

Demonstratiedag Akoestische Paalmetingen Stress Wave Conferentie 2022

Opstelling en resultaten



Demonstratiedag Akoestische Paalmetingen Stress Wave Conferentie 2022
Opstelling en resultaten

Auteur(s)

Paul Holscher

Yaro Linnemann

Partners

Allnamics

Van 't Hek

Demonstratiedag Akoestische Paalmetingen Stress Wave Conferentie 2022

Opstelling en resultaten

Opdrachtgever	TKI Deltatechnologie p/a Vereniging van Waterbouwers
Contactpersoon	Paul Holscher
Referenties	TKI project DEL 161 Verbeteren kwaliteitsbeoordeling inde grondgevormde palen (iQuiSP)
Trefwoorden	kwaliteitscontrole, prefab palen, in de grond gevormde palen, veldonderzoek, looptijdmeting

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	14-01-2026
Projectnummer	11209349-000
Document ID	11209349-000-GEO-0003
Pagina's	28
Classificatie	
Status	Definitief

Auteur(s)

	Paul Holscher	
	Yaro Linneman	

Samenvatting

Tijdens de 11^{de} Stress Wave conferentie (SW22) is onderzoek gedaan naar de kwaliteit van het akoestisch doormeten van palen. Deze techniek wordt veel gebruikt om de kwaliteit van funderingspalen na installatie te controleren. Bij geconstateerde afwijkingen ontstaat er echter vaak discussie over de meetmethode en de interpretatie van de resultaten. Reden voor de SW22-organisatie om nader onderzoek naar de kwaliteit en betrouwbaarheid van deze methode te faciliteren.

Voor dit onderzoek is een proefveld ingericht. Deze bestond uit twee palenvelden met elk tien palen: tien geprefabriceerde palen die heidend zijn geïnstalleerd, en tien in de grond gevormde avegaarpalen. Van elk palenveld zijn negen palen gebruikt voor het onderzoek naar de kwaliteit van akoestische metingen en is één paal gebruikt voor een proefbelasting om het statische draagvermogen te bepalen.

Dit rapport beschrijft de overwegingen en acties bij het opzetten van het onderzoek, de voorbereidende werkzaamheden en opbouw van de twee palenvelden en verschillende waarnemingen in het veld. Ook wordt de link gelegd met de bijbehorende dataset waarin de meetdata en originele verwerking te vinden is. De daadwerkelijke uitwerking van de resultaten van de metingen op de twee palenvelden is te vinden in de rapporten 11209349-000-GEO-0004 en 11209349-000-GEO-0005.

Table of contents

	Samenvatting	4
1	Introductie	6
1.1	Algemeen	6
1.2	Opstelling van de palen en sonderingen	6
2	Karakterisering van de prefab palen	8
2.1	Paaldimensies	8
2.2	Meting van golfsnelheid voor het heien	8
2.2.1	Uitvoering en interpretatie	8
2.2.2	Resultaten: enkele signalen en aspecten	9
2.2.3	Resultaten in tabellen	11
3	Veld data van prefab palen (D-1)	13
3.1	Testopstelling	13
3.1.1	Informatie over heien	13
3.1.2	Locaties van de palen	15
3.2	Interpretatie	15
4	Velddata voor CFA palen (D-2)	17
4.1	Testopstelling	17
4.2	Additional informatie ten behoeve van de verloren opnemer	17
4.2.1	Opstelling	17
4.2.2	Analyse	17
4.3	De daadwerkelijke staat van de palen	18
4.4	Interpretatie	18
	Referenties	19
A	Coördinaten van de sonderingen (paallocaties)	20
B	Opmerkingen van de opzichter	21
B.1	Prefab palen	21
C	Foto's van labels	22
C.1	Palen 5 en 6	22
C.2	Palen 1 en 2	24
D	Resultaten correlatie studie diepe opnemers	26

1 Introductie

1.1 Algemeen

In de grond gevormde palen worden in bebouwde omgeving steeds vaker toegepast. De kwaliteit van deze palen kan sterk worden beïnvloed door de lokale grondomstandigheden. Het maken van deze palen vereist veel vakmanschap, waarbij verschillende parameters tijdens het productieproces worden gemonitord. Toch blijft er vaak behoefte aan een controle achteraf, waarvoor momenteel het akoestisch doormeten van de palen de meest aantrekkelijke techniek blijkt.

Hoewel deze techniek vaak wordt toegepast en er veel ervaring mee is, leidt het resultaat van de meting regelmatig tot discussies over de kwaliteit van akoestische metingen. Om dergelijke discussie te beperken is een beter inzicht in de werkelijke kwaliteit van de meting wenselijk.

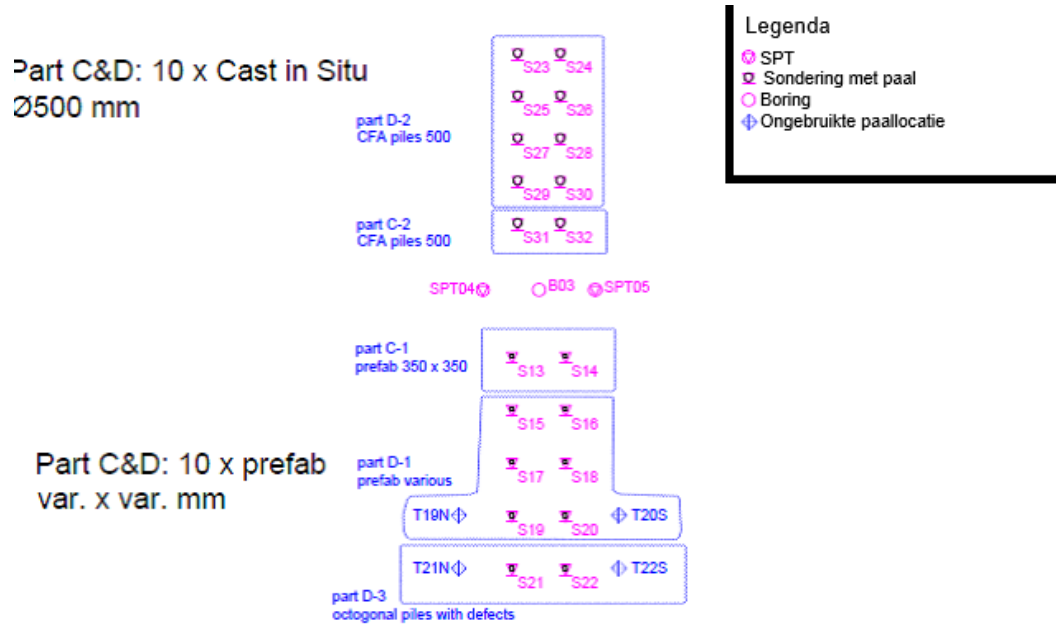
Tijdens de demonstratiedag van de Stress Wave 2022 conferentie in Rotterdam heeft het consortium van Van 't Hek, Allnamics en Deltares op de Maasvlakte een proefveld ingericht dat tot doel heeft bij te dragen aan het inzicht van de kwaliteit van akoestische metingen. Het proefveld bestond uit twee delen: (1) tien prefab palen met verschillende dikte en lengte en (2) tien in de grond gevormde palen waarbij bewust de uitvoering is gevarieerd, zodat er mogelijk verschillende afwijkingen of defecten in deze palen zijn ontstaan.

Dit rapport bevat een verzameling van informatie over de opstelling, uitvoering en overige informatie van de demonstratiedag op de Stress Wave conferentie 2022. Dit rapport bestaat uit drie delen: de bepaling van de golfsnelheid in de prefab palen, de velddata van de prefab palen en de velddata van de in de grond gevormde palen. Het onderzoek naar de resultaten van de prefab palen wordt beschreven in rapport 11209349-000-GEO-0004. Het onderzoek naar de resultaten van de in de grond gevormde palen wordt beschreven in rapport 11209349-000-GEO-0005.

Deze activiteit is mede gefinancierd door TKI Deltatechnologie uit de PPS-innovatie programmasubsidie van het Ministerie van Economische Zaken.

1.2 Opstelling van de palen en sonderingen

Figuur 1.1 toont de inrichting van het testveld met de locaties van de palen, sonderingen en booronderzoeken. De punten die aangegeven staan met een "T" zijn niet gebruikt. Deze punten waren bedoeld voor de plaatsing van achthoekige palen. Het was echter niet mogelijk om deze palen tijdig voor de conferentie vanuit Delft te vervoeren. In de plaats hiervan zijn twee additionele palen besteld en ontvangen. Uiteindelijk zijn enkel de locaties die met een "S" aangegeven staan gebruikt voor dit onderzoek naar akoestische paalmetingen, met uitzondering van locaties S32 en S14. De palen op deze twee locaties waren op de testdag niet bereikbaar doordat hier een StatRapid-apparaat (apparaat voor snelle paaltesten) boven stond waar niet veilig onder gewerkt kon worden.



Figuur 1.1 Opstelling van het testveld voor de demodag.

Op elke locatie waar een paal is voorzien is een sondering uitgevoerd door één van de volgende bedrijven: Fugro, Van der Straaten Geotechniek of Ingenieursbureau Rotterdam. De resultaten zijn in het gangbare GEF-formaat geleverd en beschikbaar in de publiektoegankelijke database DINOloket. Appendix 4.4A bevat een overzicht van de paallocaties uitgedrukt in RD-coördinaten.

2 Karakterisering van de prefab palen

Voor het veld met prefab palen is gebruik gemaakt van beschikbare prefab palen. Het betreft meestal restant- en reservepalen die al enige tijd in het magazijn van de leverancier hebben gelegen. Er is gestreefd naar gangbare palen met verschillende dikte en lengte.

Het basisidee was dat het doormeten van prefab palen een beeld geeft van de maximaal haalbare betrouwbaarheid van een meting, aangezien de paaldiameter en de betonkwaliteit constant zijn over de gehele paallengte.

De in dit hoofdstuk beschreven metingen zijn uitgevoerd door de firma Grondgrip. Het betreft het deel van de metingen dat uitgevoerd is voordat de palen in de grond geheid zijn.

2.1 Paaldimensies

Tabel 2.1 toont de data die gegenereerd is tijdens het doormeten alvorens de installatie van de palen. De lengte van de palen is op twee manieren bepaald: met een meetlint en met een optische methode, er is ook een gemiddelde van deze twee waarden berekend. In elk van deze gevallen lagen de gemeten waarden voor beide methodes binnen 10 cm van de bestelde lengte. Het maximale verschil tussen de twee meetmethodes is wel groter, bij paal 5 bedraagt dit 14 cm. Bij 9 van de 10 palen gaf de optische meetmethode een grotere lengte aan dan het meetlint, met als enige uitzondering paal 7.

Het certificaat van paal 8 was vrijwel onleesbaar, en het certificaat van paal 11 was volledig verloren.

Tabel 2.1 Data van de palen voor installatie, palen 1 & 2 komen van Pit Beton Heipalenfabriek en palen 3-10 van Voton. De paal met een () was besteld als 10,75 m en bezorgd als 10,50 m. Zie tevens appendix A.*

Paal	Paal ID	Diameter	Besteld	Datum	Meetlint	Optisch	Gemiddeld
1	000005230601	0,35	17,50	27-7-2022	17,42	17,43	17,43
2	000005230602	0,35	17,50	27-7-2022	17,47	17,57	17,52
3	1201281	0,38	15,25	25-08-2021	15,20	15,30	15,25
4	1200521	0,32	17,75	17-11-2020	17,67	17,70	17,68
5	1201281	0,38	17,50	26-08-2021	17,42	17,56	17,49
6	1201281	0,38	17,50	26-08-2021	17,43	17,50	17,47
7	1201216	0,35	12,00	15-10-2021	12,10	12,08	12,09
8	17058 ?	0,32	12,00	?	11,95	11,98	11,97
9	?	0,35 (*)	10,50 (*)	?	10,45	10,50	10,48
10	1201181	0,32	8,50	13-10-2020	8,43	8,45	8,44

2.2 Meting van golfsnelheid voor het heien

2.2.1 Uitvoering en interpretatie

Voorafgaand aan het heien is voor elke paal de golfsnelheid bepaald met behulp van twee geofoons aan beiden uiteinden van de paal. De palen lagen horizontaal. Aan één van de uiteindes is een dynamische belasting uitgeoefend met behulp van een hamer, voor elke paal zijn meerdere metingen uitgevoerd om de spreiding van de resultaten te kunnen bepalen.

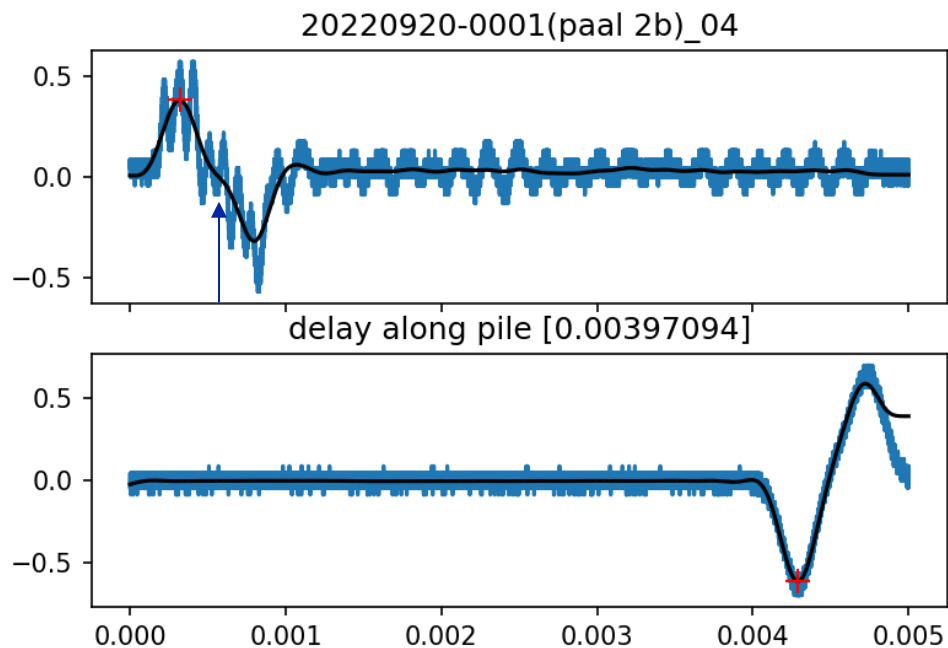
De data zijn origineel aangeleverd in csv-bestanden waarbij de komma gebruikt is voor zowel de decimalen als de afbakening tussen kolommen, deze bestanden zijn daarom herschreven naar csv-bestanden waarin de puntkomma de kolommen afbakt en de punt gebruikt wordt voor decimalen.

De signalen zijn daarna gefilterd met behulp van een tweetal Butterworth low-pass filters met een orde 5, het gebruik van deze combinatie leidt tot een filter met orde 10 dat vrijwel geen faseverschil veroorzaakt. Dit is gedaan om elektronische ruis en fysieke trillingen van het signaal aan de paalkop weg te filteren. De cutoff-frequentie is gekozen op 3500 Hz. Voor de signalen van beide gefoons is de eerste piek gezocht, voor de paalkop is dit het punt waarop de deflectie maximaal is in de positieve richting en voor de paalpunt is dit het punt waarop de deflectie maximaal is in de negatieve richting. Het verschil tussen tijd waarop de pieken in de twee signalen voorkomen is tevens opgeslagen in een csv-bestand. Tot slot zijn de signalen visueel geïnspecteerd. Signalen die betrouwbaar zijn geacht, zijn geaccepteerd voor de dataverwerking. De signalen moeten voldoen aan de volgende voorwaarden:

- Beide signalen moeten een enkele piek hebben die duidelijk zichtbaar is.
- De piek moet scherp zijn, het moment waarop deze voorkomt is goed gedefinieerd.
- Het totale signaal moet min of meer de vorm hebben van een enkele sinus.
- De reflectie aan de paalpunt is duidelijk een gevolg van het signaal aan de paalkop.

2.2.2 Resultaten: enkele signalen en aspecten

In deze paragraaf worden enkele signalen geïnspecteerd aan de hand van de bovenstaande methodiek. Figuur 2.1 toont een voorbeeld van de resultaten van deze procedure op een lange paal. Hierbij is in het blauw het originele signaal aangegeven, en in het zwart het gefilterde signaal. De waardes die als pieken aangewezen worden zijn aangegeven met een rood kruis.



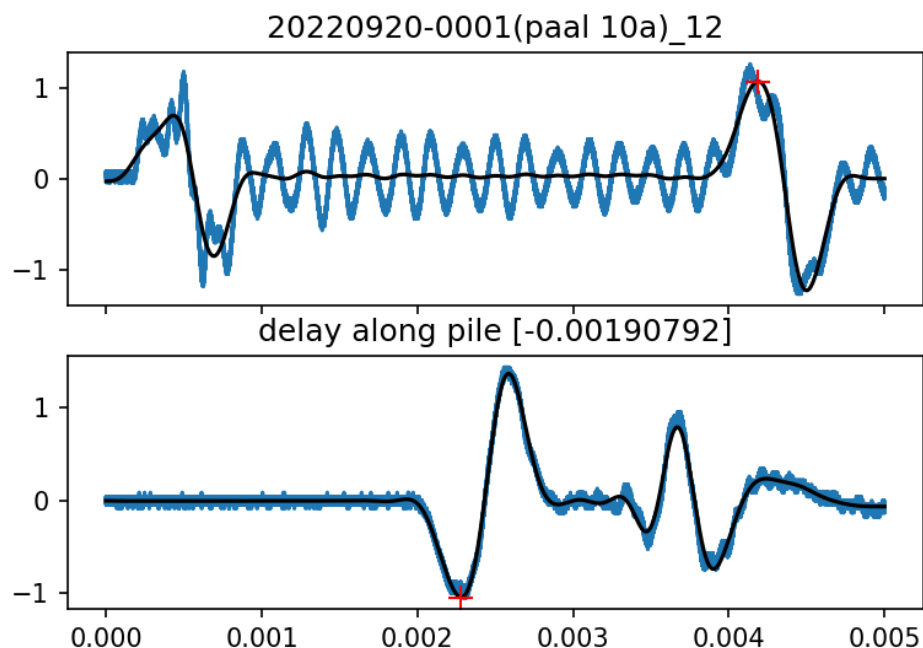
Figuur 2.1 Voorbeeldmeting van een lange paal, in dit geval paal 2.

Enige opmerkingen:

- De signalen aan de kop en punt tonen omgekeerd gedrag, het is aangenomen dat beide (identieke) meters geïnstalleerd zijn met de as van de meter in de richting van de paal.
- Het gedeelte van het meetsignaal voordat de golf aankomt bij de paalpunt toont de elektronische ruis in de opstelling.
- In het signaal van de paalkop is een hoogfrequente component te zien die het bepalen van de piekwaarde lastig maakt. Dit wordt grotendeels opgelost door het filter en is daardoor slechts een kleine bron van onnauwkeurigheid.
- De reflectie komt tegen het einde van het meetsignaal aan door een te korte meetinterval, wat het filterproces bemoeilijkt. Het lijkt echter geen invloed te hebben op de gekozen piek aan de paalpunt.
- Rond $t = 0,0006\text{s}$ is een kleine trilling met een andere frequentie zichtbaar. Deze staat aangegeven met een verticale pijl en is zichtbaar door de kleine afwijking van de sinusvorm. In sommige metingen is deze vibratie sterker en niet zichtbaar aan de paalpunt. Dit kan een reden zijn om de meting af te keuren.

Het toegepaste filter heeft vrijwel geen fase, en aangezien beide signalen tevens met hetzelfde filter gefilterd zijn is het redelijk om aan te nemen dat enige faseverschuiving voor beide signalen gelijk is. Het zal daarom slechts een minimale invloed hebben op de bepaalde golfsnelheid.

Figuur 2.2 toont een voorbeeldmeting van een korte paal. De golf komt hierbij veel eerder aan bij de paalpunt en komt tevens terug bij de paalkop voor het einde van de meetduur. Aangezien de demping van de golven gering is en de gereflecteerde golf een dubbele amplitude heeft is deze vaak groter dan de originele piek. Dit compliceert het bepalen van de juiste piek die bij de oorspronkelijke klap hoort. Dit probleem wordt opgelost door het zoekgebied van de paalkop te beperken tot de tijd tussen het begin van de metingen en het moment waarop de golf aankomt bij de paalpunt. Er kan in principe gerekend worden met zowel de heengaande als de teruggaande golf, een evaluatie toont aan dat het afleiden van de golfsnelheid op basis van de gereflecteerde golf vergelijkbare resultaten geeft, in 2.2.3 wordt dit verder beschreven.



Figuur 2.2 Voorbeeldmeting van een korte paal, in dit geval paal 10.

2.2.3 Resultaten in tabellen

De bovenstaande interpretatie is uitgevoerd voor alle palen. In deze paragraaf worden de resultaten hiervan beschreven. Tabel 2.2 toont per paal de gemiddelde reistijd van de golf. Voor palen 9 en 10 (kortere palen) zijn de resultaten een combinatie van de neer- en opwaartse golven, Tabel 2.3 en Tabel 2.4 beschrijven dit in meer detail.

Tabel 2.2 Gemiddelde reistijd van de golf voor de verscheidene palen.

Paal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gemiddeld [ms]	3,960	4,012	3,448	4,028	3,939	3,971	2,854	2,585	2,297	1,919
Standaarddeviatie[ms]	0,072	0,033	0,041	0,083	0,055	0,061	0,060	0,057	0,073	0,020
Aantal metingen [-]	32	56	47	51	59	52	60	53	49	67
Variatiecoëfficiënt [-]	0,018	0,008	0,012	0,020	0,014	0,015	0,021	0,022	0,032	0,011

Tabel 2.3 toont voor paal 9 de resultaten voor de opwaartse golf, de neerwaartse golf en het gebruik van beide golven. In dit geval heeft de opwaartse golf een kleinere variatiecoëfficiënt en dus een hogere precisie.

Tabel 2.3 Overzicht opwaartse en neerwaartse golven voor paal 9.

	Neerwaarts	Opwaarts	Beide
Gemiddeld [ms]	2,297	2,193	2,260
Standaarddeviatie[ms]	0,073	0,026	0,078
Aantal metingen [-]	49	27	76
Variatiecoëfficiënt [-]	0,032	0,012	0,035

Tabel 2.4 toont voor paal 10 de resultaten voor de opwaartse golf, de neerwaartse golf en de resultaten wanneer alleen de neerwaartse golf gebruikt wordt zelfs wanneer de opwaartse golf beschikbaar is.

Tabel 2.4 Overzicht opwaartse en neerwaartse golven voor paal 10.

	Neerwaarts	Opwaarts	Alleen neerwaarts
Gemiddeld [ms]	1,944	1,915	1,916
Standaarddeviatie[ms]	0,016	0,018	0,062
Aantal [-]	9	58	67
Variatiecoëfficiënt [-]	0,008	0,009	0,032

Het verschil in de reistijd van de golf tussen de twee methodes is 4,6% voor paal 9 en 1,5% voor paal 10. Hieronder wordt via een statistische toets getoond dat de verschillen tussen de twee methodes significant zijn.

Test voor paal 9 $H_0: \mu = 0$ vs $H_1: \mu \neq 0$ with 5%:

- $\mu = 0,104$.
- $s = 0,0608$.
- $t = 7,14$ thus reject H_0 .

Test voor paal 10 $H_0: \mu = 0$ vs $H_1: \mu \neq 0$ with 5%:

- $\mu = 0,029$.
- $s = 0,0178$.
- $t = 4,55$ thus reject H_0 .

Tabel 2.5 toont de golfsnelheid die per paal afgeleid is aan de hand van de gemiddelde tijd en de gemiddelde gemeten lengte [3].

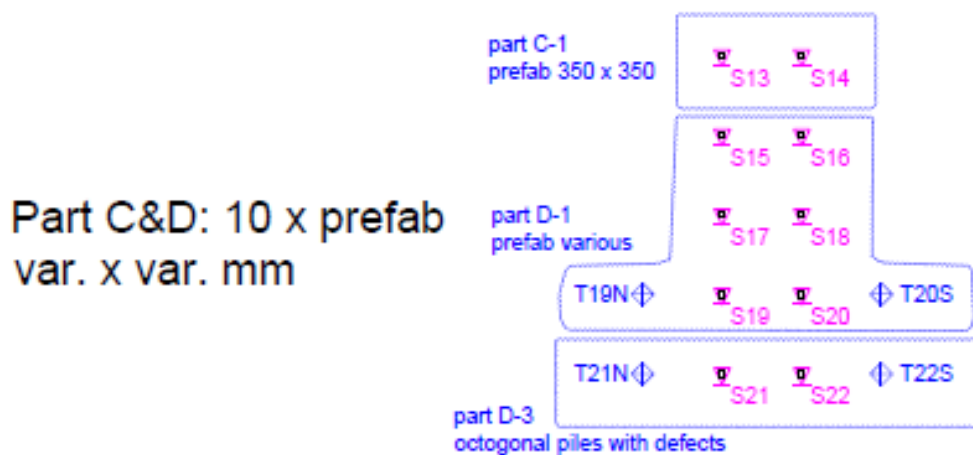
Tabel 2.5 Afleiding golfsnelheid per paal.

Paal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gemiddelde tijd [ms]	3,960	4,012	3,448	4,028	3,939	3,971	2,854	2,585	2,297	1,919
Lengte [m]	17,43	17,52	15,25	17,68	17,49	17,47	12,09	11,97	10,48	8,44
Golfsnelheid [m/s]	4402	4367	4423	4389	4440	4399	4236	4631	4562	4398

3 Veld data van prefab palen (D-1)

3.1 Testopstelling

Figuur 3.1 toont de testopstelling van het palenveld prefab palen, hierbij zijn alleen de palen die aangegeven staan met een S aangebracht. De palen aangeduid met een T zijn uiteindelijk niet aangebracht. Paal S14 was tijdens de demonstratiedag niet toegankelijk voor doormeten door de participanten. De onderlinge afstand tussen de palen is circa 5 meter.



Figuur 3.1 Lay-out van het palenveld prefab palen.

3.1.1 Informatie over heien

De palen zijn op 2 september 2022 geheid [2] met een Junttan hamer met een gewicht van 7 ton. Er is geheid van kleine naar grote afmetingen, om het aantal veranderingen aan de heiparaatuur te beperken. Tabel 3.1 toont de positie van de verscheidene palen volgens [2].

Tabel 3.1 De positie van de verscheidene palen volgens [2].

CPT	Hei- volgorde	Datum productie	Afmeting [mm]	Puntniveau [m t.o.v. NAP]	Lengte [m]	Opmerkingen
S21	1		320	-6,30	12,00	Label: productiedatum onleesbaar
S19	2	13-10	320	-2,80	8,50	
S17	3	17-11	320	-12,05	17,75	Toegevoegde wapening 4Ø16 2,4m
S15	4	15-10	350	-6,30	12,00	Toegevoegde wapening 4Ø12 2,4m
S13	5	27-07	350	-10,80	17,50	In deze paal is meetinstrumentatie aangebracht
S14	6	27-07	350	-10,80	17,50	In deze paal is meetinstrumentatie aangebracht
S16	7		350	-4,80	10,50	Hier staat een paal van 10,50m in plaats van de geplande paal van 10,75 m, vanwege voorraad. label: productiedatum onleesbaar
S18	8	26-08	380	-11,80	17,50	
S20	9	25-08	380	-9,55	15,25	
S22	10	28-08	380	-11,80	17,50	

3.1.2 Locaties van de palen

Deze paragraaf behandelt de paallocaties. Tabel 3.2 toont per sondeerlocatie welke paal is geïnstalleerd. Deze tabel is opgebouwd aan de hand van het Brem rapport [2]. Op basis van de beschikbare informatie is het niet mogelijk om onderscheid te maken tussen palen 1 en 2, en palen 5 en 6, omdat deze palen identieke afmetingen en leeftijden hebben. De productiedatum voor de paal op locatie S22 lijkt foutief, aan de hand van de foto's is er sprake van een identieke datum 26-08, ook te zien in Appendix C.1.

Het is niet mogelijk bij deze palen exact te bepalen op welke positie deze zijn geplaatst. Bij de locaties waar meerdere verschillende palen mogelijk waren is gekozen voor het laagste paalnummer bij het laagste sonderingsnummer omdat de leeftijd en afmetingen identiek waren, en de golfsnelheden vrijwel identiek zijn.

Tabel 3.2 Relatie tussen de originele veldmetingen en de palen.

CPT	Datum productie	Afmeting [mm]	Lengte [m]	Mogelijk paalnummer	Uiteindelijke beslissing paalnummer
S13	27-07	350	17,50	1, 2	1
S14	27-07	350	17,50	1, 2	2
S15	15-10	350	12,00	7	7
S16	--	350	10,50	9	9
S17	17-11	320	17,75	4	4
S18	26-08	380	17,50	5, 6	5
S19	13-10	320	8,50	10	10
S20	25-08	380	15,25	3	3
S21	--	320	12,00	8	8
S22	28-08	380	17,5	5, 6	6

3.2 Interpretatie

De participanten geven een inschatting van de lengte van de paal aan de hand van een aangenomen golfsnelheid in de paal, aangezien de aangenomen golfsnelheden niet exact overeenkomen met de daadwerkelijke golfsnelheid zullen hier verschillen uit voortkomen. Voor een directere vergelijking tussen de metingen wordt er van de lengte teruggerekend naar de door de participant gemeten tijd. Het bestand "Analyse prefab additioneel.xlsx" in de dataset bevat verdere interpretatie.

Tabel 3.3 toont de afgeleide golfsnelheden van de verscheidene prefab palen. Hierbij wordt tevens aangegeven hoe groot de relatieve verschillen in de tijd en lengte zijn tussen de metingen voorafgaande aan paalinstallatie (paragraaf 2.2) en het gemiddelde van alle akoestische metingentijdens de demodag op de reeds geïnstalleerde palen, zie rapport 11209349-000-GEO-0004.

Het document ASTM E691-22 stelt een standaardprocedure voor ten behoeve van het bepalen van de precisie van een meetmethode, de precisie is een indicatie van de spreiding van de meetresultaten. In het rapport 11209349-000-GEO-0004 en in het bestand "prefab_antwoordenASTM.xlsx" is deze procedure uitgewerkt op de resultaten van de metingen op de prefab palen op de demodag.

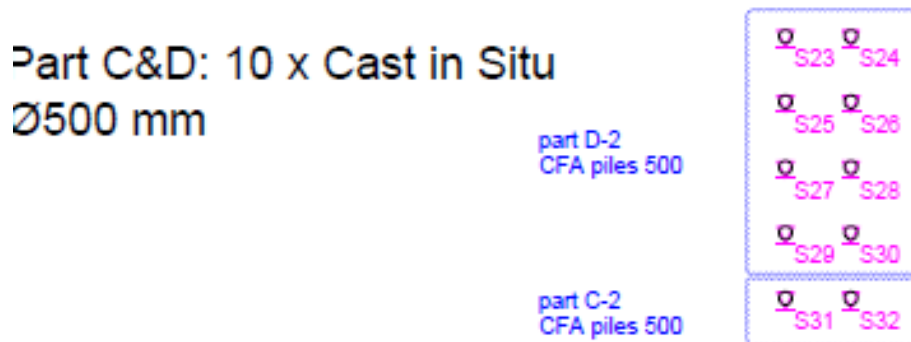
Tabel 3.3 Afgeleide golfsnelheden van de prefab palen.

Locatie in het veld	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22
Paal	1	2	7	9	4	5	10	3	8	6
Gemiddelde tijd op voorraad [ms]	3,96	4,012	2,854	2,297	4,028	3,939	1,919	3,448	2,585	3,971
Lengte op voorraad [m]	17,43	17,52	12,09	10,48	17,68	17,49	8,44	15,25	11,97	17,47
Golfsnelheid op voorraad [m/s]	4402	4367	4236	4562	4389	4440	4398	4423	4631	4399
Veldproef tijd [ms]	4,01		2,81	2,25	3,43	3,74	1,96	3,43	2,62	3,97
Veldproef lengte [m]	17,48		12,26	9,81	14,91	16,30	8,53	14,92	11,42	17,32
Relatieve verschillen in de tijd [%]	-1,3%		1,4%	2,0%	14,8%	5,0%	-2,0%	0,6%	-1,4%	-0,1%
Relatieve verschillen in de lengte [%]	-0,3%		-1,4%	6,4%	15,7%	6,8%	-1,1%	2,2%	4,6%	0,9%

4 Velddata voor CFA palen (D-2)

4.1 Testopstelling

Figuur 4.1 toont het deel van het palenveld met de avegaarpalen. Deze palen zijn ter voorbereiding van de demonstratiedag gemaakt met het CFA (Continuous Flight Auger) proces. Elk van de palen is gemaakt in een buis van 16,5 m lang. De palen zouden daarom een gelijke lengte moeten hebben. Paal S32 was op de demonstratiedag niet beschikbaar voor participanten omdat het StatRapid-apparaat hierboven stond.



Figuur 4.1 Lay-out van het deel van het palenveld met CFA palen.

4.2 Additionele informatie ten behoeve van de verloren opnemer

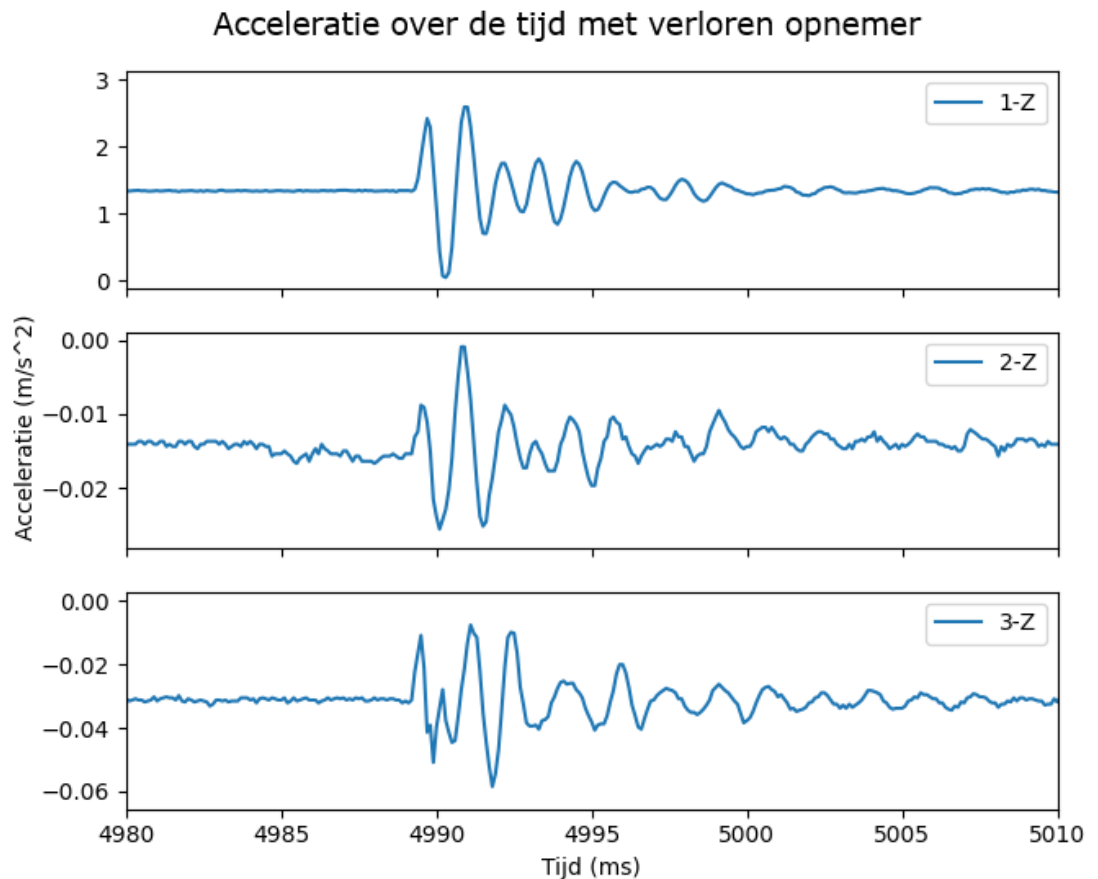
4.2.1 Opstelling

In een aantal van de avegaarpalen is ook een proef uitgevoerd met een verloren diepe opnemer. Deze paragraaf bevat informatie over de installatie van deze opnemer. De buizen waarin de CFA palen gevormd zijn, zijn 16,5 m lang, dit bepaalt de diepte van de onderkant van de paal relatief aan de paalkop.

De verloren opnemers waren voorzien op 3,5 m en 9,5 m boven de onderkant van de buis. Voor het plaatsen van de diepe opnemers is eerst een dunne buis in het verse beton geplaatst. Later is de diepe opnemer aan een lange wapening staaf in de buis geplaatst. Tenslotte is de buis gevuld met een vloeibare betonspecie die dezelfde sterkte haalt als het beton in de paal.

4.2.2 Analyse

De palen met diepe opnemers zijn afzonderlijk getest door Deltares. Naderhand is gebleken dat de eigenfrequentie van gebruikte opnemers in verticale stand te laag was voor dit type proeven, zodat de signalen worden overheerst door eigentrillingen. Figuur 4.2 toont de metingen van een enkele klap, hier zijn de eigentrillingen te zien die veel grotere magnitudes hebben dan de andere signalen waardoor deze niet goed te onderscheiden zijn.



Figuur 4.2 Acceleratie over de tijd gemeten door de drie opnemers.

Om uit deze meetdata nog informatie te halen is er een correlatieanalyse uitgevoerd, hierbij is er gekeken naar de vertraging tussen de opnemers met behulp van de kruiscorrelatie. Ook hieruit bleek dat de meetfrequentie te laag was gekozen, zie bijlage D. Het is niet te verwachten dat uit deze meting voor deze palen de golfsnelheid veel nauwkeurige kan worden vastgesteld. In het algemeen is wel aangetoond dat de diepe opnemer deze in beginsel wel goed kan bepalen en dat er meetbare signalen in de paal worden bepaald.

4.3 De daadwerkelijke staat van de palen

Na de demonstratiedag zijn de palen uit de grond verwijderd, na verwijdering zijn de palen visueel geïnspecteerd op afwijkingen en zijn er foto's gemaakt. Wegens tijdgebrek tijdens het verwijderen van alle palen en overige uitrusting voor schone tijdige oplevering van het terrein, is de inspectie achteraf zeer beperkt geweest. Het is niet duidelijk welke paal waar zichtbaar is op de foto's. Het bestand "Verslag na trekken insitu palen.xlsx" en de folder "Foto's na trekken" bevatten de bekende informatie over de palen nadat deze uit het veld verwijderd zijn.

4.4 Interpretatie

Aan de hand van het verslag dat na het trekken van de palen gemaakt is en de verslagen van de deelnemers over hun inschatting van de paal aan de hand van de akoestische metingen kan een beeld gevormd worden van de betrouwbaarheid van deze meetmethode. Dit is uitgewerkt in het rapport 11209349-000-GEO-0005 en het bestand "Resultaten insitu.xlsx".

Referenties

- [1] cc
- [2] Brem Funderingsexpertise, rapportage Stresswave Conference 2022, Rotterdam; project 8008-01; author Maurice Mik, 6 September 2022
- [3] Grondgrip, Digital communications results wave speed tests 1 September 2022, author Bas Tellinga, September 2022

A Coördinaten van de sonderingen (paallocaties)

Paal	RD x	RD y
S13	58595,15	438258,98
S14	58596,74	438254,23
S15	58590,34	438257,26
S16	58592,02	438252,55
S17	58585,68	438255,65
S18	58587,36	438250,96
S19	58580,94	438253,96
S20	58582,60	438249,25
S21	58576,22	438252,27
S22	58577,86	438247,57
S23	58622,18	438268,06
S24	58623,51	438264,30
S25	58618,32	438266,78
S26	58619,68	438263,01
S27	58614,67	438265,32
S28	58615,89	438261,69
S29	58610,83	438263,99
S30	58612,12	438260,31
S31	58607,11	438262,61
S32	58608,35	438258,96

B Opmerkingen van de opzichter

B.1 Prefab palen

Tabel 4.1 toont de beschikbare informatie van het heien van de palen door Brem [2].

Tabel 4.1 Paalnummerlijst [rapport Brem page 35-36].

CPT	Opmerkingen opzichter
S13	Datum fabricage paal: 27/07/2022 In deze paal is meetapparatuur verwerkt, ook doet Allnamics metingen op deze paal tijdens het heien.
S14	Datum fabricage paal: 27/07/2022 In deze paal is meetapparatuur verwerkt, ook doet Allnamics metingen op deze paal tijdens het heien
S15	Datum fabricage paal: 15/10/2021 Kopwapening: 4Ø12 2,4m
S16	9 Datum fabricage: Deze was onleesbaar op het etiket. Volgens het palenplan zou hier een paal met een paallengte van 10,75 m moeten worden gebruikt, deze lengte was niet voorradig
S17	Datum fabricage paal: 17/11/2020 Kopwapening: 4Ø16 2,4m
S18	Datum fabricage: 26/08/2021
S19	Datum fabricage paal: 13/10/2020
S20	Datum fabricage: 25/08/2021
S21	Datum fabricage was onleesbaar op het etiket
S22	Datum fabricage: 28/08/2021

C Foto's van labels

Deze appendix toont de labels van de palen waarvan in het veld niet op basis van de afmetingen bepaald kan worden welke het is.

C.1 Palen 5 en 6





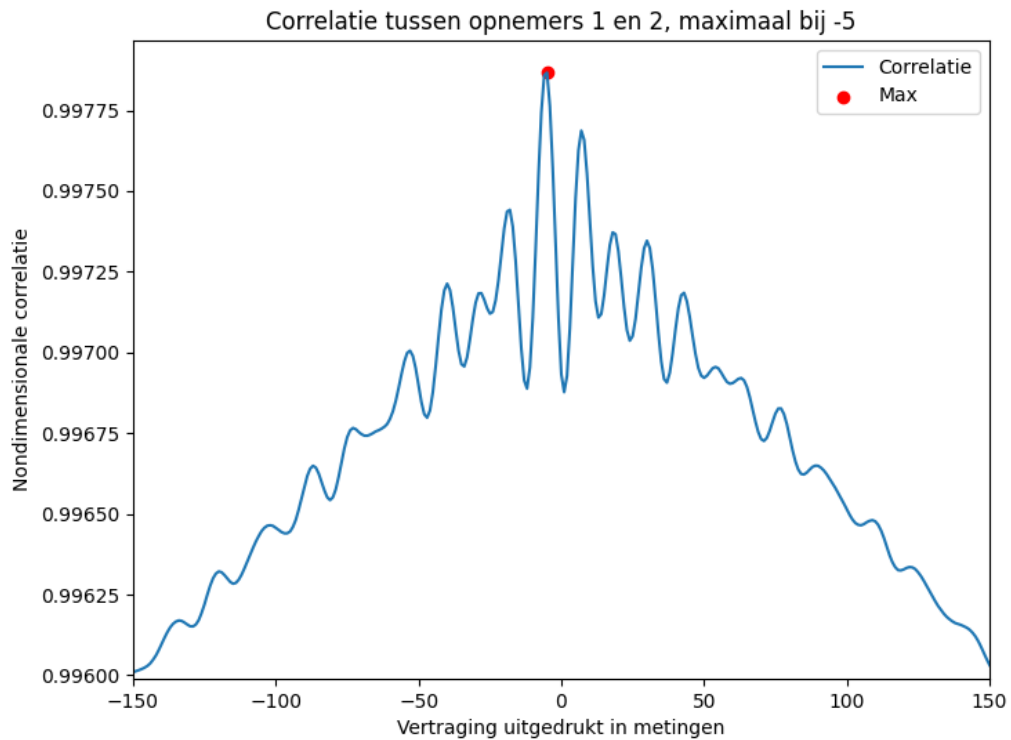
C.2 Palen 1 en 2



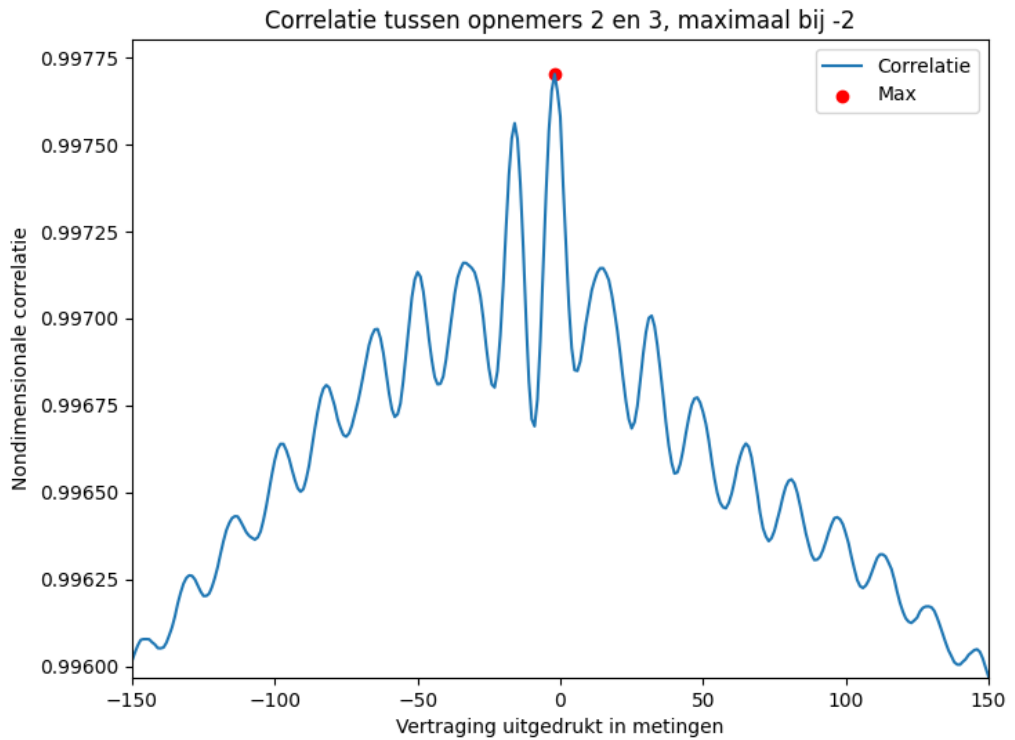


D Resultaten correlatie studie diepe opnemers

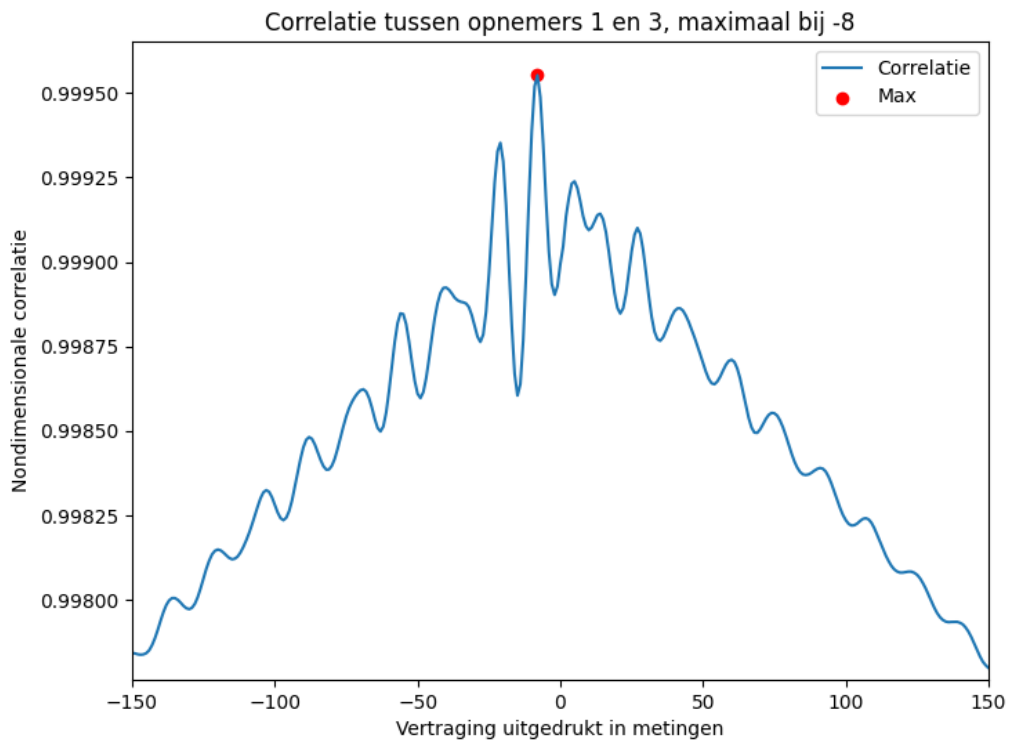
Figuur 4.3, Figuur 4.4 en Figuur 4.5 tonen de kruiscorrelaties tussen de opnemers, hierbij is het opmerkelijk dat de vertragingen bij de maximale correlaties zeer klein zijn. Doordat de meetintervallen bestaan uit discrete tijdeenheden en de werkelijkheid continu is ligt de waarde van de vertraging tussen de 2^e en 3^e opnemer in de realiteit tussen 1,5 en 2,5 meetperiodes, dit geeft een grote onzekerheid en geeft aan dat de meetfrequentie van de diepe opnemers niet voldoende was voor uitgebreidere analyse. Op basis van deze figuren lijkt de eigenfrequentie gelijk te zijn aan 1/13 van de meetfrequentie.



Figuur 4.3 Kruiscorrelatie tussen opnemers 1 en 2.



Figuur 4.4 Kruiscorrelatie tussen opnemers 2 en 3.



Figuur 4.5 Kruiscorrelatie tussen opnemers 1 en 3.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl