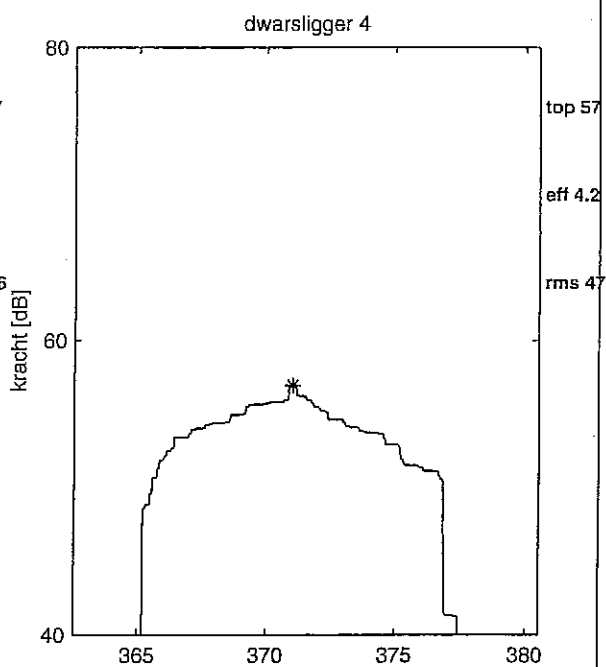
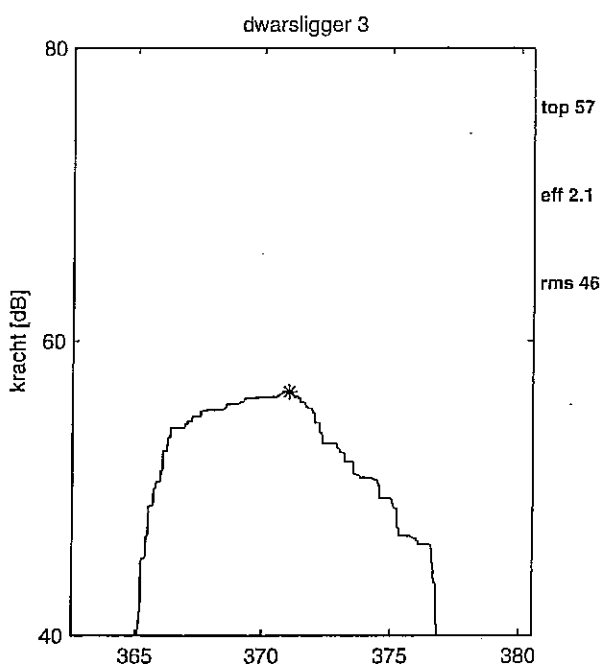
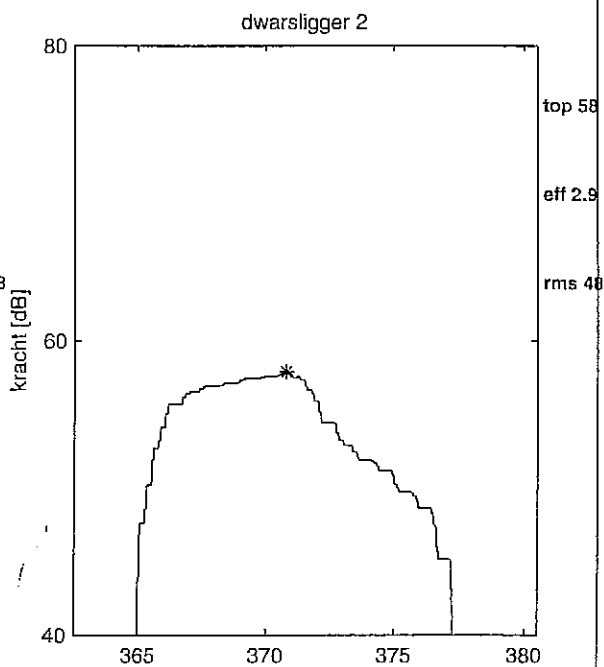
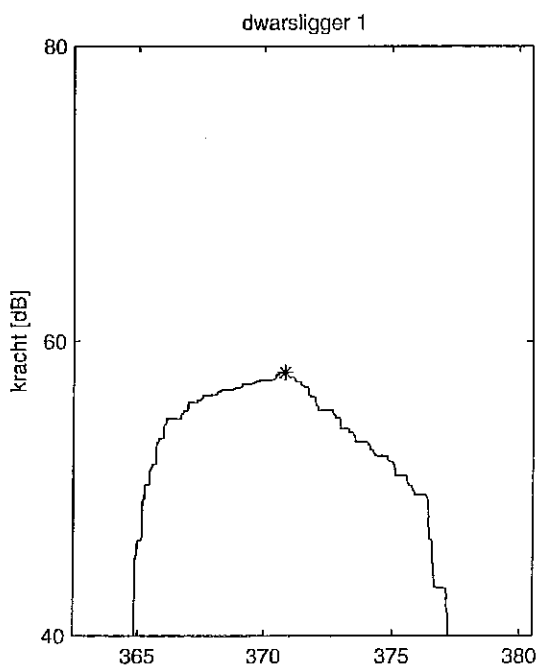
Kommentaar: tunnel

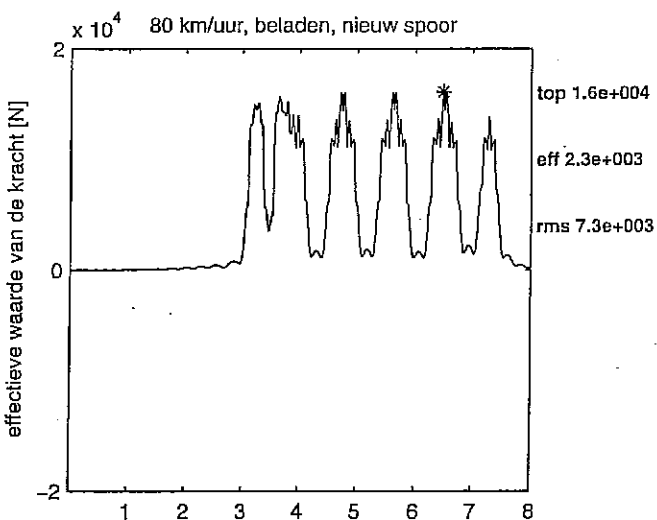
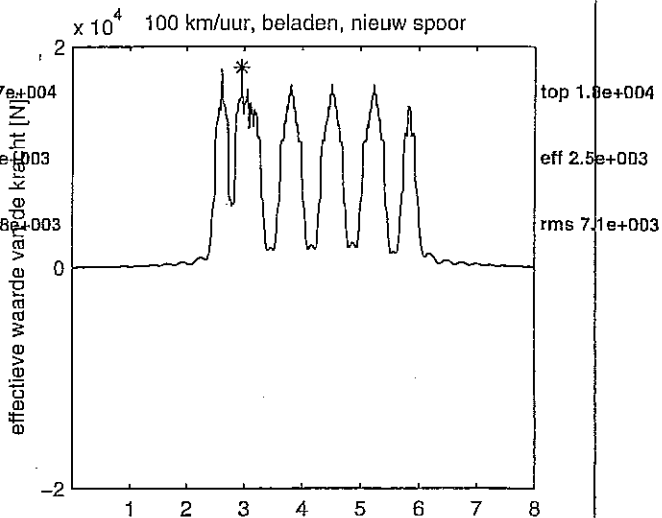
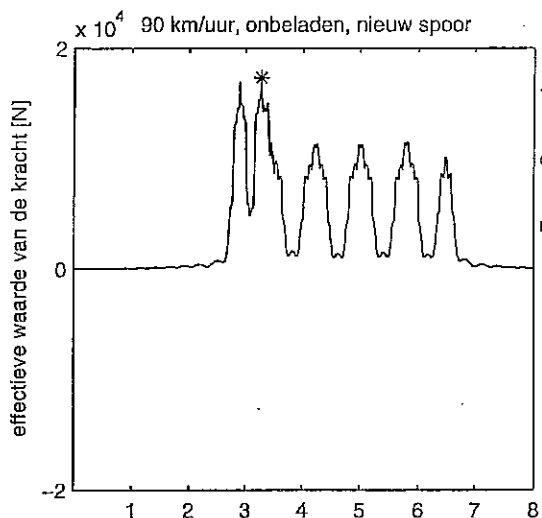
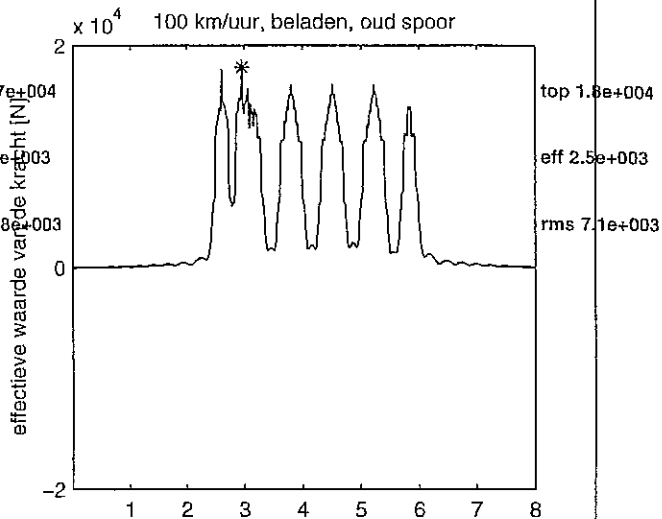
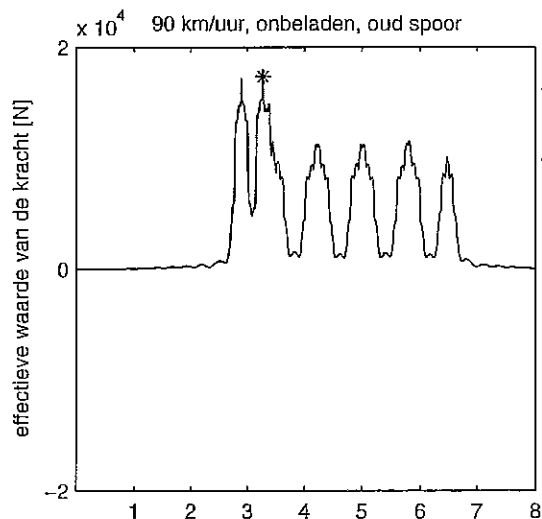
filenummer(s): 2

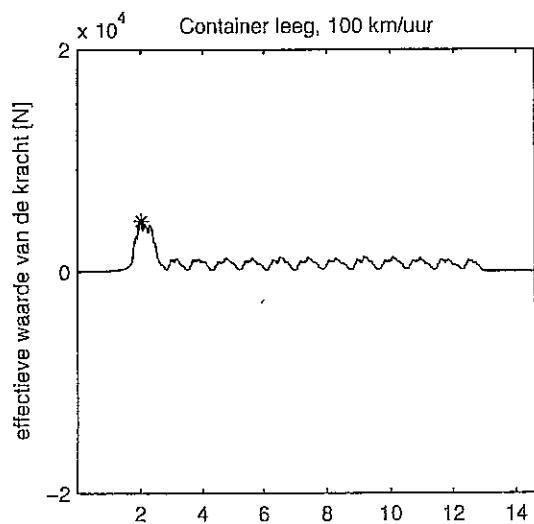
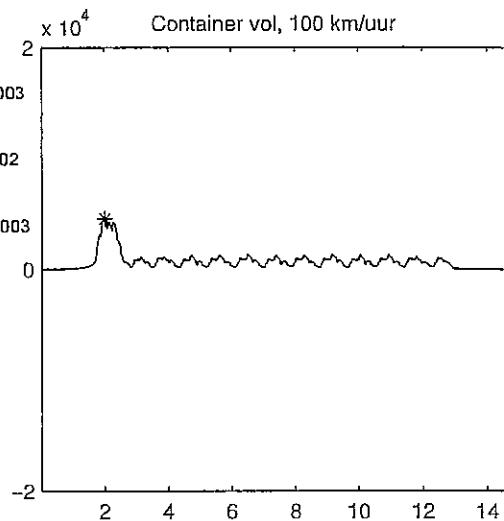
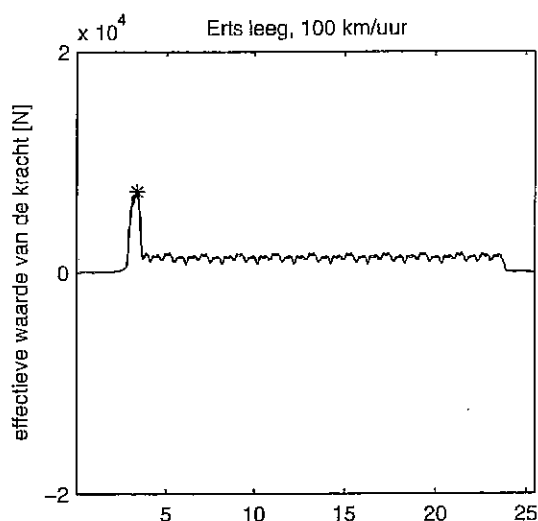
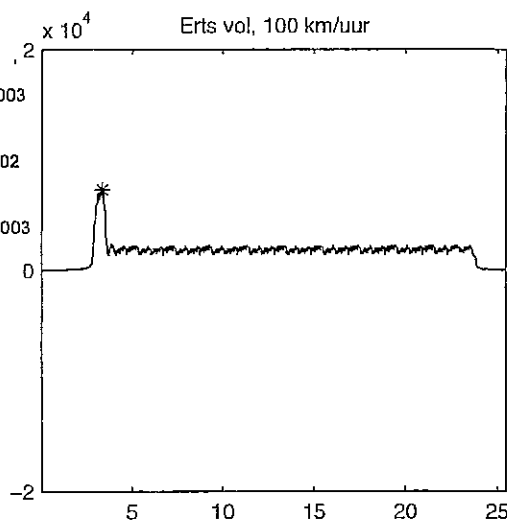
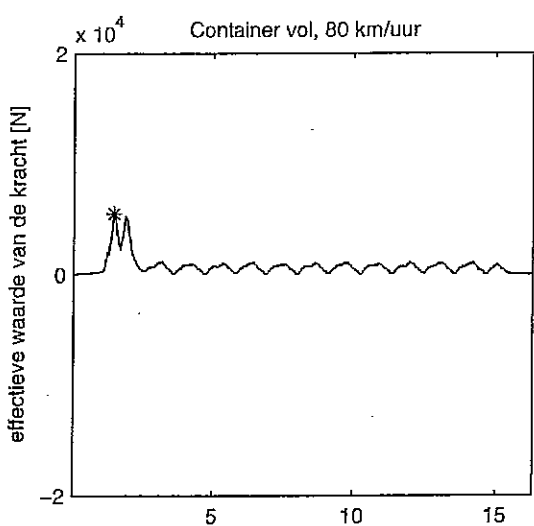
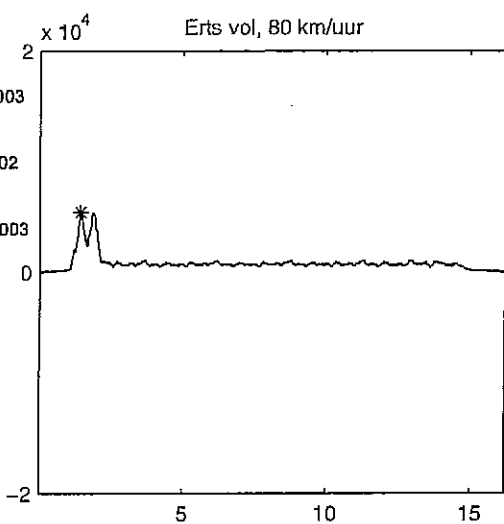


TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: Lv [dB, ref. 5E-8 m/s], 63 Hz octaafband Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007
	Kommentaar: tunnel Leq over 6 seconden filenummer(s): 2







top $4.5e+003$
eff $4.6e+002$
rms $1.1e+003$ top $4.5e+003$
eff $4.6e+002$
rms $1.1e+003$ top $7.3e+003$
eff $6.6e+002$
rms $1.7e+003$ top $7.3e+003$
eff $6.4e+002$
rms $2e+003$ top $5.5e+003$
eff $7.5e+002$
rms $1.2e+003$ top $5.4e+003$
eff $7.2e+002$
rms $1.2e+003$

TNO Bouw Civiele Infrastructuur postbus 49 2600 AA Delft	Onderwerp: kracht [N] in 63 Hz octaafband Project: Volgerlanden Proj.nr.: 034.67254/01.01 Datum: 16 januari 2007 Kommentaar: TRINT model E1600 + platte wagens 80, 90 en 100 km/uur filenummer(s): 1 2 3 4 5
---	--

