



---

# Hoofdrapport

Pilot Tiltsensoren | Groningen

1418-0227-010.HR 1.0 | 15 juni 2023

Definitief

**Nationaal Coördinator Groningen**



Nationaal Coördinator Groningen

# Document Controle

## Document Informatie

Project Titel	Pilot Tiltsensoren
Document Titel	Hoofdrapport
Fugro Project No.	1418-0227-010
Fugro Document No.	1418-0227-010.HR
Versie nummer	1.0
Versie Status	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Fugro kantoor	Groningen

## Klantgegevens

Klant	Nationaal Coördinator Groningen
Adres	Paterswoldseweg 1, 9726 BA Groningen

## Document historie

Issue	Datum	Status	Inhoud	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	15 juni 2023	Definitief		Fugro	Zonneveld	Fugro

---

## Samenvatting

De Pilot Tiltensoren heeft tot doel om de meerwaarde van tiltensoren te bepalen in het kader van de schade-afhandeling en de veiligheid in Groningen, en is uitgevoerd in opdracht van Nationaal Coördinator Groningen NCG. Bij 13 gebouwen zijn door Fugro sensoren aangebracht, waaronder tiltensoren, waarmee beoogd is om voor diverse individuele gebouwen een continu beeld van grond- en gebouwbevingen te verkrijgen en deze te relateren aan de ontwikkeling van gebouwschade. Een belangrijk aspect van de pilot is het vaststellen of tiltensoren in staat zijn om het ontstaan van schade aan gebouwen in Groningen te monitoren en daarmee oorzaken van schade aan te tonen en uit te sluiten. De hypothese is dat er een verband is tussen hoekverdraaiing (rotatie) van muren, die met tiltensoren wordt gemeten, en zichtbare scheurvorming.

De schade-opnames van de eerste fase in 2020 tot 2021 bleken niet bruikbaar (Fugro, 2021), zodat de pilot verlengd is bij 12 gebouwen tot 1 november 2022. In totaal is bij 694 scheuren nauwkeurig vastgesteld of er sprake was van toename van schade. Uit de rapportage van Hanselman blijkt dat bij 7 scheuren sprake was van toename van de scheurlengte: 3 toenames op 1 locatie waar een verbouwing werd uitgevoerd (in combinatie met significante rotaties van gevels) en 4 (beperkte) schade-toenames op 3 andere locaties waar geen rotatie van gevels is gemeten. De oorzaak van deze laatste 4 schade-toenames kan niet worden vastgesteld.

De gebouwen die deel uitmaken van de Pilot zijn in het algemeen relatief kwetsbaar op basis van funderingswijze, bouwwijze/ materialen en bodemopbouw. Bevindingen mogen niet zonder meer worden vertaald naar gebouwen met andere funderingswijze, gebouweigenschappen, locatie en bodemopbouw, maar geven wel een indicatie.

Met betrekking tot de metingen, schade-toename en oorzaken zijn de volgende resultaten gevonden:

1. De tiltmetingen aan de gebouwen duiden bijna overal op een stabiele situatie, zonder noemenswaardige ( $>0,05$  graden) rotatie van gevels. Uitzonderingen zijn:
  - o Bij 1 onderzoekslocatie werd bij meerdere sensoren aan een schuur significante rotatie gemeten tijdens een verbouwing, en daar zijn 3 schades-toenames waargenomen.
  - o Bij 1 locatie werden tijdelijke en blijvende rotaties gemeten bij een schuur, tijdens meerdere stormen. De tiltmetingen duiden erop dat enkele gevels ook na deze stormen permanent zijn geroteerd, echter dit heeft daar niet geleid tot schadetoename.

Op de overige plaatsen duiden de tiltmetingen niet op blijvende rotatie, ook niet ten gevolge van aardbevingen. Er zijn op 3 locaties in totaal 4 scheuren enigszins in lengte toegenomen zonder duidelijke oorzaak. Dat betekent dat dat de toename van de scheuren mogelijk door aardbevingstrillingen, zettingsverschillen en/of door bouwtechnische oorzaken kan worden verklaard, of een combinatie hiervan. In totaal zijn 687 van de 694 opgenomen scheuren niet toegenomen.

2. De tiltmetingen in/ aan de gebouwen zijn conform opdracht met een frequentie van 1 Hz uitgevoerd. De nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de tiltensoren was voldoende om de rotatie van de buitengevels zodanig te volgen, dat er in tijd een relatie kon worden gelegd tussen veranderingen en mogelijke oorzaken. Wel was een temperatuurcorrectie en een correctie voor drift (in tijd veranderende output van de sensor) nodig. De resultaten zijn gecontroleerd door laserscan-metingen aan het begin en einde van fase 2. Voor locatie 4 geldt dat de 0-meting van de laserscanning juist na de registratie van significante tilt (ten gevolge van windbelasting) is uitgevoerd. De stormen van februari 2022 vallen daar juist buiten de controlemogelijkheid van de laserscanning. Per locatie is ook een hoogfrequente tiltmeting (200 Hz) uitgevoerd met een sensor op een meetplaat. Deze tiltensoren bleken niet bruikbaar als betrouwbare tiltmeter, maar wel als accelerometer.
3. Er zijn 3 relatief zware aardbevingen opgetreden in 2022 (M3.1 en M2.7), met piekgrondsnelheden tussen maximaal  $PGV=10,5$  mm/s (locatie Loppersum) en  $0,1$  mm/s (locatie Steenberg). Er zijn na relevante aardbevingstrillingen (bij  $PGV > 0,5$  mm/s) geen blijvende rotaties gemeten die gerelateerd kunnen worden aan de aardbevingen. Er zijn geen wateroverspanningen gemeten tijdens of direct na aardbevingen. De groundbevingen (rotaties) ten gevolge van gasopslag en zoutwinning konden alleen worden gemeten met zeer nauwkeurige tiltensoren die in de vaste ondergrond zijn geplaatst, en de rotaties waren dermate klein dat ook deze sensoren de effecten van de mijnbouw

niet of nauwelijks konden onderscheiden. Er is geen verband tussen mijnbouw en meetwaarden van de tilsensoren aan de gebouwen gevonden.

4. De met accelerometers gemeten piekgrondsnelheid PGV ten gevolge van aardbevingen was vergelijkbaar met de waarden die door KNMI zijn gerapporteerd, en was met name afhankelijk van de sterkte van en afstand tot de aardbevingen en van de plaatsing binnen of op de meetplaat buiten.
5. De schade-opnames tijdens fase 2 waren in het algemeen goed bruikbaar, echter een beperkt aantal foto's was niet volledig scherp of voldoende helder voor controledoeleinden. Ook was soms de schade niet geheel zichtbaar op de foto's. De onzekerheid met betrekking tot de schade-toename lijkt beperkt, aangezien de kwaliteitscontroles door Hanselman en Fugro slechts zeer geringe verschillen en onzekerheden hebben opgeleverd.
6. De schade-toename in deze periode is het gesommeerde resultaat van de verschillende invloeden en veroudering. Er waren tijdens fase 2 meerdere factoren die een verhoogde kans op optreden van rotatie en/of schade gaven, met name het weer (extreme droogte en zware stormen) en (op 1 locatie) een verbouwing van een schuur. De tiltmetingen en schadebeelden geven bij 4 van de 7 toegenomen schades geen zekerheid over de (hoofd-) oorzaak van de schadetoename.
7. In 2022 was sprake van extreme droogte (die zettingsverschillen kan veroorzaken), zware stormen (die een maatgevende belasting op het gebouw kunnen veroorzaken) en in de kern van het effectgebied aardbevingstrillingen in de zelfde orde van grootte als de zwaarst opgetreden aardbevingen uit het verleden. Deze samenloop van omstandigheden heeft niet geleid tot een significante toename van schade. De waarnemingen sluiten aan bij eerdere onafhankelijke onderzoeken zoals door TNO en Fugro/Movares/RoyalHaskoningDHV (Fugro, 2021). TU Delft concludeerde in 2018 dat een groot aantal schades het gevolg is van gebouwontwerp en krachswerking, en niet gerelateerd is aan de Groningse omstandigheden. Veel panden van voor 1970 zijn bovendien zettingsgevoelig door de combinatie van fundering op staal en samendrukbare ondergrond (Staalduinen et al, 2019).

De onderzoeksvragen kunnen mede op basis van de resultaten van de Pilot Tilsensoren als volgt worden beantwoord:

### **1. Wat zijn de technische mogelijkheden en beperkingen van tilsensoren**

Tilsensoren kunnen rotaties (hoekverdraaiingen) meten van constructies en van de ondergrond. Bij tilsensoren is er sprake van meetwaarden die worden beïnvloed door de temperatuur van de sensor en de output verandert in de loop van de tijd (drift). Hiervoor dient te worden gecorrigeerd. Tilsensoren worden toegepast in situaties waar sprake is van een ingreep of bestaande situatie waarbij er risico bestaat voor de objecten of mensen. De sensoren worden daarom veelvuldig toegepast bij binnenstedelijk bouwen om invloed naar de omgeving real-time te volgen. Ook worden ze toegepast bij het monitoren van oudere gebouwen en infrastructuur. Vrijwel alle typen tilsensoren gebruiken de zwaartekracht als referentie en geven tijdens trillingen (zoals aardbevingen) een onjuist beeld van de werkelijke rotatie (Kruiver et al, 2020).

### **2. Treedt er schadetoename op tijdens de onderzoeksperiode, en zo ja hoeveel**

Bij 7 van de 694 scheuren is op basis van vergelijking van de 0-opname en de heropname door Hanselman vastgesteld dat er sprake was van toename van scheurlengte. Deze gerapporteerde toename (en het ontbreken van toename bij de overige 687 scheuren) is vastgesteld op locatie en bevestigd op basis van kwaliteitscontrole door Hanselman en Fugro op basis van de hoge resolutie-foto's. Geconcludeerd kan worden dat 6 van de 7 scheuren een geringe toename laten zien, en 1 scheur is (tijdens een verbouwing) matig toegenomen. Na het onderzoek hebben bewoners van 4 locaties in totaal 23 nieuwe scheuren gemeld. Uit beoordeling van de toegestuurde informatie en vergelijking met beschikbare gegevens blijkt dat een deel hiervan aanwezig was of buiten de vastgestelde definitie van schade valt. Op basis van de analyse kan worden geconcludeerd dat 1 schade daadwerkelijk nieuw is en bij 8 schades ontbreekt informatie om te beoordelen of de schade voor maart 2022 aanwezig was. Derhalve wordt geconcludeerd dat er op basis van de informatie van de bewoners 1 tot 9 nieuwe scheuren zijn ontstaan.

### **3. Is er een verband gevonden tussen tiltmeting gevels en schade-toename**

Er is enige correlatie tussen tiltmetingen en schade-toename gevonden:

- Bij de meeste tiltmeters is geen blijvende rotatie gemeten en ook geen schade-toename.



- Bij 1 onderzoekslocatie duiden bij de schuur meerdere tiltsensoren op significante rotaties (tot 1,5 graad) van de buitengevels tijdens een verbouwing. De orde van grootte was zodanig dat er kans op schade-toename was, en die is ook daadwerkelijk opgetreden bij 3 scheuren;
- Bij 1 onderzoekslocatie duiden bij een schuur meerdere tiltsensoren op significante rotaties (tot 0,5 graad, waarvan 0,2 graad blijvend) van de buitengevels ten gevolge van stormen. De orde van grootte was zodanig dat er een kans was op schade-toename maar die is niet geconstateerd;
- Een 4-tal scheuren (op 3 onderzoekslocaties) is in lengte toegenomen, echter de nabijgelegen tiltsensoren laten geen rotatie zien, of er zijn geen tiltmetingen beschikbaar dichtbij de schadetoename (o.a. binnengevels/ stucwerk).

#### **4. Treedt er blijvende rotatie van de gevels en wateroverspanning in de bodem op door aardbevingstrillingen**

Er zijn geen blijvende rotaties gemeten met de tiltsensoren na aardbevingen, niet in de bodem en niet aan de gebouwen. De waterspanningen zijn gemeten met zowel waterspanningsmeters als met dataloggers in peilbuizen, en met een frequentie van 200 Hz. Tijdens aardbevingen worden de metingen beïnvloed door de trillingen, hetgeen met name bij de waterspanningsmeters leidt tot afwisselend wateroverspanning en wateronderspanning, vooral op locaties nabij de zwaardere aardbevingen. De gemiddelde waterspanning is echter niet of nauwelijks veranderd (maximale toename is 0,5% ten opzichte van oorspronkelijke waterspanning). De waterspanningsmeters en peilbuizen zijn in meerdere grondsoorten geplaatst (meer en minder gevoelig voor verweking/ sterkteverlies door wateroverspanning). De metingen duiden nergens op een voorfase van verweking.

#### **5. Treedt er rotatie van de gevels en de bodem op door gaswinning, gasopslag en zoutwinning en kan deze leiden tot gebouwschade**

De tiltsensoren aan de gebouwen hebben geen rotatie gemeten die verband houdt met bodembeweging door gaswinning, gasopslag en zoutwinning. Om de effecten van de bodemdaling te meten waren een zeer stabiele meetopstelling (in de vaste ondergrond en met constante temperatuur), het ontbreken van trillingen, alsmede een uiterst nauwkeurige tiltensor nodig. Bij de locatie Norg is er enige correlatie tussen bodembeweging door mijnbouw en tiltmeting zichtbaar geworden. De rotatie was echter marginaal, en deze kan ook zijn beïnvloed door temperatuurfluctuatie van de sensor. De amplitude van de golfbeweging was minder dan 1 milligrad en dit is zodanig gering dat deze niet kan leiden tot schade. Bij Grijskerk en Borgercompagnie is niet zeker of er rotatie van de ondergrond is gemeten vanwege de extreem kleine rotaties in combinatie met enige drift van de sensoren. De metingen zijn vergeleken met de bodemdalingsgegevens zoals InSAR data en GNSS (GPS) data en op basis hiervan wordt geconcludeerd dat de rotatie van de ondergrond, gemeten met een verticale sensor, bijzonder klein is, en in lijn met deze andere bronnen die informatie verschaffen over zakkingsverschillen van objecten op het maaiveld.

#### **6. Treedt er rotatie van de gevels en de bodem op door droogte en weersomstandigheden en kan deze leiden tot gebouwschade**

Bij een deel van de tiltsensoren aan de gebouwen is een beperkte seizoen fluctuatie van de meetwaarden zichtbaar, die verband kan houden met invloed van temperatuur en vochtgehalte van bouwmaterialen (krimp en uitzetting) en/of zetting/krimp/zwel door droogte/variatie grondwaterstand. Een verschil in scheurwijdte tussen 0-meting (maart) en hermeting (november) is in enkele gevallen zichtbaar op de foto's van Hanselman en kan verband houden met dit seizoenseffect. Er is geen duidelijke correlatie gevonden met de schade-toename, hetgeen o.a. verklaarbaar is doordat er bijna geen schade-toename is geconstateerd tijdens fase 2. Wel vond de forse rotatie tijdens een verbouwing plaats in de extreem droge zomer van 2022, waarbij mogelijk uitdroging een rol heeft gespeeld. Voor een schuur is geconstateerd dat stormen hebben geleid tot blijvende rotatie, maar hierbij lijkt geen schade te zijn ontstaan.

#### **7. Bieden tiltsensoren meerwaarde bij het bepalen van mogelijke oorzaken van schade-toename**

Tiltsensoren kunnen meer duidelijkheid geven over het moment en de grootte van eventuele rotatie van constructie-onderdelen, waarmee in sommige gevallen de oorzaak van schade beter kan worden vastgesteld. De metingen tijdens de Pilot Tiltsensoren duiden op significante rotatie van gevels van een tweetal schuren die verband houden met stormen en een verbouwing (mogelijk in combinatie met droogte). Zonder de tiltmetingen was het niet mogelijk geweest om het moment en de oorzaak van deze rotatie, dan wel schade (bij de verbouwing) te bepalen. De tiltmetingen hebben geen blijvend effect van mijnbouw op de gebouwen laten zien:

- De aardbevingen veroorzaakten geen blijvende rotaties van de tiltsensoren in de grond en aan de gebouwen

- De bodembeweging door gaswinning, gasopslag en zoutwinning gaf dermate kleine rotaties dat die met de tiltsensoren aan de gebouwen niet meetbaar was en bij de 3 tiltsensoren in de grond was er mogelijk sprake van een rotatie in orde van grootte van 1/1000 graad.

Bij een deel van de schade-toename is er geen tiltmeting beschikbaar nabij de toegenomen scheuren, of de nabijgelegen tiltsensor geeft geen afwijking. De toegenomen schade is dan mogelijk niet gerelateerd aan rotatieverschillen in de constructie en de tiltmetingen bieden dan geen meerwaarde. De meerwaarde van de toepassing van tiltsensoren bij gebouwen is sterk afhankelijk van het constructief ontwerp en materiaalkeuze, de funderingswijze en ondergrond en de mogelijke aanwezigheid van (verborgen) gebreken. Met name bij funderingen op staal en relatief slappe ondergrond zijn rotatieverschillen van de constructie te verwachten, en daar zouden tiltsensoren meerwaarde kunnen bieden bij het bepalen van de oorzaak van (eventuele) schade-toename. Op basis van de resultaten van de Pilot Tiltsensoren tot op heden kan deze relatie nog niet worden vastgesteld. Tiltsensoren hebben geen blijvende afwijking door aardbevingen laten zien. Dit betekent niet dat aardbevingen geen rol kunnen hebben gespeeld bij schadetoename. De kans hierop kan worden bepaald op basis van piekgrondsnelheden ten gevolge van de aardbevingen.

#### **8. Bieden tiltsensoren meerwaarde bij het bepalen van mogelijke oorzaken van bestaande schade**

Tiltsensoren geven informatie over rotatie en rotatieverschillen vanaf het moment van plaatsing, en niet over eerdere rotaties. Kennis over omvang van schade-toename en oorzaken, in combinatie met tiltmetingen, kan met terugwerkende kracht wel meer inzicht geven over de (oorzaak van) bestaande schades. Voor bodem-gerelateerde deformaties van gebouwen geldt dat deze met name van toepassing zijn bij funderingen op staal op relatief slappe ondergrond. Bij oudere gebouwen is een groot deel van de zettingen in het verleden opgetreden en informatie over schade-toename geeft daarom beperkte informatie over het moment en de oorzaak van bestaande schade. De effecten van uitdroging van de ondergrond zijn op basis van de beschikbare resultaten nog niet duidelijk. Er zijn geen zettingen of rotaties door mijnbouw gemeten. Wel is duidelijk geworden dat andere oorzaken een belangrijke rol kunnen spelen bij het optreden van rotaties, met name bij schuren: zware windbelasting en verbouwing. Onderzoek en metingen kunnen gebreken aan het licht brengen, en tiltsensoren kunnen daarbij een hulpmiddel zijn. Een mogelijkheid is dat tiltsensoren ook aanvullende informatie geven over de relatie tussen vervormingen en schade, echter op basis van de beperkte hoeveelheid resultaten is dat nu nog niet mogelijk. Het is niet waarschijnlijk dat tiltsensoren meerwaarde bieden bij de schade-afhandeling van individuele gebouwen, hoewel langjarige metingen met tiltsensoren in combinatie met betrouwbare schadeopnames op termijn meer duidelijkheid kunnen geven. Een goede en direct beschikbare indicatie voor de kans op mijnbouwschade is de piekgrondsnelheid die is opgetreden tijdens de eerder opgetreden aardbevingen.

#### **9. Bieden tiltsensoren meerwaarde bij het beheersen van risico's van bestaande gebouwen**

Volgens de laatste dreigings- en risicoanalyse voldoen alle, of bijna alle gebouwen aan de norm (Publieke SDRA Groningen gasveld 2022, 2022). Afhankelijk van de gehanteerde uitgangspunten is er een beperkt aantal gebouwen (met name schuren van boerderijen) waarbij sprake is van een geringe overschrijding van de veiligheidsnorm. Bij de Pilot Tiltsensoren zijn 6 schuren gemeten. 2 Van de 6 bleken in 2022 significant roterende buitengevels van de gevels te hebben, hetgeen een veiligheidsrisico kan betekenen. Er lijkt sprake te zijn van een kwetsbaar ontwerp, of van aanpassingen aan de schuren die de stabiliteit hebben verminderd. Het is in zijn algemeenheid niet te verwachten dat bij oudere gebouwen (zonder aanpassingen of verzwakking van de constructie of belastingtoename) er significante rotaties plaatsvinden. Tiltsensoren hebben derhalve vanuit de Pilot Tiltsensoren meerwaarde geboden bij het opsporen van risico's van bestaande gebouwen. In de kern van het effectgebied is bovendien sprake van een extra risico, namelijk de mogelijkheid van het optreden van een aardbevingen met effect op de gebouwen. Op individueel niveau is er sprake van onzekerheid over de uitgangssituatie en kwetsbaarheid van de gebouwen. Specifiek voor schuren geldt dat deze relatief ongunstig is. Onderzoek van individuele gebouwen kan kwetsbaarheden aan het licht brengen, en geplaatste tiltsensoren kunnen hierbij na enige tijd meerwaarde bieden. Het risico van gebouwen hangt met name samen met deformatie van de constructie en die kan met tiltsensoren worden gemeten voor een niet maatgevende belasting vanuit bijvoorbeeld wind of verkeerstrilling of aardbevingstrilling. Tiltsensoren hebben derhalve mogelijk meerwaarde bij het onderkennen van bestaande kwetsbaarheden van gebouwen, en kunnen mogelijk een deel van de onzekerheid vanuit de dreigings- en risico-analyse wegnemen.

#### Aanbevelingen:

1. Doe meer onderzoek naar schadetoename in het effectgebied van Groningen. Dit is relevant omdat schadecompensatie nog minimaal 30 jaar plaatsvindt en er is nog te weinig inzicht in de omvang van de schade-toename bij verschillende omstandigheden en gebouw-eigenschappen. Zorg daarbij voor periodieke (bijvoorbeeld 1x per jaar), nauwkeurige, onafhankelijke en controleerbare informatie over schadetoename van representatieve gebouwen. Vanwege statistische betrouwbaarheid zou dit moeten plaatsvinden op grotere schaal dan bij de Pilot Tiltensoren en ook bij meerdere typen gebouw (constructie, fundering, materialen, ouderdom, locatie). Een belangrijk aandachtspunt is de kwaliteit, controleerbaarheid en reproduceerbaarheid van de schade-opnames.
2. Doe meer onderzoek naar de oorzaken van schade-toename, zodat de juiste maatregelen kunnen worden genomen om schade-toename te beperken. Dit is relevant omdat van de bodem-gerelateerde schade-toename verschillende oorzaken heeft en de invloed hiervan wijzigt in de loop van de tijd. In het effectgebied bevinden zich veel cultuurhistorisch relevante gebouwen die door de aard van de constructie en fundering, in combinatie met de bodemopbouw, extra gevoelig zijn voor bodem-gerelateerde schade-toename. Door beter inzicht in het aandeel van de oorzaken (zoals aardbevingen, windbelasting en verdroging) kunnen betere keuzes worden gemaakt ter beheersing van de verschillende oorzaken van schade-toename. Tiltensoren kunnen daarbij helpen om de relatie te leggen tussen deformatie en schadetoename. Met name met betrekking tot de invloed van verdroging/klimaatverandering heeft de Pilot Tiltensoren nog te weinig informatie opgeleverd, hetgeen verklaarbaar is door de beperkte schaal en tijdsduur van de pilot.
3. Zorg voor betere informatievoorziening en uitleg met betrekking tot de invloed van mijnbouw, schade-toename en schade-oorzaken, zowel richting beleidsmakers als richting bewoners. Dit is relevant om de spanningen over veiligheid en schade-toename bij een deel van de bewoners in het effectgebied te verminderen. Bij het ontzorgen van bewoners is een integrale aanpak nodig en samenwerking tussen diverse disciplines, technische en niet-technische. Mogelijk dat resultaten uit de Pilot Tiltensoren of aanvullende (tilt-)metingen en onderzoeken hieraan kunnen bijdragen. Een beter inzicht in de locatie, oorzaak, omvang en begrenzing van zowel fysieke als psychische schade is daarbij essentieel en hiervoor is aanvullend onderzoek nodig.
4. Doe nader onderzoek naar de stabiliteit van de constructie van specifieke gebouwen in de kern van het effectgebied van Groningen, met name schuren van boerderijen. Enerzijds kunnen de metingen van de 6 boerderijen van de Pilot Tiltensoren nader worden geanalyseerd. Anderzijds is het van belang om de steekproef te vergroten, zodat meer inzicht wordt verkregen in de omvang van de problemen en de oorzaak van deformaties. De gebouwen kunnen worden geselecteerd op basis van een aantal criteria:
  - a. Het gebouw (bij voorkeur een boerderij) maakt deel uit van de versterkingsoperatie, maar is nog niet versterkt
  - b. De bewoners willen meewerken aan een langdurig onderzoek
  - c. Er is sprake van een fundering op staal op relatief slappe ondergrond
5. Gebruik de dataset die beschikbaar is vanuit de Pilot Tiltensoren voor een vergelijking van metingen binnen en buiten van aardbevingstrillingen (versnellingen). De uitkomsten kunnen helpen om eventuele afwijking van gebouwsensoren van KNMI te kunnen verklaren en kwantificeren.

---

## Inhoudsopgave

---

<b>1. Introductie</b>	<b>1</b>
1.1 Inleiding	1
1.2 Aanleiding voor het starten van deze pilot	1
1.3 Data-analyse voorafgaand aan de pilot	2
1.4 Rapportagestructuur	2
1.5 Relevante ontwikkelingen rondom het Groningen gasveld sinds 2016	4
1.6 Uitdagingen schade-afhandeling en versterking	7
<b>2. Operationele structuur</b>	<b>8</b>
2.1 Algemeen	8
2.2 Technische Commissie	8
<b>3. Onderzoeksvragen</b>	<b>9</b>
3.1 Algemeen	9
3.2 Bestaande meetnet als basis voor besluitvorming	10
3.3 Kwantificering van effecten van mijnbouw op de bodem	11
3.4 Huidige situatie met betrekking tot veiligheid en versterking	14
3.5 Welke schaalgrootte en inspanning zijn optimaal	15
3.6 Oorzaken van schade	16
3.7 De 9 onderzoeksvragen	18
<b>4. Onderzoeksmethode</b>	<b>19</b>
4.1 Algemene onderzoeksmethode	19
4.2 Objecten	19
4.3 Verloop van de pilot tiltsensoren	20
<b>5. Resultaten van fase 2, 2022</b>	<b>23</b>
5.1 Overzicht	23
5.2 Relatie tussen metingen, schadetoename en oorzaken	23
5.3 Beantwoording onderzoeksvragen	29
5.4 Aanbevelingen	36
<b>6. Referenties</b>	<b>38</b>

## Appendices

---

<b>Appendix A</b>	<b>Algemeen Monitoringsrapport</b>
<b>Appendix B</b>	<b>Algemene Data Analyse</b>
<b>Appendix C</b>	<b>Conditie monitoring</b>

## Lijst van Figuren

Figuur 1.1: Overzicht rapportenstructuur Pilot Tiltensoren	3
Figuur 1.2: Effectgebied waarbinnen het wettelijk bewijsvermoeden geldt	5
Figuur 1.3: Aantal aardbevingen per jaar op basis van metingen KNMI. Dit betreft de aardbevingen met een kracht van $M_i \geq 1,2$ in de voorgaande 6 maanden omgerekend naar jaarbasis. Overgenomen van <a href="http://www.dashboardgroningen.nl/aardbevingen-groningen">www.dashboardgroningen.nl/aardbevingen-groningen</a>	6
Figuur 1.4: Overzicht diverse processen rondom schadeafhandeling en gebieden (*) waar meerwaarde van tiltensoren dient te worden onderzocht	7
Figuur 2.1: Schematische weergave operationele structuur	8
Figuur 3.1: Seismische stations in Nederland waarvan de data bij het KNMI geregistreerd worden. De meeste zijn KNMI-stations en een deel is van derden, bijv. operators. De lijnen geven de minimale magnitude aan die op een locatie gemeten kan worden (KNMI, 2021).	11
Figuur 3.2 Links: Trillingssnelheid op basis van empirisch GMPE voor M3.4 aardbeving d.d. 8 januari 2018 in Zeerijp (mediane waarden), PGV max = 2,8 cm/s. Rechts: Trillingssnelheid op basis van KNMI shakemap voor diezelfde aardbeving, PGV max = 2,5 cm/s	12
Figuur 3.3: Trillingssnelheid zoals gemeten door KNMI (links), hoogste waarde is 3,2 cm/s in oost-west richting; en trillingssnelheid (mediane waarden) op basis van 3D model van KEM04 studie voor M3.4 aardbeving d.d. 8 januari 2018 in Zeerijp: in oost-west richting (middelste figuur) en in noord-zuid richting (rechter figuur). Hoogste waarde is 3,5 cm/s (Dijkstra, 2020)	13
Figuur 3.4: Productie uit het Groningen gasveld in de loop van de tijd	15
Figuur 3.5: Overzicht van maximum PGA (in $\text{dm/s}^2$ ) volgens KNMI (hazardkaart V0 uit 2013 t/m V5 uit 2018) en TNO (SDRA 2021) en versterkingsopgave (aantal woningen dat hier onderdeel is) in de loop van de tijd volgens Charles Vlek (2015-2021) en NCG (2021-2023).	15
Figuur 3.6: Overzicht mogelijke typen gebouwschade, overgenomen uit (Staalduinen et al, 2019)	17
Figuur 4.1: Overzicht van locaties van geselecteerde objecten	20
Figuur 4.2: Typische meetopstelling voor de tiltensoren op gevels (links), LILY-sensoren in de ondergrond (midden) en dynamische tiltensor/accelerometer op de meetplaat (rechts).	21
Figuur 4.3: Globaal chronologisch overzicht	21
Figuur 5.1: Sensoren op object 07 met een blijvend verschuivend meetbeeld in de gemeten tilt tussen juni en oktober 2022.	24
Figuur 5.2: Gecorrigeerde tilt (temperatuur en drift) in z-richting (dwars op muur) voor 14 sensoren op object 07 tussen juli 2020 en januari 2023. Voor sensoren 07TM01, 07TM02, 07TM03, 07TM04, 07TM13 en 07TM14 is tussen juni en oktober 2022 een blijvende verschuiving van de tilt zichtbaar.	24
Figuur 5.3: Sensoren op object 04 met een blijvend verschuivend meetbeeld in de gemeten tilt in februari 2022.	24
Figuur 5.4: Gecorrigeerde tilt (temperatuur en drift) in z-richting (dwars op muur) voor 13 sensoren op object 04 tussen februari 2020 en januari 2023. Voor sensoren 04TM10, 04TM11, 04TM12 en 04TM13 is in februari 2022 een blijvende verschuiving van de tilt zichtbaar.	24
Figuur 5.5: Gecorrigeerde tilt (temperatuur en drift) in x- en z-richting en temperatuur voor sensor 04TM10 in februari 2022 met een blijvende verschuiving zichtbaar tussen 16-02-2022 en 22-02-2022 (boven), windrichting (midden) en uurgemiddelde en hoogst gemeten windsnelheid (onder) in februari 2022 op basis van de gemiddelde metingen door de KNMI-meetstations Eelde, Lauwersoog en Nieuw-Beerta met $N=360^\circ$ , $O=90^\circ$ , $Z=180^\circ$ en $W=270^\circ$ .	25
Figuur 5.6: Schadetoename bij schade 06_231 tussen de nulmeting (09-03-2022) en de heropname (09-11-2022).	26

Figuur 5.7: Time History plot van het M3.1 event nabij Wirdum op 08-10-2022 gemeten door de accelerometers. 1) de meest nabije KNMI-sensor uit het G-netwerk; 2) de CRL-sensor bevestigd buiten op de meetplaat nabij object 12; 3) de CRL-sensor bevestigd binnen in object 12; 4) de Epson-sensor bevestigd buiten op de meetplaats nabij object 12. 27

Figuur 5.8: Gemeten piekgrondsnelheden op de pilot locaties en het KNMI-netwerk ten opzichte van de afstand tot het epicentrum voor de magnitude 3.1 aardbeving op 8 oktober 2022 nabij Wirdum. 28

Figuur 5.9: Verticale doorsnedes van de laserscan data op locatie 07 van 30-03-2022 (rood) en 01-12-2022 (groen) nabij sensoren 07TM13 (links) en 07TM14 (rechts) met een relatieve hoekverdraaiing van de muur tussen 1,4-2,0° nabij beide sensoren. 31

Figuur 5.10: Relatieve wateroverspanning ten opzichte van de oorspronkelijke waterspanning op basis van de gemeten waterdrukken van verscheidene sensoren rond het M3.1 event op 08-10-2022. 32

---

# 1. Introductie

## 1.1 Inleiding

De Nationaal Coördinator Groningen (NCG) heeft op basis van een Europese aanbesteding (Nationaal Coördinator Groningen, 2018) aan Fugro, met als onderaannemer Zonneveld Ingenieurs, op 9 april 2019 opdracht gegeven om perceel 1 van de Pilot Tiltsensoren Groningen uit te voeren. Het doel van de pilot, zoals beschreven in het aanbestedingsdocument (Nationaal Coördinator Groningen, 2018), is om de meerwaarde van tiltsensoren vast te stellen bij het bepalen van het verband tussen mijnbouw en schade, binnen de invloedssfeer van het Groningen-gasveld en de gasopslag in Norg. Op basis van een meetperiode van circa 20 maanden is een tussenrapport opgesteld: rapport 1418-0227-010\_ADA versie 1.0 Algemene Data Analyse d.d. 16 december 2021 (Fugro, 2021). Vanwege het ontbreken van betrouwbare schade-opnames is door de opdrachtgever besloten om de pilot tiltsensoren te verlengen.

Onderhavig hoofdrapport geeft een overzicht van het onderzoek, de onderzoeksvragen en bevindingen op basis van de voortgezette Pilot Tiltsensoren in 2022. De rapportagestructuur en beschrijving van de onderliggende documenten is opgenomen in dit hoofdrapport. Een deel van de onderliggende documenten wordt niet gepubliceerd omdat deze privacygevoelige informatie bevat. Relevante data is geanonimiseerd opgenomen in de te publiceren documenten. Onderzoekers kunnen toegang krijgen tot de ingewonnen data na toestemming van de afzonderlijke bewoners.

## 1.2 Aanleiding voor het starten van deze pilot

De aanleiding van de Pilot is vastgelegd in het aanbestedingsdocument door de NCG, welke in onderstaande tekst is gekopieerd. (Nationaal Coördinator Groningen, 2018)

*“In het aardbevingsgebied leeft al enkele jaren de wens om een proef met tiltsensoren uit te laten voeren. NCG heeft in 2016 door Sweco laten onderzoeken welke meetnetten in het aardbevingsgebied aanwezig zijn. In 2017 heeft Antea in opdracht van NCG een vershilanalyse uitgevoerd naar de verschillende meetnetten. Naar aanleiding van deze onderzoeken heeft NCG een pilot gestart met tiltsensoren. Een inhoudelijk plan van aanpak is met maatschappelijke en bestuurlijke partijen besproken en dit heeft medio 2018 tot een definitief plan van aanpak geleid. In dit plan van aanpak staat aangegeven waar een pilot met tiltsensoren in het aardbevingsgebied aan moet voldoen. De pilot is bedoeld om de toegevoegde waarde van tiltsensoren te onderzoeken voor 2 jaar. Op basis van de pilot kan worden bepaald of de inzet van tiltsensoren gewenst is en op welke schaal. Het plan van aanpak (is beschikbaar) vormt de inhoudelijke basis voor de pilot tiltsensoren en daarmee voor dit aanbestedingsdocument.”*

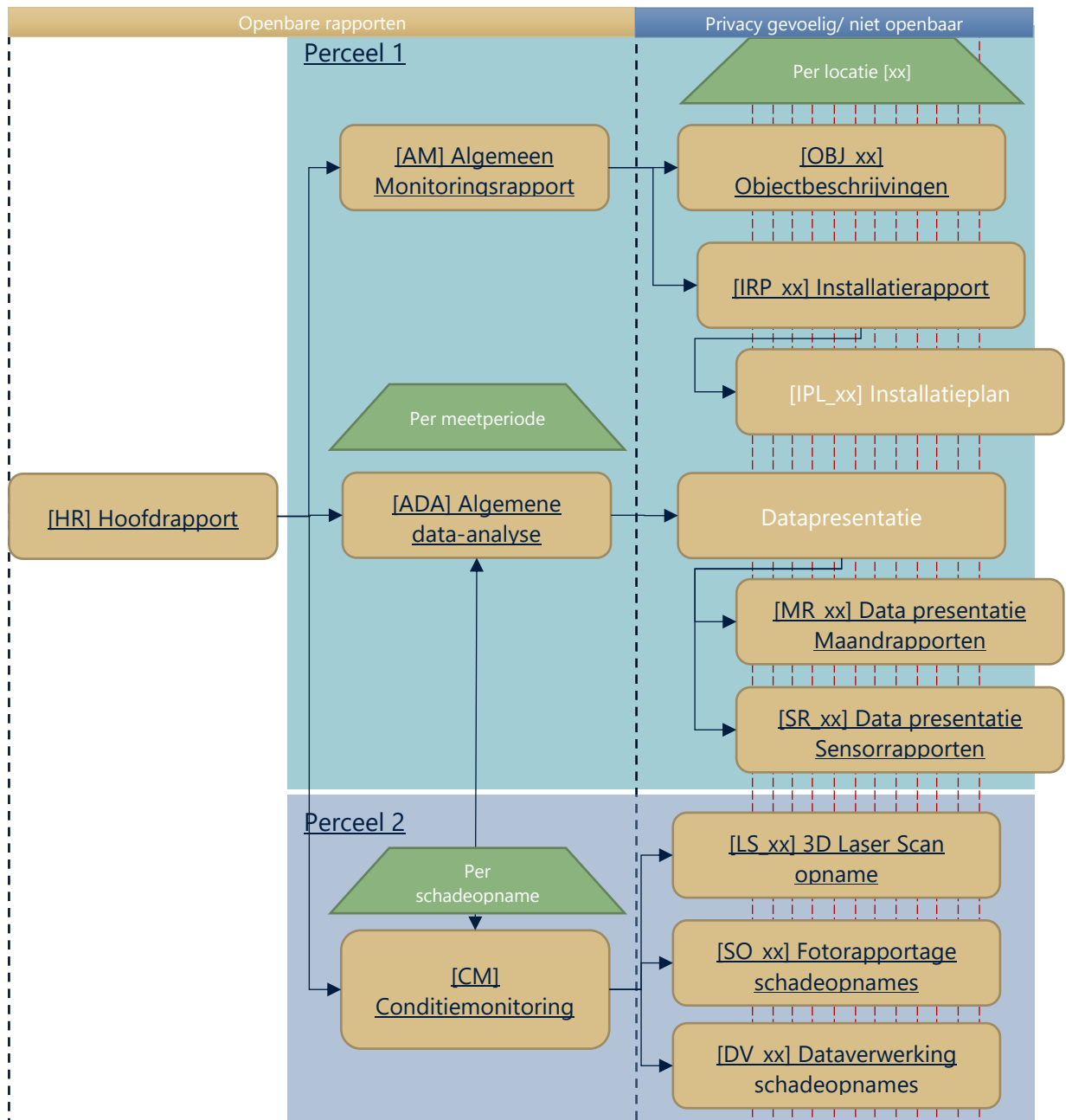
### 1.3 Data-analyse voorafgaand aan de pilot

Aan het begin van de Pilot Tiltsensoren is door TNO en Deltares een rapport uitgebracht waarin de mogelijkheden en beperkingen van tiltsensoren zijn beschreven. Tevens zijn diverse datasets geanalyseerd. (Kruiver et al, 2020). Deze analyse is uitgevoerd in opdracht van NCG en is bedoeld ter ondersteuning van de Pilot Tiltsensoren.

### 1.4 Rapportagestructuur

Het ontwerp, de uitvoering en de resultaten van pilot zijn vastgelegd in diverse rapportages. In Figuur 1.1 is een overzicht gegeven van de diverse rapporten waarin de gebruikte methoden en de resultaten zijn vastgelegd. Binnen de pilot wordt gewerkt met privacygevoelige informatie. In het kader van de Algemene Verordening Persoonsgegevens conform de afspraken met de bewoners zijn een aantal rapporten niet openbaar beschikbaar. Dit zijn rapporten waarin locatiegegevens op adresniveau worden gepresenteerd of zijn te achterhalen of rapporten waarin foto's van objecten worden gepresenteerd. De scheiding tussen openbare en niet-openbare data is aangegeven in Figuur 1.1. Een gedetailleerdere beschrijving van de inhoud van de rapporten is gegeven in Tabel 1.1.





Figuur 1.1: Overzicht rapportenstructuur Pilot Tiltensoren

Tabel 1.1: Overzicht diverse rapporten binnen de Pilot Tiltsensoren.

Code	Naam	Aantal	Beschrijving inhoud
[HR]	Hoofdrapport	1	In dit rapport wordt het algemene doel van de pilot en de onderzoeksvragen beschreven. Het rapport beschrijft en geeft de samenhang van de diverse rapportages aan. De hoofdconclusies en aanbevelingen worden gepresenteerd.
[AM]	Algemeen Monitoringsrapport	1	Geeft een gedetailleerde beschrijving van de meettechnieken, toegepaste sensoren, plaatsing, meetfrequenties, bevestigingsmethoden.
[OBJ_xx]	Objectbeschrijving	13	Beschrijft het object en de directe omgeving. De eerste schadeopname is gepresenteerd in dit rapport samen met een lintvoegmeting en grondonderzoek
[IPL_xx]	Installatieplan	13	Beschrijft de beoogde plaatsen voor het monteren van sensoren. Dit rapport is gebruikt voor het presenteren van de meetopzet aan de bewoner/eigenaar en is indien nodig in overleg met de bewoner aangepast.
[IRP_xx]	Installatierapport	13	Beschrijft per gebouw de locaties van de sensoren, en geeft aan indien er is afgeweken van het installatieplan.
[ADA]	Algemene Data Analyse	Per meetperiode	In dit rapport worden overkoepelende analyses en beschouwingen uitgevoerd. In overleg met de opdrachtgever is 2022 als meetperiode vastgesteld.
[MR_xx]	Maandrapportage	Per locatie per maand	In deze rapporten wordt per maand per locatie een overzicht van de verzamelde data gepresenteerd en eventueel opvallende meetbeelden
[SR xx]	Sensorrapportage	Per locatie	In deze rapporten wordt per sensor per locatie een overzicht van de verzamelde data gepresenteerd en eventueel opvallende meetbeelden
[CM]	Condiitiemonitoringsrapport	1	In dit rapport wordt een algemene beschrijving gegeven van de schademonitoring en -toename, waarbij de privacygevoelige data wordt geanonimiseerd of weggelaten.
[SO_xx]	Schadeopname	12 <sup>1</sup> per schade opname	In deze rapporten wordt per locatie de schadeopname gepresenteerd
[DV_xx]	Dataverwerking	12 <sup>1</sup> per schade opname	In deze rapporten wordt de schadeopname verwerkt, onder andere de afmetingen van de schades worden bepaald.
[LS xx]	3D Laser Scan rapportage	12 <sup>1</sup>	In deze rapporten worden per locatie de resultaten van de 3D laser scan opname gepresenteerd.

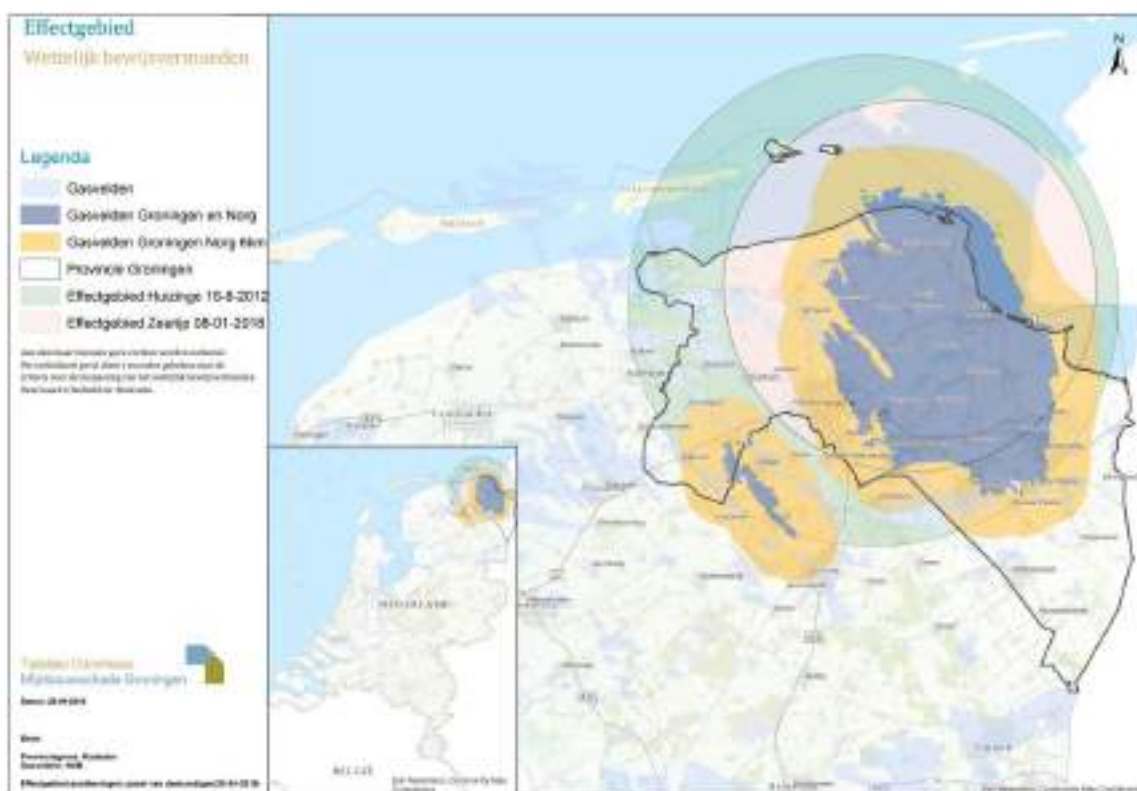
1) De tweede meetperiode betreft 12 locaties in tegenstelling tot de oorspronkelijke 13 in de eerste meetperiode

## 1.5 Relevante ontwikkelingen rondom het Groningen gasveld sinds 2016

De te onderzoeken meerwaarde van tiltsensoren en de aanbevelingen voor het vervolg zijn sterk afhankelijk van de ontwikkelingen en omgevingsfactoren. Sinds het moment dat door partijen werd gevraagd om een onderzoek naar de meerwaarde van tiltsensoren, is de situatie rond het Groningen veld behoorlijk veranderd, en daarmee het referentiekader. Voor

deze pilot zijn de volgende ontwikkelingen, uitgangspunten en knelpunten relevant in meer of mindere mate relevant:

- a. Sinds 1 januari 2017 geldt het wettelijk bewijsvermoeden bij schades boven en nabij het Groningen gasveld (het effectgebied), hetgeen erop neerkomt dat woning-eigenaren niet zelf hoeven te bewijzen dat een schade veroorzaakt of verergerd kan zijn door gaswinning (of gasopslag in Norg). Het aantal woningen (adressen) waarvoor het wettelijk bewijsvermoeden geldt bedraagt 360.000. In april 2023 heeft het kabinet een groot aantal maatregelen aangekondigd om de directe en indirecte negatieve effecten van de gaswinning te beheersen. Relevante aanpassingen in de aanpak bestaan van de schade-afhandeling zijn het achterwege laten van onderzoek naar schade-oorzaken bij schades tot 40.000 Euro en het niet meer gebruiken van de trillingstool die tot op heden een hulpmiddel is om via de piekgrondsnelheid PGV de kans op aardbevingsschade te bepalen.



Figuur 1.2: Effectgebied waarbinnen het wettelijk bewijsvermoeden geldt

- b. De gaswinning in Groningen is afgenomen van circa 27 bcm (billion cubic meter = miljard kubieke meter) in gasjaar 2015-2016 tot circa 3 bcm per jaar in gasjaar 2021-2022;
- c. Op 27 maart 2018 heeft de regering besloten om de gaswinning in Groningen te stoppen, uiterlijk in 2030, maar indien mogelijk eerder. Nadat de sluiting haalbaar leek per 2023, zorgen de sinds 2022 gespannen energiemarkt en de oorlog in Oekraïne voor onzekerheid;

- d. Het jaarlijks aantal geregistreerde aardbevingen, rekening houdend met de in de loop der tijd verlaagde detectiegrens, vertoont sinds 2013 een gestage daling en is sindsdien ongeveer gehalveerd; zie Figuur 1.3 overgenomen van [www.dashboardgroningen.nl/aardbevingen-groningen](http://www.dashboardgroningen.nl/aardbevingen-groningen).



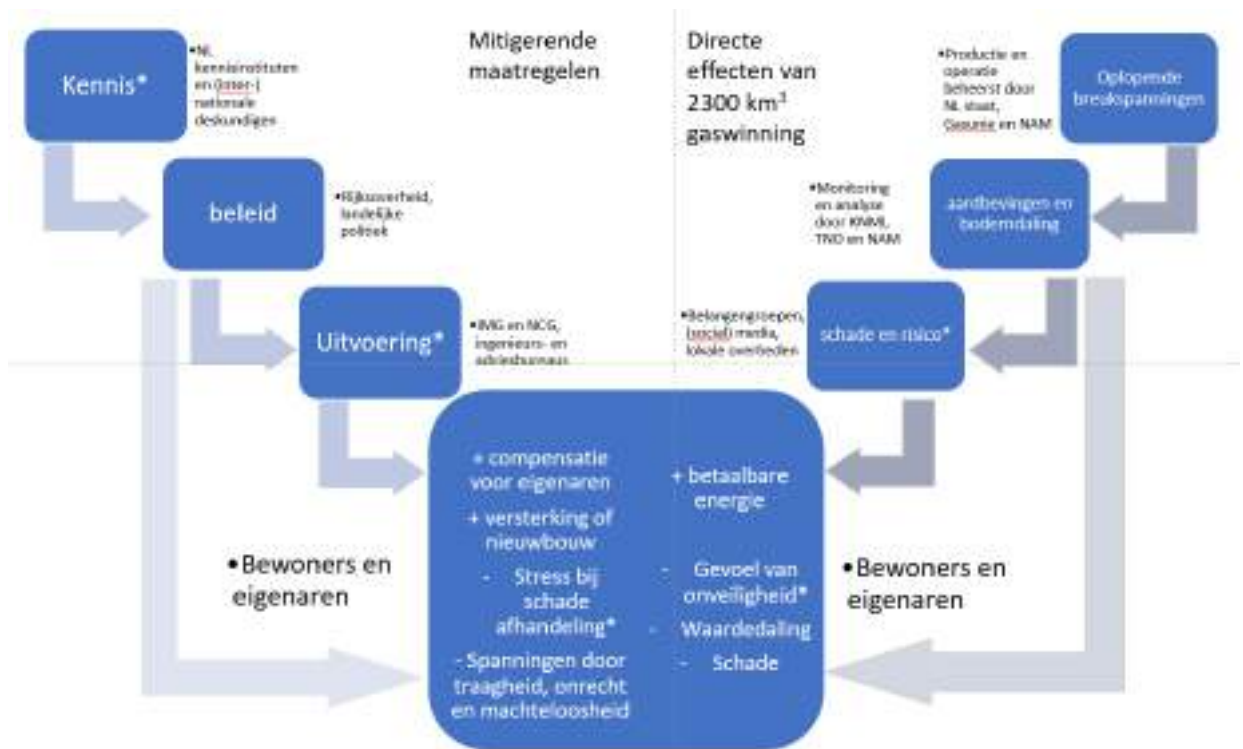
Figuur 1.3: Aantal aardbevingen per jaar op basis van metingen KNMI. Dit betreft de aardbevingen met een kracht van  $M_I \geq 1,2$  in de voorgaande 6 maanden omgerekend naar jaarbasis. Overgenomen van [www.dashboardgroningen.nl/aardbevingen-groningen](http://www.dashboardgroningen.nl/aardbevingen-groningen)

- e. Het aantal adressen dat onderdeel is van de versterkingsoperatie is opgelopen van 2800 in 2017 tot 27.256 per 1 april 2023. Hiervan waren 3516 inmiddels daadwerkelijk versterkt, en bij circa 8780 adressen is vastgesteld dat ze alsnog voldoen aan de norm. Er resteren derhalve nog circa 15.000 adressen, waarvan een significant deel is al is beoordeeld, echter volgens een inmiddels achterhaalde, te strenge norm.
- f. De aardbevingsdreiging, uitgedrukt in versnelling PGA (peak ground acceleration) op de maatgevende locatie nabij Loppersum, is afgenomen van 0,24 g in 2017 (versie V4 van KNMI d.d. 15 juni 2017) naar 0,12 g in 2023 (volgens publieke SDRA). De hoogte van deze waarde bepaalt samen met de gebouwkenmerken en het gebruik het veiligheidsrisico. Bij gelijkblijvende gebouwkenmerken betekent dit dat het risico afneemt.
- g. De informatie over veiligheid van gebouwen in het effectgebied is niet eenduidig, hetgeen blijkt uit het feit dat het aantal gebouwen dat volgens rapportages van NAM, TNO en NCG (mogelijk) niet voldoet aan de veiligheidsnorm sterk varieert. Een deel van de onduidelijkheid wordt veroorzaakt door de variabele (steeds lagere) dreiging, een deel door voortschrijdend inzicht en een deel door verschil van inzicht tussen deskundigen. Er zijn echter nog meer oorzaken die de verschillende aantallen verklaren, waaronder niet-technische. De schaalgrootte en de noodzakelijke vereenvoudiging van analyses om het uitvoerbaar te maken spelen hierbij ook een rol.
- h. Het vertrouwen van de bewoners in de schade-afhandeling is beperkt (Boot et al, 2022)
- i. De kosten voor de afhandeling (o.a. deskundigen) van schademeldingen waren volgens de jaarcijfers van IMG over 2022 voor nieuwe schades 72 cent per Euro uitgekeerde compensatie en voor herhaalschades 142 cent per Euro uitgekeerde compensatie.

- j. Er is bij de bewoners van (de kern van) het effectgebied sprake van stress-gerelateerde gezondheidsklachten die veroorzaakt worden door aardbevingen, gebouwschade, gebrek aan vooruitzicht, procedures/bureaucratie, gebrek aan erkenning, problemen met kosten van levensonderhoud (ook door energiecrisis) (Gronings Perspectief, 2023)

## 1.6 Uitdagingen schade-afhandeling en versterking

Zowel bij de schade-afhandeling als bij de versterking vormen de schaalgrootte en in de loop der tijd gewijzigde organisatie en inzichten een uitdaging. Het gevolg is dat de mitigerende maatregelen die bedoeld zijn om de risico's te verkleinen en de schade te compenseren, de problematiek voor een deel van de bewoners juist vergroten. Hierdoor ontstaat gezondheidsschade bij een deel van de bewoners door stress, met waarschijnlijk ook slachtoffers tot gevolg (Gronings Perspectief, 2023). De directe gevolgen van aardbevingen bestaan tot op heden niet uit persoonlijk letsel door bezwijken van gebouwen. In het overzicht in Figuur 1.4 is met een \* aangegeven waar tilsensoren mogelijk meerwaarde kunnen bieden.

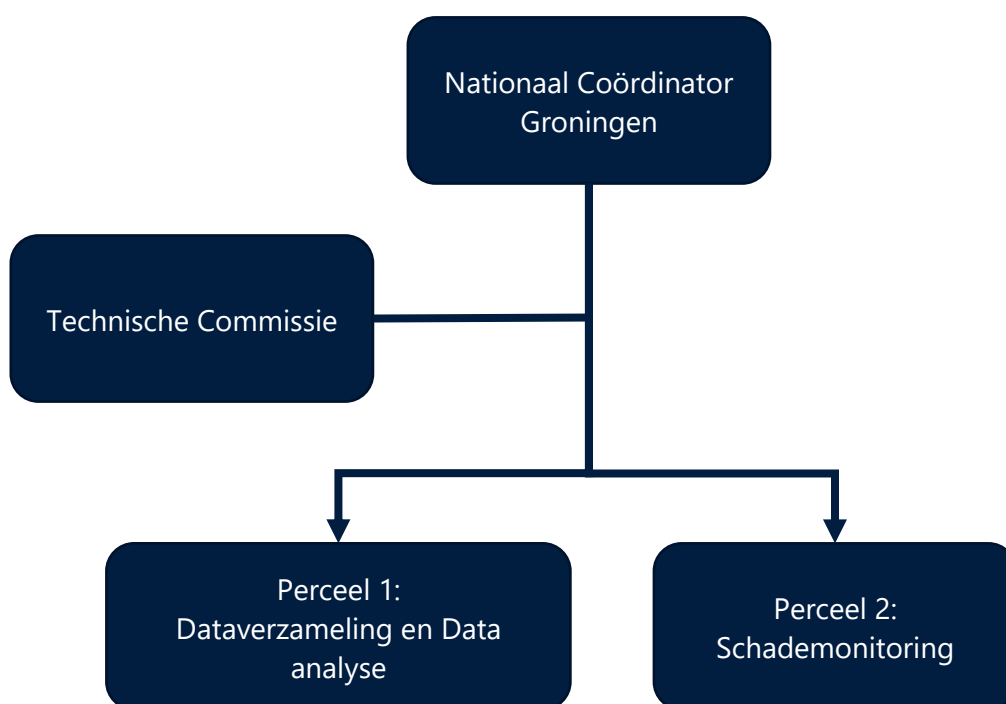


Figuur 1.4: Overzicht diverse processen rondom schadeafhandeling en gebieden (\*) waar meerwaarde van tilsensoren dient te worden onderzocht

## 2. Operationele structuur

### 2.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt een weergave gegeven van de operationele structuur die gehanteerd is tijdens de uitvoering van de Pilot Tiltsensoren. De opdrachtgever NCG wordt in het aansturen van de pilot bijgestaan door een Technische Commissie TC. De pilot is opgedeeld in 2 delen (percelen genoemd). Perceel 2 omvat het beschrijven van de objecten en het vastleggen van de schade aan de objecten. Perceel 1 omvat het installeren van sensoren en de data-analyse van de verzamelde data. Bovengenoemde is schematisch weergegeven in Figuur 2.1.



Figuur 2.1: Schematische weergave operationele structuur

### 2.2 Technische Commissie

De Technische Commissie heeft een adviserende en validerende rol en bestaat uit deskundigen van kennisinstituten, Hanzehogeschool en bedrijfsleven. De taken en verantwoordelijkheden zijn:

- Review van meetopstellingen zoals voorzien door Opdrachtnemer;
- Monitoring onder begeleiding van Opdrachtnemer interpretatie/begeleiding;
- Review tussenrapportage;
- Op basis van (tussen-)rapportages adviseren over consequenties voor de pilot;
- Concluderen of de onderzoeksvragen voldoende zijn beantwoord.

---

## 3. Onderzoeksvragen

### 3.1 Algemeen

In het aanbestedingsdocument (Nationaal Coördinator Groningen, 2018) is het algemene doel van de pilot gedefinieerd samen met een aantal indicatoren waaraan het succes van de pilot getoetst kan worden, deze zijn onderstaand overgenomen.

*“Het doel van de pilot is om de meerwaarde van tilsensoren vast te stellen bij het bepalen van het verband tussen mijnbouw en schade, binnen de invloedssfeer van het Groningen-gasveld.”*

*De pilot is geslaagd indien:*

- *Duidelijkheid wordt verkregen in hoeverre tilsensoren aanvullende informatie verschaffen (vergeleken met het bestaande meetnet), met name bij het beoordelen van schade en ook voor het bepalen van risico's;*
- *Inzicht wordt verkregen in hoeverre met tilsensoren onzekerheden in de beoordeling van schade en veiligheid verkleind kunnen worden.*
- *De communicatie met de bewoners die een object voor deze pilot beschikbaar stellen, naar tevredenheid van alle partijen is verlopen.*

Het doel van de pilot, zoals beschreven in het aanbestedingsdocument (Nationaal Coördinator Groningen, 2018), is om de meerwaarde van tilsensoren vast te stellen bij het bepalen van het verband tussen mijnbouw en schade, binnen de invloedssfeer van het Groningen-gasveld en de gasopslag in Norg. In het navolgende wordt ingegaan op:

- a. Het bestaande meetnet als basis voor besluitvorming
- b. Kwantificering van effecten van mijnbouw op de bodem
- c. Huidige situatie met betrekking tot de veiligheid en versterking
- d. Welke schaalgrootte en inspanning zijn optimaal
- e. Oorzaken van schade
- f. De 9 onderzoeksvragen

Hoewel de dreiging vanuit de aardbevingen inmiddels sterk is gedaald, zijn er andere factoren die mogelijk zorgen voor een verhoogd risico voor een deel van de gebouwen. Met name oudere gebouwen met achterstallig onderhoud en gebouwen die zijn verzwakt door eerdere aardbevingen zijn mogelijk alsnog kwetsbaar, ondanks de verlaagde aardbevingsdreiging. Er zijn bij het beoordelen van schade binnen het invloedsgedebied van het Groningen gasveld en de gasopslag bij Norg bovendien omstandigheden die de beoordeling van schade lastig maken:

- a. Veel gebouwen zijn opgebouwd uit, of bevatten kwetsbare constructie-onderdelen zoals metselwerk. Vervorming of trilling van dit materiaal kan leiden tot scheurvorming en er is een groot aantal potentiële grond-gerelateerde en niet grond-gerelateerde oorzaken van schade. De oudere woningen zijn nooit ontworpen en gebouwd om aardbevingsbelasting te kunnen opnemen.



- b. Veel gebouwen zijn gefundeerd op staal, op min of meer samendrukbare ondergrond (met name klei en veen), en ongelijkmatige zakking van de fundering of trillingen kunnen mogelijk scheuren veroorzaken. Deze gebouwen kunnen schade ondervinden ten gevolge van processen in de ondergrond, met name (extra) zetting, krimp, zwel, oxidatie. Deze processen zijn sterk afhankelijk van de weersomstandigheden, (grond-) waterstanden, droogte en klimaatverandering.
- c. Vanwege het groot aantal mogelijke schade-oorzaken en het ontbreken van bruikbare opnames of monitoring, worden oorzaken van schade in het algemeen bepaald op basis van waarschijnlijkheid. Daarbij is een belangrijke parameter voor het beoordelen van de kans op schade door aardbevingen, de berekende trillingssterkte, waarbij gebruik is gemaakt van metingen in de omgeving.

### 3.2 Bestaande meetnet als basis voor besluitvorming

Aardbevingen worden wereldwijd geregistreerd door het meten van trillingen in en op de aarde. Op basis hiervan worden de diepte, locatie en sterkte van aardbevingen bepaald, alsmede de effecten op het maaiveld en op gebouwen. Daarmee worden de kans op schade berekend en de in het constructief ontwerp te verrekenen aardbevingsbelasting.

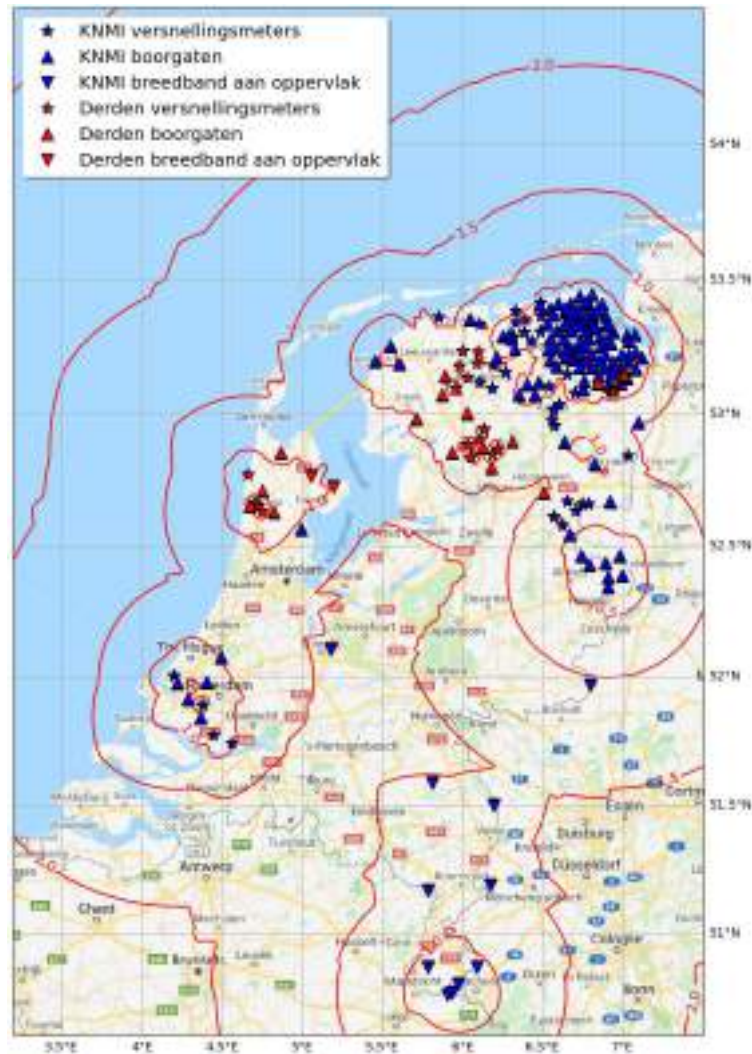
In de periode 2014-2019 was er een gebouw-netwerk operationeel, waarbij een groot aantal accelerometers in gebouwen is geplaatst. Er vonden reguliere en (na aardbevingen) incidentele schadeopnames plaats.

Het thans aanwezige monitoring netwerk in Groningen (Figuur 3.1) waarmee door KNMI de aardbevingen worden gemeten is een van de grootste, meest fijnmazige en gevoelige ter wereld (KNMI, 1993). De metingen vormen samen met de eigenschappen van de gebouwen de basis voor de beoordeling van de kans op schade door aardbevingen (door IMG), alsmede de dreigings- en risicoanalyse voor het Groningen gasveld (voorheen door NAM, nu door TNO). Mede op basis hiervan wordt op basis van modellen de noodzaak van versterkingsmaatregelen bepaald. De ontwikkeling van die modellen is tot stand gekomen door inschakeling van wereldwijd beschikbare expertise, en met name na 2012 zijn de modellen om de effecten en dreiging te berekenen significant verbeterd. De relatie tussen (afnemende) gaswinning en (afnemende) effecten is daardoor behoorlijk nauwkeurig te berekenen. Over de relatie tussen (afnemende) gaswinning en afnemende schade-toename en risico's op de gezondheid van de bewoners is veel minder bekend. Besluitvorming met betrekking tot de (afname van) de productie kan doordoor goed worden onderbouwd met technische modelberekeningen. Voor wat betreft de invloed van productiebeperking op de gezondheid van de bewoners zijn geen modellen voorhanden en deze wordt daarom ingeschat.

Gas- en zoutproductie gaan ook gepaard met bodemdaling (en stijging bij gasopslag). In principe zijn dat ook potentiële oorzaken voor schade. Er bestaan meetnetten die deze bewegingen volgen door middel van waterpassing, GPS en InSar. De bodemdalingsgegevens



worden o.a. gebruikt om te beoordelen of maatregelen nodig zijn, en om te beoordelen of schade kan optreden ten gevolge van de bodemdaling.



Figuur 3.1: Seismische stations in Nederland waarvan de data bij het KNMI geregistreerd worden. De meeste zijn KNMI-stations en een deel is van derden, bijv. operators. De lijnen geven de minimale magnitude aan die op een locatie gemeten kan worden (KNMI, 2021).

### 3.3 Kwantificering van effecten van mijnbouw op de bodem

De schade door gaswinning, zoutwinning of gasopslag kan in theorie worden veroorzaakt door:

1. Trillen van gebouwen door aardbevingen
2. Verweking van gevoelige ondergrond door aardbevingstrillingen, met zettingen van de fundering tot gevolg
3. Effect van diepe grondbeweging (compactie gasveld, wisselende vullingsgraad gasopslag, zoutwinning) naar het maaiveld
4. Zettingsverschil door te grote peilverlaging ter compensatie van bodemdaling. Dit theoretisch effect is binnen de Pilot Tiltensoren niet onderzocht omdat dit een bijzonder onwaarschijnlijk indirect effect van de gaswinning is wat in de praktijk niet van toepassing kan zijn op de onderzoekslocaties.

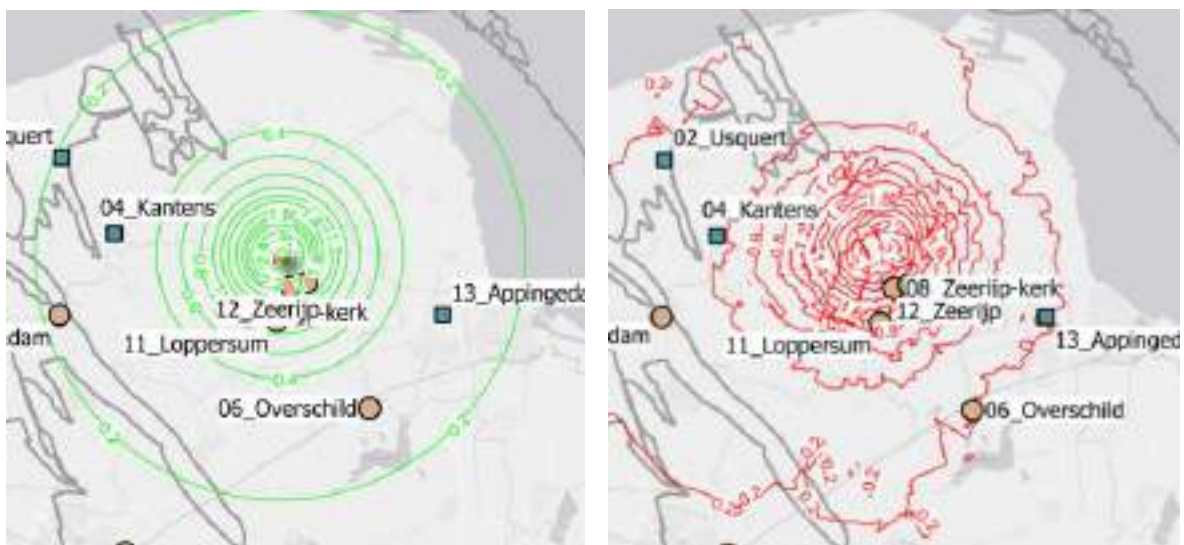
## 1. Effecten van mijnbouw op de bodem: trillingen door aardbevingen

In Groningen is met name het trillen door aardbevingen relevant bij de beoordeling van gebouwschade. Bij de beoordeling van de schades door IMG wordt gebruik gemaakt van het empirisch GMPE van 2019 voor het berekenen van de piekgrondsnelheden PGV. (Bommer et al, 2019). Dit is een op basis van KNMI-data gekalibreerd statistisch model, waarbij het effect van aardbevingen afhankelijk is van de Magnitude en van aardbevingen en de afstand.

Als voorbeeld voor de verschillen tussen relatief simpel model, metingen en een complex 3D-model zijn de PGV's weergegeven voor de aardbeving van Zeerijp van 8 januari 2018: achtereenvolgens:

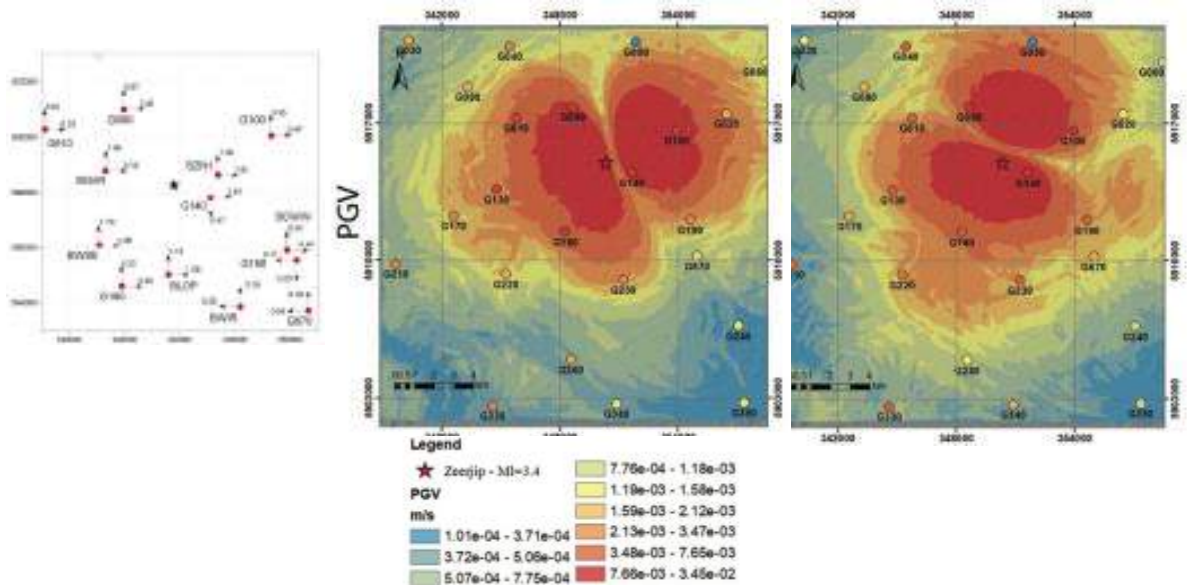
- empirisch GMPE verwachtingswaarde, Figuur 3.2 links
- shakemap van KNMI (combinatie empirisch GMPE en metingen), Figuur 3.2 rechts
- metingen KNMI van nabijgelegen stations, Figuur 3.3 links
- uitkomst van de 3D modelberekening uit de KEM04 studie (Dijkstra, 2020) , Figuur 3.3 midden en rechts

Uit het voorbeeld blijkt dat er onzekerheid is over de trillingsnelheid die een aardbeving heeft veroorzaakt op een te beoordelen locatie. Dit wordt door IMG ondervangen door uit te gaan van een zodanig hoge PGV, dat de kans zeer klein is (1/100) dat deze waarde in werkelijkheid is overschreden.



Figuur 3.2 Links: Trillingsnelheid op basis van empirisch GMPE voor M3.4 aardbeving d.d. 8 januari 2018 in Zeerijp (mediane waarden), PGV max = 2,8 cm/s. Rechts: Trillingsnelheid op basis van KNMI shakemap voor diezelfde aardbeving, PGV max = 2,5 cm/s

Uit de 3D modelberekeningen (met een resultaat weergegeven in Figuur 3.3) blijkt dat de ruimtelijke variatie van de effecten aan maaiveld en dat de opgetreden trillingsnelheid nooit exact kan worden bepaald door middel van metingen of modellen. De toepassing van een ruime veiligheidsmarge op de berekende waarden moet deze onzekerheid ondervangen.



Figuur 3.3: Trillingsnelheid zoals gemeten door KNMI (links), hoogste waarde is 3,2 cm/s in oost-west richting; en trillingsnelheid (mediane waarden) op basis van 3D model van KEM04 studie voor M3.4 aardbeving d.d. 8 januari 2018 in Zeerijp: in oost-west richting (middelste figuur) en in noord-zuid richting (rechter figuur). Hoogste waarde is 3,5 cm/s (Dijkstra, 2020)

## 2. Effecten van mijnbouw op de bodem: zetting door verweking

Voor verweking geldt een grens op basis van grondsoort en piekgrondversnelling PGA. In veel gevallen wordt verweking op basis van locatie en opgetreden aardbevingen niet als een realistisch scenario beschouwd bij de beoordeling van schade-oorzaken.

## 3. Effecten van mijnbouw op de bodem: bodemdaling door diepe bodembeweging

Voor het effect van diepe grondbeweging heeft IMG zich laten adviseren door TUDelft en TNO (Geurts et al, 2021). In deze studie wordt geconcludeerd dat diepe bodemdaling in de gasopslag Norg en het Groningenveld niet leidt of heeft geleid tot schade aan gebouwen. Er loopt nog een vervolgstudie door Deltares. Ook voor de zoutwinning bij Tripscompagnie en Borgercompagnie is een studie uitgevoerd naar mogelijke gebouwschade. (Brinkman, 2018).

### 3.4 Huidige situatie met betrekking tot veiligheid en versterking

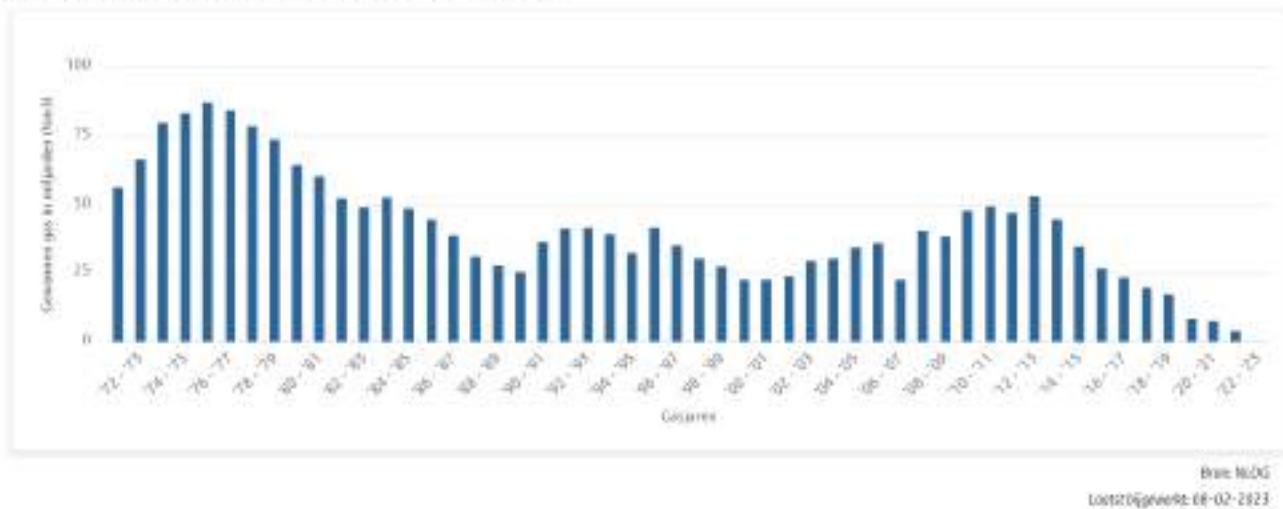
De versterkingsoperatie wordt georganiseerd door NCG. Door diverse factoren zijn veel gebouwen getoetst op basis van een achterhaalde, te hoge aardbevingsdreiging. Dit houdt verband met de omvang van de operatie, de veranderende aardbevingsdreiging (met name door de productiebeperking), de kennisontwikkeling, wijzigende inzichten en beperkte uitvoeringscapaciteit. Er zijn op dit moment nog circa 15.000 adressen die een actieve fase van de operatie zitten, bijvoorbeeld omdat de veiligheid wordt beoordeeld of omdat er daadwerkelijk versterkt wordt.

De aardbevingsdreiging vanwege geïnduceerde aardbevingen in Groningen is inmiddels vergelijkbaar met de dreiging vanwege tektonische aardbevingen in Limburg. Volgens (Publieke SDRA Groningen gasveld 2022, 2022) geldt voor het gasjaar 2023-2024 een piekgrondversnelling van  $PGA = 0,12$  g, bij een herhalingstijd van 475 jaar. Volgens (Cedric Duvail, 2022) kan de piekgrondversnelling ten gevolge van natuurlijke aardbevingen in Limburg worden geschat op 0,10 tot 0,15 g (bij een herhalingstijd van 475 jaar).

Er bestaan vanuit NAM, TNO en SodM meerdere rapportages over de hoeveelheid gebouwen dat niet voldoet aan de norm. Zowel NAM als TNO hebben op basis van statistische analyses berekend dat vrijwel alle gebouwen voldoen aan de norm, bijvoorbeeld door TNO in de update van november 2022 (Publieke SDRA Groningen gasveld 2022, 2022). Een deel van de onduidelijkheid wordt veroorzaakt door de variabele (steeds lagere) dreiging, een deel door voortschrijdend inzicht en een deel door verschil van inzicht tussen deskundigen. De schaalgrootte en de noodzakelijke vereenvoudiging van analyses om het behapbaar/uitvoerbaar te maken spelen hierbij ook een rol. Het kost bovendien enige tijd om het voortschrijdend inzicht te verwerken in de aardbevingsnorm, de NPR 9998. Periodiek zijn nieuwe versies van deze norm gepubliceerd. Hiermee worden de bestaande gebouwen beoordeeld op basis van een maximum risico op overlijden door instorting van minder dan 1 op 100.000 per jaar (de Meijdamnorm). Als TNO zijn eigen aanbeveling volgt met betrekking tot modelkeuzes in de SDRA worden 930 gebouwen (meestal schuren) gevonden die niet voldoen aan de Meijdamnorm.

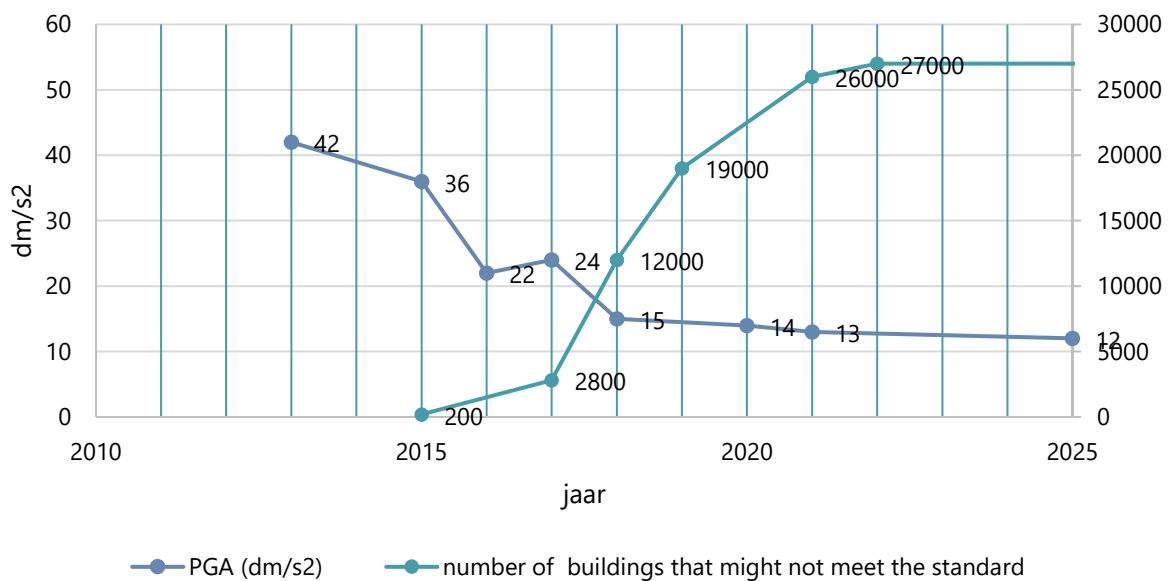
De afnemende gasproductie en dreiging en het stijgende aantal adressen dat onderdeel is geworden van de versterkingsoperatie illustreert de vertraging die van toepassing is tussen dreiging en versterking, zie Figuur 3.5, gebaseerd op maximum PGA zoals gepubliceerd door KNMI (2013-2018), HRA (NAM) en SDRA (TNO) en aantallen zoals samengevat door (Vlek, 2021) en NCG.

### Jaarlijks gewonnen gas uit het Groningenveld



Figuur 3.4: Productie uit het Groningen gasveld in de loop van de tijd

### afname van dreiging (uitgedrukt in max. PGA), toename van aantal gebouwen in het versterkingsprogramma



Figuur 3.5: Overzicht van maximum PGA (in  $dm/s^2$ ) volgens KNMI (hazardkaart V0 uit 2013 t/m V5 uit 2018) en TNO (SDRA 2021) en versterkingsopgave (aantal woningen dat hier onderdeel is) in de loop van de tijd volgens Charles Vlek (2015-2021) en NCG (2021-2023).

## 3.5 Welke schaalgrootte en inspanning zijn optimaal

Meerwaarde van tilsensoren houdt in dat de investering en inspanning die is benodigd voor het inzetten van tilsensoren voldoende oplevert, en er geen andere methoden zijn die effectiever zijn. De investering hangt sterk af van de schaal waarop de sensoren worden ingezet. Gekozen kan worden tussen kleinschalig ten behoeve van kennisopbouw, grootschalig omdat het helpt bij de schades (voorspellen, voorkomen, beoordelen van



schade) en gerichte inzet indien de sensoren dienen te helpen bij het beheersen van risico's of bij onderzoek in geval van langlopende schadeprocedures.

Het huidige meetnet richt zich met name op het monitoren van de aardbevingen en de trillingen op en nabij het maaiveld en sluit daarmee aan bij de internationaal erkende methode. Tiltsensoren richten zich op de effecten op de bebouwing. Een tiltsensor kan in 2 richtingen de rotatie van een punt meten. Veranderende rotaties van muren of vloeren geven o.a. inzicht in spanningsopbouw in een gebouw, met name als sprake is van verschillende rotaties binnen een bouwwerk. Daarmee geven de sensoren vooral informatie die specifiek van toepassing is op dat bouwwerk. Trillingsmetingen van KNMI gaan uit van de effecten aan het maaiveld, en geven daarom ruimtelijk gezien een goed beeld van invloed van aardbevingen en andere trillingen, zodat het niet nodig is om op (alle) gebouwen een sensor te plaatsen. Bij tiltsensoren moet ermee rekening worden gehouden dat historische data ontbreekt en dat eventuele inzet van tiltsensoren betekent dat bewoners overlast kunnen ervaren. Grootschalige inzet van tiltsensoren zou ook een forse inspanning en investering betekenen en veel overlast.

### **3.6 Oorzaken van schade**

Tiltsensoren kunnen langzame processen zoals effecten van vershilzettingen of uitdroging van de ondergrond meten, maar ook snelle veranderingen zoals blijvende vervorming door trillingen. Versnellingsopnemers kunnen (zeer) langzame processen, zoals bodemdaling en vershilzetting, niet waarnemen. Wat dat betreft biedt dit een kans voor de toepassing van tiltsensoren. Tiltsensoren kunnen vervorming van gebouw-onderdelen vastleggen in tijd (mits deze gepaard gaan met rotatie (hoekverdraaiing)). Omdat oorzaken van schade vaak afhankelijk van tijd zijn, kunnen met behulp van tiltsensoren diverse invloeden op een gebouw worden onderscheiden en gekwantificeerd. Als er bovendien een relatie tussen rotatie en schade kan worden gevonden, dan wordt er ook een beter inzicht in de oorzaken van schade verkregen.

De focus zal worden gelegd op het vaststellen van schadetoename en het zoeken naar oorzaken van deze toename. Daarbij kan per oorzaak worden bepaald of de data uit de geplaatste tiltsensoren helpt bij het vaststellen van de oorzaken. Er zijn veel mogelijke oorzaken van gebouwschade, zoals in Figuur 3.6 uit (Staalduinen et al, 2019) is weergegeven.

tabel 3.1: 'Lijst van mogelijke typen schade' [21,4]

Groep	Omschrijving	oorzaak		
A	Belastingen	A1 weerstand onvoldoende	A.1.1 Initieel	
			A.1.2 Verbouwing	
			A.1.3 Versuivering	
	A2	overbelasting normaal gebruik (statisch)	A.2.1 Normale gebruik	
			A.2.2 Veranderd gebruik	
			A.2.3 Verbouwing/uitbreiding	
			A.3.1 Wegverkeer	
			A.3.2 Treinverkeer	
			A.3.3 Bouwactiviteiten in omgeving	
	A3	overbelasting (trillingen)	A.3.4 Industriële activiteiten	
			A.3.5 Aardbevingen	
			A.4.1 Impact van voorwerpen	
			A.4.2 Explosie	
			A.4.3 Regen-/sneeuwval	
			A.4.4 Storm	
			A.4.5 Blikseminslag	
A4	incidentele overbelasting	B.1.1 Initieel		
		B.1.2 Verbouwing/uitbreiding		
		B.1.3 Versuivering/aanraking		
		B.2.1 Initieel		
		B.2.2 Verbouwing/uitbreiding		
		B.2.3 Contact met metalen onderdelen		
		B.2.4 Bomen en wortelgroei		
		C.1.1 Gelijktijdige belastingen		
		C.2.1 Verbouwing/uitbreiding/veranderd gebruik		
		C.2.2 Bouwning		
C.2.3 Ophoging				
C.2.4 Ontgraving				
C.2.5 Weglichaam				
C.2.6 Spoorlichaam				
B	Verformingen	B1 verhinderde verformingen	C.3.1 Lokale wijzigingen grondwaterstand	
			C.3.2 Wijziging gwt door werkzaamheden	
			C.3.3 Wijziging gwt door peilbesluit	
	B2	opgelegde verformingen	C.3.4 Trillingen door wegverkeer	
			C.3.5 Trillingen door spoorverkeer	
			C.3.6 Trillingen door werkzaamheden	
			C.3.7 Aardbevingen	
	C	Onregelmatige zettingen in de ondergrond	C1 autonome zettingen	C.3.8 Wijziging grondwaterstand door bomen
				C.3.9 Diepe bodemdalingseffecten (rek, krommingen, scheefstaand)
		C2	verandering belasting op de ondergrond	C.3.10 Natuurlijk extreme variaties in grondwaterstand
				C.2.1 Verbouwing/uitbreiding/veranderd gebruik
				C.2.2 Bouwning
				C.2.3 Ophoging
				C.2.4 Ontgraving
C3	verandering in ondergrond	C.2.5 Weglichaam		
		C.2.6 Spoorlichaam		
		C.3.1 Lokale wijzigingen grondwaterstand		
		C.3.2 Wijziging gwt door werkzaamheden		
		C.3.3 Wijziging gwt door peilbesluit		
		C.3.4 Trillingen door wegverkeer		
		C.3.5 Trillingen door spoorverkeer		

<sup>1</sup> De elementen C3.8, C3.9 en C3.10 zijn aan de oorspronkelijke classificatie uit [5.1] toegevoegd.

Figuur 3.6: Overzicht mogelijke typen gebouwschade, overgenomen uit (Staalduinen et al, 2019)

Slechts een beperkt deel van mogelijke schade-oorzaken houdt verband met mijnbouw (A.3.5, C.3.7 en C.3.9). Tiltensoren kunnen waarschijnlijk niet helpen bij het beoordelen van alle typen schade-toename, omdat niet alle schade-toenames gepaard gaan met hoekverdraaiing van gevels. Voor de meeste gebouwen uit de pilot zijn veel mogelijke verklaringen voor schadetoename niet van toepassing omdat het oudere gebouwen betreft (de initiële vervormingen en zettingen zijn in de eerste decennia na de bouw opgetreden) en er zijn geen verbouwingen uitgevoerd die aanleiding geven tot nieuwe schade.

De meest relevante schade-toenames (die mogelijk zijn te meten met tiltsensoren) binnen de pilot zijn in de gevallen dat er niets is veranderd aan het gebouw:

- A.3.5 Trilling door aardbevingen
- C.3.1 t/m C.3.3, C.3.8 en C.3.10 zetting door wijziging grondwaterstand/ uitdroging/ krimp
- C.3.7 Aardbevingen: zetting door verweking en/of verdichting
- C.3.9 Relatieve rotatie en rek door diepe bodemdalingseffecten (alleen te meten met zeer gevoelige tiltsensoren)

In het onderzoek van uit (Staalduinen et al, 2019) wordt nog een andere onderverdeling gemaakt van schade-oorzaken, namelijk:

- a. Gebouw gebonden schade
- b. Schade door aardbevingen
- c. Schade door zettingen

Wat betreft de mijnbouw-gerelateerde schade-oorzaken kunnen tiltsensoren het (blijvende) effect van aardbevingstrillingen vaststellen. Voor het meten van de eventuele effecten/ grondbeweging door compactie van het Groningenveld of beweging van de gasopslag in Norg zijn extreem gevoelige tiltsensoren nodig. De kans dat tiltsensoren tijdens de pilot effecten van verweking kunnen meten is erg klein, en hier is dan ook niet specifiek naar gezocht. De mogelijkheid van verweking is op een andere manier onderzocht, namelijk op basis van waterspanningsmetingen.

### 3.7 De 9 onderzoeksvragen

1. Wat zijn de technische mogelijkheden en beperkingen van tiltsensoren
2. Treedt er schadetoename op tijdens de onderzoeksperiode, en zo ja hoeveel: hoeveel bestaande scheuren worden op basis van visuele vergelijking tussen 0-opname en heropname langer
3. Is er een verband gevonden tussen tiltmeting gevels en schade-toename
4. Treedt er blijvende rotatie van de gevels en wateroverspanning in de bodem op door aardbevingstrillingen
5. Treedt er rotatie van de gevels en de bodem op door gaswinning, gasopslag en zoutwinning en kan deze leiden tot gebouwschade
6. Treedt er rotatie van de gevels en de bodem op door droogte en weersomstandigheden en kan deze leiden tot gebouwschade
7. Bieden tiltsensoren meerwaarde bij het bepalen van mogelijke oorzaken van schade-toename
8. Bieden tiltsensoren meerwaarde bij het bepalen van mogelijke oorzaken van schade-toename
9. Bieden tiltsensoren meerwaarde bij het beheersen van risico's van bestaande gebouwen



---

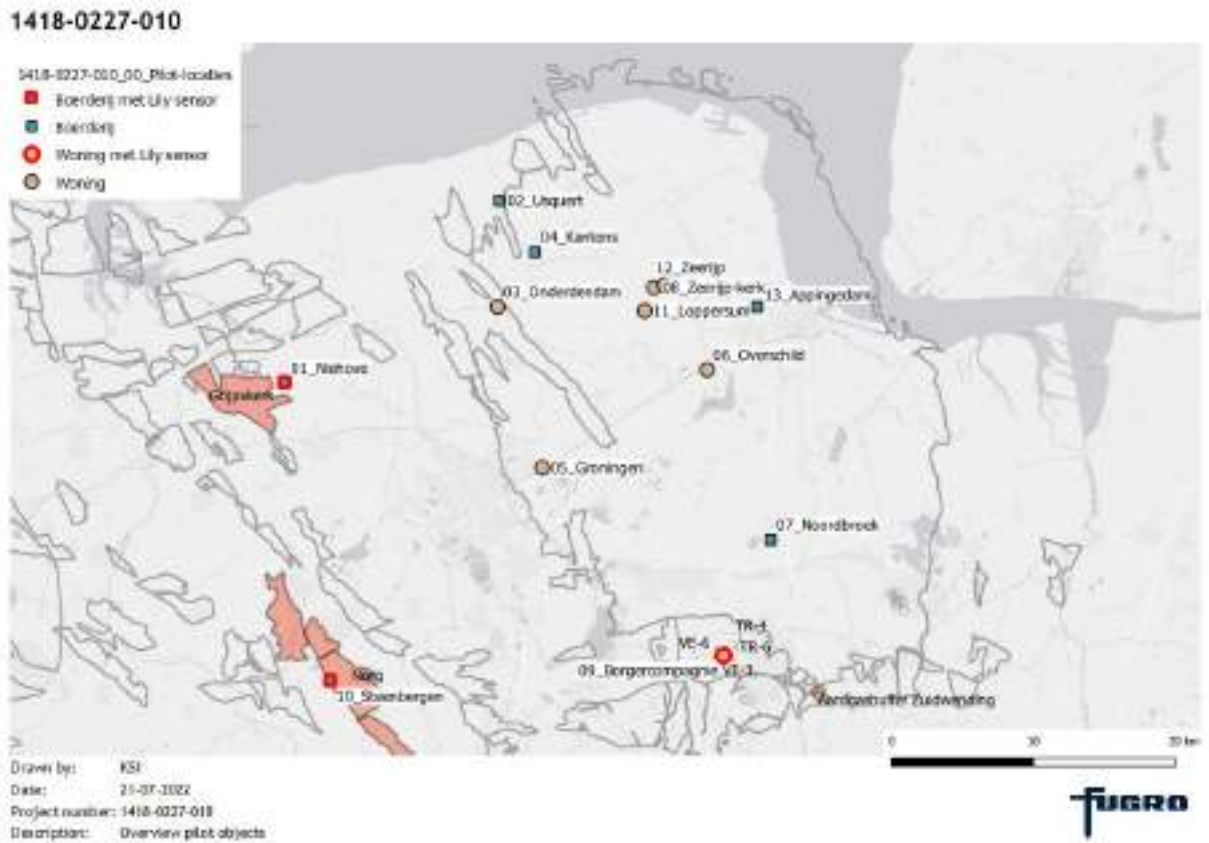
## 4. Onderzoeksmethode

### 4.1 Algemene onderzoeksmethode

De algemene methode waarmee de doelen van de pilot dienen te worden behaald is het monitoren van een aantal objecten. Voor gedetailleerde informatie over de onderzoeksmethode wordt verwezen naar bijlage A: Algemeen Monitoringsrapport. De objecten en de directe omgeving van de objecten zijn vastgelegd in een objectinventarisatie. Dit vastleggen is uitgevoerd doormiddel van een bouwkundige opname, grondonderzoek en het documenteren van aanwezige schades aan het object. Gedurende de looptijd van de pilot zijn het object en de directe omgeving van het object gemonitord door diverse sensoren, waaronder tiltsensoren. Na gekozen periodes in de tijd is de staat van het object opnieuw vastgelegd om deze te kunnen vergelijken met de nul-opname. De verzamelde meetdata is geanalyseerd om het "natuurlijke gedrag" van het object vast te stellen en afwijkingen in de meetdata zijn vastgelegd. Er is een inspanning verricht om de afwijkende meetdata te verklaren en correlaties met veranderingen in de staat/schade van het object zijn onderzocht. Ook is gekeken of in de meetperiode opgetreden bevingen tot hoekverdraaiingen en eventueel schade hebben geleid.

### 4.2 Objecten

NCG heeft 13 objecten geselecteerd voor de uitvoering van de pilot. De objecten zijn geselecteerd aan de hand van criteria vastgelegd in het aanbestedingsdocument. De criteria geven een verdeling aan in afstand tot het centrum van het Groningen gasveld, boerderijen en woningen en de aanwezigheid van aanvullende mijnbouwactiviteiten (gasopslag, zoutwinning). De geselecteerde gebouwen zijn in het algemeen relatief kwetsbaar, en in de meeste gevallen circa 100 jaar oud. Veel gebouwen zijn kenmerkende gebouwen met cultuurhistorische waarde. Ook is een deel van de gebouwen monumentaal. Alle panden bestaan o.a. uit metselwerk en bijna alle panden zijn gefundeerd op staal. De meeste van de geselecteerde panden kunnen als representatief voor oudere bebouwing worden beschouwd en ze bevatten geen kelder of zijn deels onderkelderd. De ondergrond is bij veel gebouwen relatief slap en samendrukbaar. Er zijn echter ook locaties met relatief vaste ondergrond, zoals de locatie Steenberg. In Figuur 4.1 is een overzicht van de locaties van de geselecteerde objecten weergegeven.



Figuur 4.1: Overzicht van locaties van geselecteerde objecten

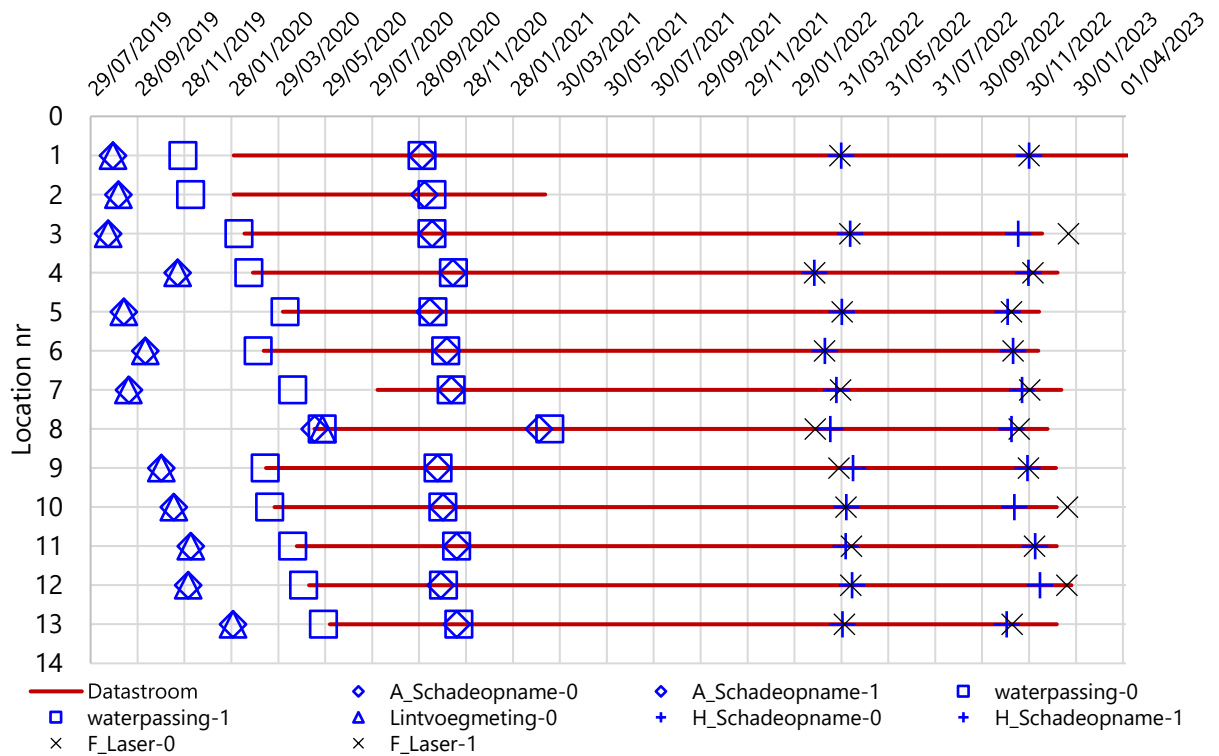
### 4.3 Verloop van de pilot tilsensoren

In deze paragraaf wordt een globaal chronologisch overzicht van het verloop van de Pilot Tilsensoren gegeven. Na de opdrachtverstrekking op 9 april 2019 is er door de opdrachtgever gezocht naar bewoners met geschikte panden die willen meewerken met deze pilot. Daarbij was een zekere spreiding van de locaties gewenst, conform het Aanbestedingsdocument van de opdrachtgever. In de periode tussen mei 2019 en april 2020 zijn 13 locaties met bouwwerken geselecteerd die min of meer voldoen aan de voorwaarden om op te worden genomen in de pilot. Selectie vond plaats op basis van met name locatie, funderingswijze, kenmerken constructie (met name metselwerk), leeftijd en type gebouw (woning, boerderij of anders).

Na selectie van de gebouwen zijn monitoringsplannen opgesteld en ter goedkeuring aan de bewoner, de opdrachtgever en technische commissie voorgelegd. Na eventuele aanpassingen zijn de instrumenten vervolgens in de periode tussen januari en augustus 2020 geïnstalleerd. Per locatie zijn 7 (woningen en toren) of 14 tilsensoren (boerderijen) aangebracht aan de gevels van de gebouwen, ongeveer op 1 m boven maaiveld, zie Figuur 4.2. Op 3 locaties zijn bovendien tilsensoren in de vaste ondergrond aangebracht. In Figuur 4.3 is per locatie nummer een overzicht gegeven van de diverse meetmomenten en momenten van schade opname.



Figuur 4.2: Typische meetopstelling voor de tilsensoren op gevels (links), LILY-sensoren in de ondergrond (midden) en dynamische tilsensor/accelerometer op de meetplaat (rechts).



Figuur 4.3: Globaal chronologisch overzicht

De door derden uitgevoerde nulmetingen van de schade zijn uitgevoerd tussen augustus 2019 en mei 2020. De heropnames vonden na gemiddeld circa 1 jaar plaats, in de periode tussen oktober 2020 en maart 2021. Na aanlevering van de rapportages van de heropnames bleken de schade-opnames niet bruikbaar voor de pilot. Dit is beschreven in de tussenrapportage die door de opdrachtgever is gepubliceerd: Algemene Data Analyse (ADA), rapport 1418-0227-010\_ADA 1.0 d.d. 16 december 2021 (Fugro, 2021). Na deze fase was het doel van de pilot niet bereikt, omdat juist de relatie tussen tiltmetingen en schade-toename een centraal onderdeel vormde van het onderzoek. De tweede fase van de pilot tilsensoren betreft een verlenging van de pilot bij 12 gebouwen, tussen 1 maart 2022 en 1 november 2022.

Nadat in 2021 bleek dat het onmogelijk was om op basis van de opnames en foto's een betrouwbaar beeld van de toename van schade te verkrijgen, is een verbeterd protocol opgesteld, op basis waarvan nieuwe opnames zouden moeten plaatsvinden. De kwaliteit van

de schade vastlegging diende beter gewaarborgd te worden, bijvoorbeeld door het vanuit meerdere richtingen vastleggen door middel van foto's. De vastleggingen werden uitgebreid met laserscans, gecombineerd met overzichtsfoto's en meerdere detailfoto's. Zodoende zou een zeer nauwkeurig beeld worden verkregen van de staat van de gebouwen, van binnen en van buiten. Door uitvoering van een laserscan aan het einde van de meetperiode konden bovendien de bewegingen van het gebouw in alle richtingen worden gemeten. De hermeting aan de buitenzijde kon ook worden gebruikt om de correcte werking van de tiltsensoren te kunnen controleren.

De opdrachtgever heeft vervolgens op 28 februari 2022 opdracht gegeven om de Pilot Tiltsensoren voort te zetten tot 1 november 2022. Perceel 2, met onder meer de schade opnames, werd ondergebracht bij Fugro. De schade opnames zijn door Fugro uitbesteed aan Hanselman uit Groningen, een gerenommeerde partij op het gebied van schade opnames. Vervolgens zijn de volgende werkzaamheden aan het begin en aan het einde van deze monitoringsperiode uitgevoerd:

- a. Schade opname, inclusief overzichtsfoto's en detailfoto's. Bij eindopname ook beoordeling of sprake is van toename van scheurvorming
- b. Laserscanning binnen (alleen 0-meting) en buiten
- c. Inmeting en vervaardigen 3D model op basis van laserscanning en foto's
- d. Hoogtemeting van/nabij meetbouten met gebruikmaking van de laserscans

Tijdens heel 2022 zijn de tilt gemeten (gevels en op 3 locaties vaste ondergrond) en de versnellingen, waterspanningen en weersomstandigheden.

---

## 5. Resultaten van fase 2, 2022

### 5.1 Overzicht

In totaal is bij 694 scheuren nauwkeurig vastgesteld of er sprake was van toename van schade. Uit de rapportage van Hanselman blijkt dat 7 scheuren sprake was van toename van schade. De overige 687 scheuren waren niet zichtbaar toegenomen. Uit een kwaliteitscontrole is geconcludeerd dat er geen aanleiding is om aan de bevindingen van Hanselman te twijfelen. Wel is er in enkele gevallen sprake van onvoldoende scherpe foto's om het einde van scheuren te kunnen identificeren, of het einde van de scheur was niet zichtbaar. De kwaliteitscontrole kan in die gevallen niet voldoende nauwkeurig worden uitgevoerd.

Tijdens de tweede fase was sprake van een zeer droge zomer en diverse aardbevingen, waaronder de Magnitude 3.1 aardbeving op 8 oktober 2022 in Wirdum en een tweetal M2.7 aardbevingen. Droogte en trillingen zijn bekende oorzaken van toename van schade bij oudere gebouwen van metselwerk, gefundeerd op staal, zoals aanwezig op de meeste onderzoekslocaties. Droogte kan leiden tot zakkingen door lagere grondwaterstand, krimp en oxidatie van de ondergrond. Bij een fundering op staal kan in dat geval sprake zijn van (ongelijkmatige) zakkingen. Bij oudere gebouwen gaat het vooral om extreme droogte. Tevens was er bij een locatie sprake van een verbouwing. Met name in februari zijn er zware stormen geweest.

### 5.2 Relatie tussen metingen, schadetoename en oorzaken

Met betrekking tot metingen, schade-toename en oorzaken zijn de volgende resultaten gevonden:

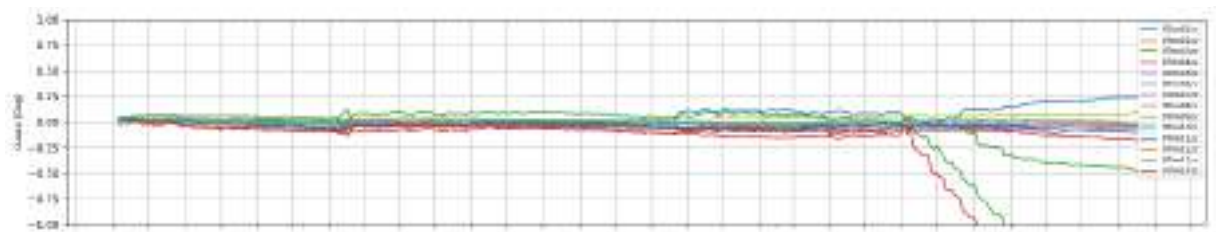
1. De tiltmetingen aan de gebouwen duiden bijna overal op een stabiele situatie, zonder noemenswaardige ( $>0,05$  graden) rotatie van gevels. Uitzonderingen zijn:
  - o Bij 1 onderzoekslocatie werd bij meerdere sensoren (Figuur 5.1) aan een schuur significante rotatie gemeten tijdens een verbouwing (Figuur 5.2), en daar zijn 3 schades-toenames waargenomen.
  - o Bij 1 locatie werd bij meerdere sensoren (Figuur 5.3) tijdelijke en blijvende rotatie gemeten bij een schuur (Figuur 5.4), tijdens en na meerdere stormen (Figuur 5.5). De tiltmetingen duiden erop dat enkele gevels ook na deze stormen permanent zijn geroteerd, echter dit heeft niet geleid tot schadetoename.

Op de overige plaatsen duiden de tiltmetingen niet op blijvende rotatie, ook niet ten gevolge van aardbevingen. Er zijn op 3 locaties in totaal 4 scheuren enigszins in lengte toegenomen zonder duidelijke oorzaak, zoals bijvoorbeeld bij object 06 in Figuur 5.6. Dat betekent dat de toename van de scheuren door (mogelijk een combinatie van) aardbevingstrillingen, zettingsverschillen en/of door bouwtechnische oorzaken kan worden verklaard. In totaal zijn 687 van de 694 opgenomen scheuren niet toegenomen.





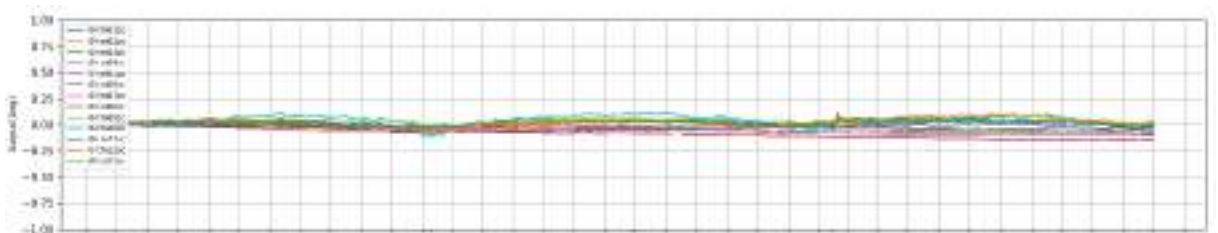
Figuur 5.1: Sensoren op object 07 met een blijvend verschuivend meetbeeld in de gemeten tilt tussen juni en oktober 2022.



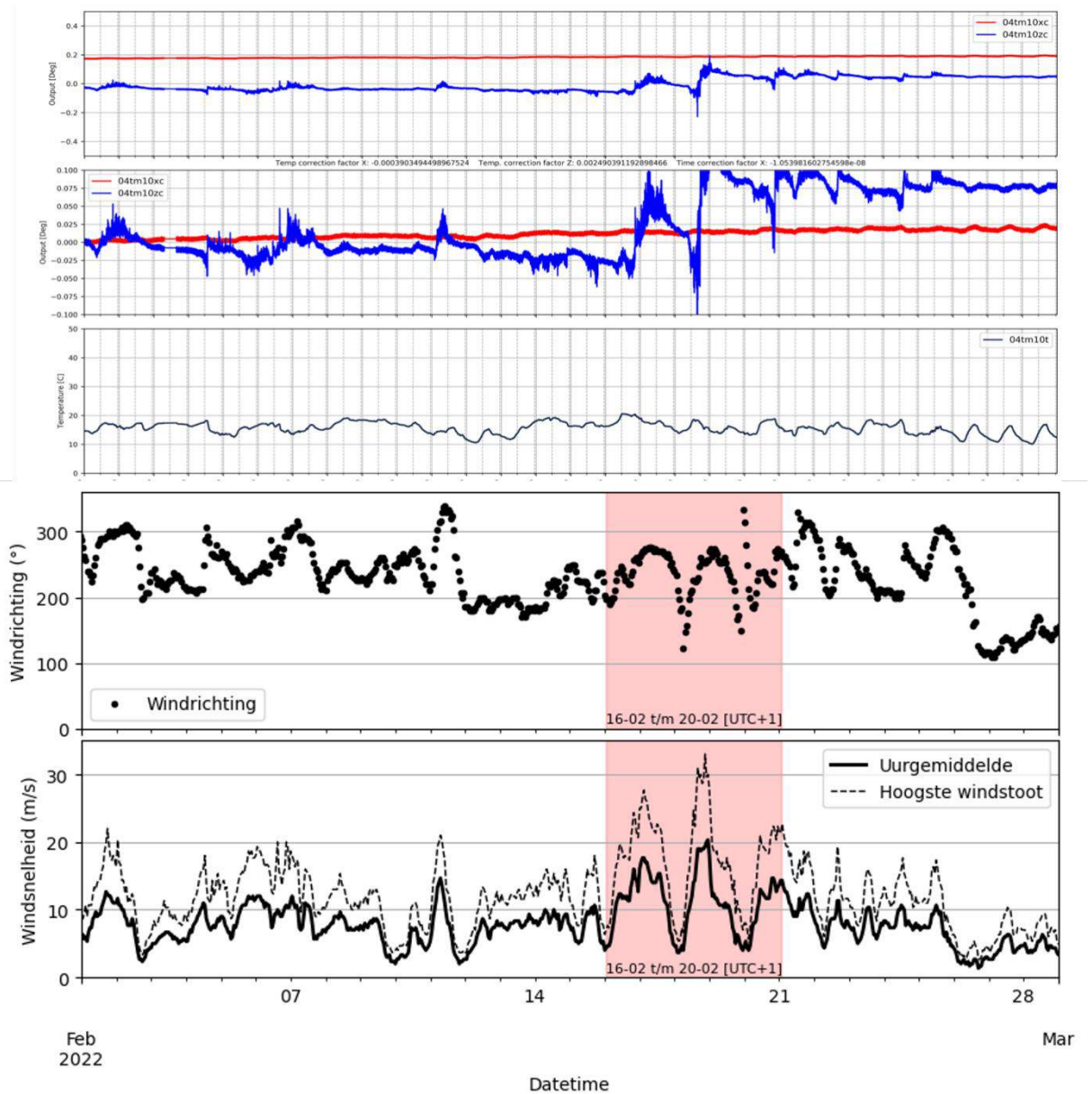
Figuur 5.2: Gecorrigeerde tilt (temperatuur en drift) in z-richting (dwars op muur) voor 14 sensoren op object 07 tussen juli 2020 en januari 2023. Voor sensoren 07TM01, 07TM02, 07TM03, 07TM04, 07TM13 en 07TM14 is tussen juni en oktober 2022 een blijvende verschuiving van de tilt zichtbaar.



Figuur 5.3: Sensoren op object 04 met een blijvend verschuivend meetbeeld in de gemeten tilt in februari 2022.



Figuur 5.4: Gecorrigeerde tilt (temperatuur en drift) in z-richting (dwars op muur) voor 13 sensoren op object 04 tussen februari 2020 en januari 2023. Voor sensoren 04TM10, 04TM11, 04TM12 en 04TM13 is in februari 2022 een blijvende verschuiving van de tilt zichtbaar.



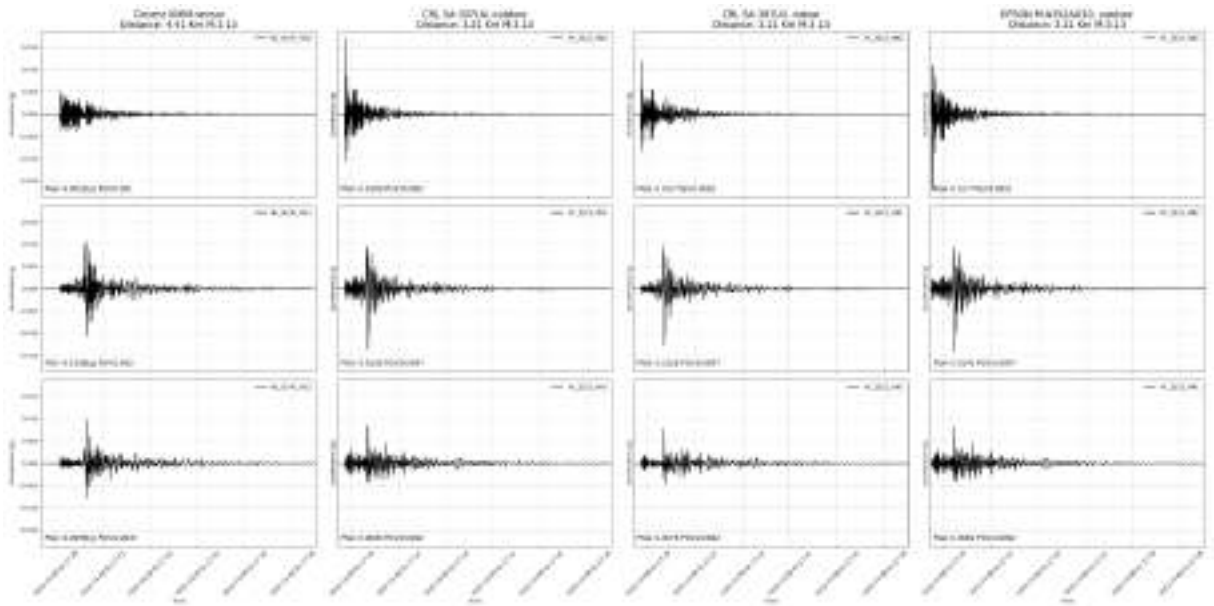
Figuur 5.5: Gecorrigeerde tilt (temperatuur en drift) in x- en z-richting en temperatuur voor sensor 04TM10 in februari 2022 met een blijvende verschuiving zichtbaar tussen 16-02-2022 en 22-02-2022 (boven), windrichting (midden) en uurgemiddelde en hoogst gemeten windsnelheid (onder) in februari 2022 op basis van de gemiddelde metingen door de KNMI-meetstations Eelde, Lauwersoog en Nieuw-Beerta met N=360°, O=90°, Z=180° en W=270°.

06_231	Nulopname	Heropname
Archipunt:		
Datum	21-08-2019	03-11-2020
Opmerking	-	-
Hanselman		
Datum	09-03-2022	09-11-2022
Opmerking	-	-
Geschatte toename in lengte van 49 cm tot 66 cm		

Figuur 5.6: Schadetoename bij schade 06\_231 tussen de nulmeting (09-03-2022) en de heropname (09-11-2022).

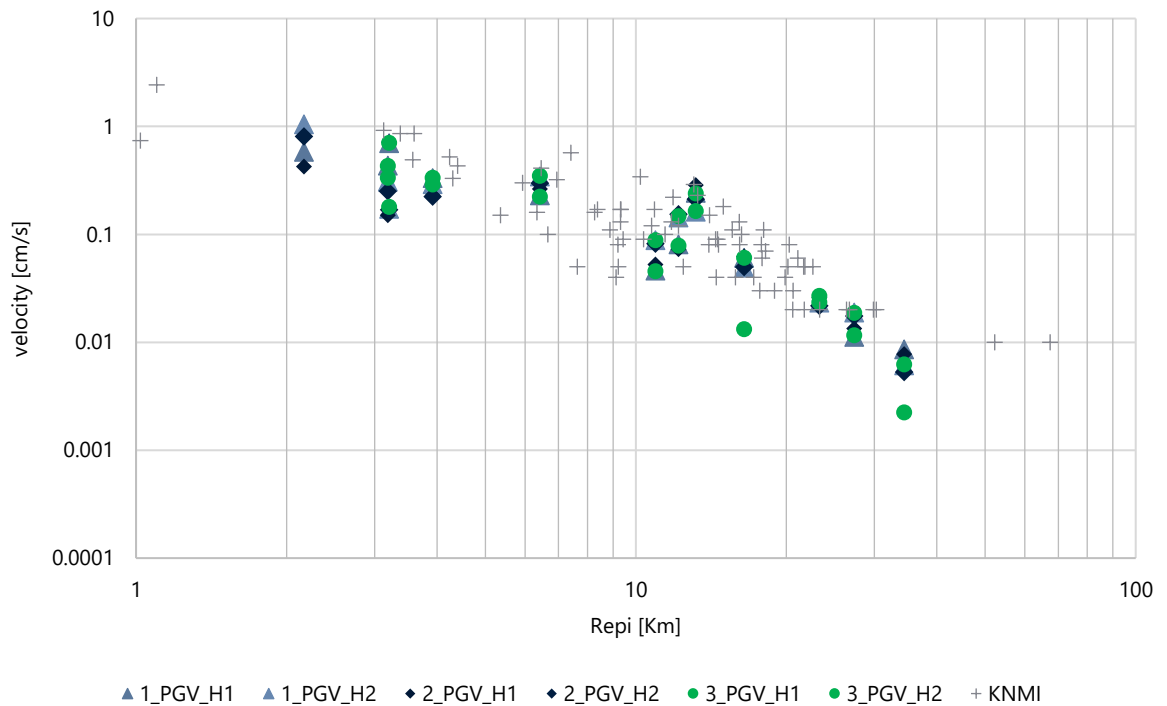
- De tiltmetingen in/aan de gebouwen zijn conform opdracht met een frequentie van 1 Hz uitgevoerd. De nauwkeurigheid en betrouwbaarheid (bedrijfszekerheid en continuïteit datastroom) van de tiltsensoren was voldoende om de rotatie van de buitengevels zodanig te volgen, dat er in tijd een relatie kon worden gelegd tussen veranderingen en mogelijke oorzaken. Wel was een temperatuurcorrectie en een correctie voor drift (in tijd veranderende output van de sensor) nodig. De resultaten zijn gecontroleerd door metingen met laserscanning aan het begin en einde van fase 2. Voor locatie 4 geldt dat de 0-meting van de laserscanning juist na de registratie van tilt (door stormen) is uitgevoerd. De stormen van februari 2022 vallen derhalve juist buiten de controlemogelijkheid van de laserscanning. Per locatie is ook een hoogfrequente tiltmeting (200 Hz) uitgevoerd met een sensor op een meetplaat. Deze tiltsensoren bleken niet bruikbaar als betrouwbare tiltmeter, maar wel als accelerometer (Figuur 5.7 - rechts).





Figuur 5.7: Time History plot van het M3.1 event nabij Wirdum op 08-10-2022 gemeten door de accelerometers. 1) de meest nabije KNMI-sensor uit het G-netwerk; 2) de CRL-sensor bevestigd buiten op de meetplaat nabij object 12; 3) de CRL-sensor bevestigd binnen in object 12; 4) de Epson-sensor bevestigd buiten op de meetplaats nabij object 12.

3. Er zijn 3 relatief zware aardbevingen opgetreden in 2022 (M3.1 en M2.7), met piekgrondsnelheden tussen maximaal  $PGV = 10,5$  mm/s (Loppersum) en  $0,1$  mm/s (Steenbergen). Er zijn na relevante aardbevingstrillingen (bij  $PGV > 0,5$  mm/s) geen rotaties gemeten die gerelateerd worden aan de aardbevingen. Er zijn geen wateroverspanningen gemeten direct na aardbevingen. De groundbewegingen (rotaties) ten gevolge van gasopslag en zoutwinning konden alleen worden gemeten met zeer nauwkeurige tiltsensoren die in de vaste ondergrond zijn geplaatst, en de rotaties waren dermate beperkt dat ook deze sensoren de effecten van de mijnbouw niet of nauwelijks konden onderscheiden. De orde van grootte van gemeten rotaties is duizendste graad. Er is geen verband tussen mijnbouw en meetwaarden van de tiltsensoren aan de gebouwen gevonden omdat deze sensoren en de meetopstelling niet geschikt zijn voor het detecteren van de kleine effecten van diepe bodembeweging, en omdat de aardbevingen niet hebben geleid tot een relevante rotatie.
4. De op de onderzoekslocaties met accelerometers gemeten piekgrondsnelheid  $PGV$  ten gevolge van aardbevingen was vergelijkbaar met de waarden die door KNMI zijn gerapporteerd, en was met name afhankelijk van de sterkte van en afstand tot de aardbevingen en de meetopstelling binnen of buiten op de meetplaat, zie Figuur 5.8.



Figuur 5.8: Gemeten piekgrondsnelheden op de pilot locaties en het KNMI-netwerk ten opzichte van de afstand tot het epicentrum voor de magnitude 3.1 aardbeving op 8 oktober 2022 nabij Wirdum.

5. De schade-opnames tijdens fase 2 waren in het algemeen goed bruikbaar, echter een beperkt aantal foto's was niet volledig scherp of voldoende helder voor controledoeleinden. Ook was soms de schade niet geheel zichtbaar op de foto's. De onzekerheid met betrekking tot de schade-toename lijkt beperkt, aangezien de kwaliteitscontroles door Hanselman en Fugro slechts zeer geringe verschillen en onzekerheden hebben opgeleverd.
6. De schade-toename in deze periode is het gesommeerde resultaat van de verschillende invloeden en veroudering. Er waren tijdens fase 2 meerdere factoren die een verhoogde kans op optreden van rotatie en/of schade gaven, met name het weer (extreme droogte en zware stormen) en (op 1 locatie) een verbouwing van een schuur. De tiltmetingen en schadebeelden geven bij 4 van de 7 toegenomen schades geen zekerheid over de (hoofd-) oorzaak van de schadetoename.
7. In 2022 was sprake van extreme droogte (die zettingsverschillen kan veroorzaken), zware stormen (die een maatgevende belasting op het gebouw kunnen veroorzaken) en in de kern van het effectgebied aardbevingstrillingen in dezelfde orde van grootte als de zwaarst opgetreden aardbevingen. Deze samenloop van omstandigheden heeft niet geleid tot een significante toename van schade. De waarnemingen sluiten aan bij eerdere onafhankelijke onderzoeken zoals door TNO en Fugro/Movares/RoyalHaskoningDHV (Fugro, 2021). Ook TU Delft concludeerde in 2018 dat een groot aantal schades het gevolg is van gebouwwontwerp en krachtswerking, en niet gerelateerd is aan de Groningse omstandigheden. Veel panden van voor 1970 zijn bovendien zettingsgevoelig door de combinatie van fundering op staal en samendrukbare ondergrond (Stalduinen et al, 2019).

## 5.3 Beantwoording onderzoeksvragen

De onderzoeksvragen kunnen mede op basis van de resultaten van de Pilot Tiltensoren als volgt worden beantwoord:

### 1. Wat zijn de technische mogelijkheden en beperkingen van tiltensoren

Tiltensoren kunnen rotaties (hoekverdraaiingen) meten van constructies en van de ondergrond. De nauwkeurigheid (en prijs) van de sensoren varieert sterk en dient te worden afgestemd op het doel van de metingen. Bij de meeste typen sensoren is er sprake van meetwaarden die worden beïnvloed door de temperatuur van de sensor en de output verandert in de loop van de tijd (drift). Dit was ook het geval bij de Pilot Tiltensoren en hiervoor dient te worden gecorrigeerd. Tiltensoren worden toegepast in situaties waar sprake is van een ingreep of bestaande situatie waarbij er risico bestaat voor de objecten of mensen. De sensoren worden daarom veelvuldig toegepast bij ondergronds bouwen om invloed naar de omgeving real-time te volgen. Daarmee worden risico's beheerst en kunnen mitigerende maatregelen worden toegepast indien nodig. Ook worden ze toegepast bij het monitoren van nieuwe en oudere gebouwen en infrastructuur zoals bij bruggen en beschadigde monumenten. De meetwaarden van tiltensoren worden verstoord door trillingen. Vrijwel alle typen tiltensoren gebruiken de zwaartekracht als referentie en geven tijdens trillingen (zoals aardbevingen) een onjuist beeld van de werkelijke rotatie (Kruiver et al, 2020). Een belangrijk verschil tussen accelerometers en tiltensoren is dat accelerometers de grootte van trillingen als mogelijke schade-oorzaak laten zien, terwijl tiltensoren een continu beeld van het effect van diverse invloeden op het gebouw visualiseren en kwantificeren.

### 2. Treedt er schadetoename op tijdens de onderzoeksperiode, en zo ja hoeveel: hoeveel bestaande scheuren worden op basis van visuele vergelijking tussen 0-opname en heropname langer

Bij 7 van de 694 scheuren is op basis van vergelijking van de 0-opname en de heropname door Hanselman vastgesteld dat er sprake was van toename van scheurlengte. Deze gerapporteerde toename (en het ontbreken van toename bij de overige 687 scheuren) is vastgesteld tijdens de uitvoering van de heropname en vergelijking met de 0-opname op locatie door Hanselman, door interne kwaliteitscontrole door Hanselman, mede op basis van de foto's, en door kwaliteitscontrole door Fugro, mede op basis van de vergelijking van de foto's. Fugro heeft bovendien voor zover beschikbaar de foto's van de eerdere opnames door Archipunt gebruikt om de vergelijking te maken met de opnames van Hanselman. Deze vergelijking gaf geen aanleiding om aan de rapportage van Hanselman te twijfelen. Voor zover beschikbaar bevestigen de foto's van Archipunt de uitgangssituatie voor fase 2 (dit is de 0-opname van Hanselman) en zijn de verschillen tussen de foto's van Archipunt en de 0-opname zodanig klein dat geconcludeerd kan worden dat 5 van de 7 scheuren een geringe toename laten zien, en 1 scheur is (tijdens een verbouwing) matig toegenomen, zie Tabel 5.1.

Schade 13\_064 laat in fase 2 een sterke toename zien, maar is ten opzichte van fase 1 nauwelijks toegenomen.

Na het onderzoek hebben bewoners van 4 locaties in totaal 23 nieuwe scheuren gemeld. Uit beoordeling van de toegestuurde informatie en vergelijking met beschikbare gegevens blijkt dat een deel hiervan aanwezig was of buiten de vastgestelde definitie van schade valt. Op basis van de analyse kan worden geconcludeerd dat 1 schade daadwerkelijk nieuw is en bij 8 schades ontbreekt informatie om te beoordelen of de schade voor maart 2022 aanwezig was. Derhalve wordt geconcludeerd dat er op basis van de informatie van de bewoners 1 tot 9 nieuwe scheuren zijn ontstaan.

Tabel 5.1: Door Hanselman gerapporteerde schadetoename fase 2

Schade	Object	Geschatte scheurlengte in cm		Toename in cm	Omschrijving
		0-meting	1-heropname		
06_231	Woning	49	66	17	Binnenmuur
07_058	Schuur	108	122	14	Buitenkant achtergevel; verbouwing
07_059	Schuur	83	138	55	Buitenkant achtergevel; verbouwing
07_066	Schuur	113	119	6	Buitenkant zijgevel; verbouwing
12_041	Woning	124	127	3	Buitenkant zijgevel
12_244	Woning	36	39	3	Binnenkant zijgevel
13_064	Schuur	0	89	89	Buitenkant achtergevel; schade opnieuw ontstaan; vergelijkbaar met oorspronkelijke schade in fase 1

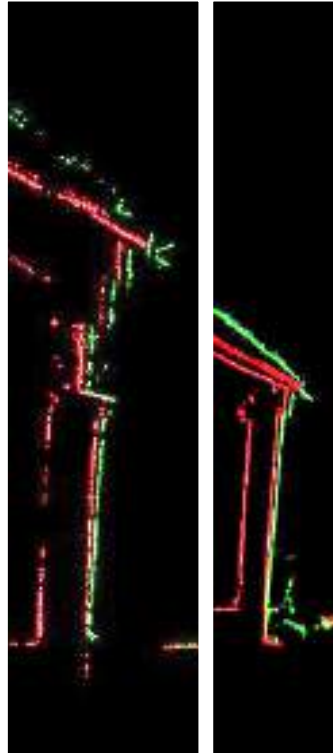
### 3. Is er een verband gevonden tussen tiltmeting gevels en schade-toename

Er is enige correlatie tussen tiltmetingen en schade-toename gevonden:

- Bij de meeste tiltmeters is geen blijvende rotatie gemeten en ook geen schade-toename.
- Bij 1 onderzoekslocatie duiden bij de schuur meerdere tiltsensoren op significante rotaties (tot 1,5 graad) van de buitengevels tijdens een verbouwing. De orde van grootte was zodanig dat er kans op schade-toename was, en die is ook daadwerkelijk opgetreden bij 3 scheuren;
- Bij 1 onderzoekslocatie duiden bij een schuur meerdere tiltsensoren op significante rotaties (bij een sensor -0,1 tot +0,15 graad, met blijvende rotatie van circa +0,1 graad) van de buitengevels ten gevolge van stormen. De orde van grootte was zodanig dat er een beperkte kans was op schade-toename maar die is niet geconstateerd;
- Een 4-tal scheuren (op 3 onderzoekslocaties) is in lengte toegenomen, echter de nabijgelegen tiltsensoren laten geen rotatie zien, of er zijn geen tiltmetingen beschikbaar dichtbij de schadetoename (o.a. binnen gevels/ stucwerk).

De metingen met de tiltsensoren zijn gecontroleerd door aan het begin en aan het einde van fase 2 laserscanning uit te voeren van de buitengevels. Daar waar de tiltsensoren duidelijke

afwijkingen laten zien, werden deze afwijkingen bevestigd door de laserscanning. Figuur 5.9 toont twee verticale doorsnedes van de laserscan data op locatie 07 met zichtbare rotaties van 1,4-2,0° nabij tilsensoren 07TM13 en 07TM14 uitgaande van een gelijke rotatie over de gehele hoogte van de muur. De gemeten tilt door de sensoren 07TM13 en 07TM14 is respectievelijk 1,26° en 1,47°. Op plaatsen waar de tilsensoren geen beweging laten zien blijkt uit de laserscanning ook een stabiel beeld.



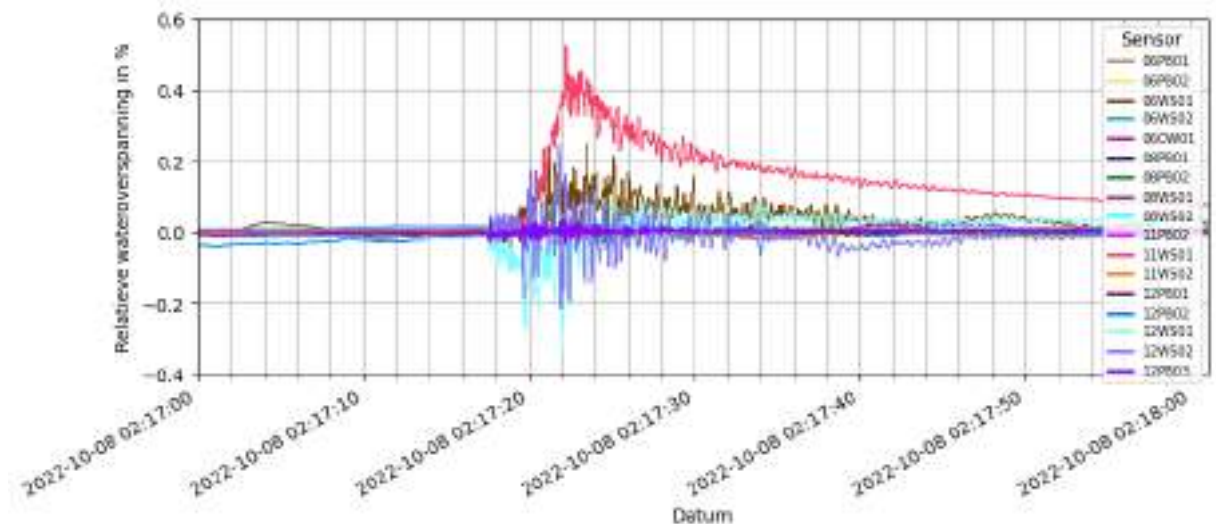
Figuur 5.9: Verticale doorsnedes van de laserscan data op locatie 07 van 30-03-2022 (rood) en 01-12-2022 (groen) nabij sensoren 07TM13 (links) en 07TM14 (rechts) met een relatieve hoekverdraaiing van de muur tussen 1,4-2,0° nabij beide sensoren.

#### **4. Treedt er blijvende rotatie van de gevels en wateroverspanning in de bodem op door aardbevingstrillingen**

Er zijn geen blijvende rotaties gemeten met de tilsensoren na aardbevingen, niet in de bodem en niet aan de gebouwen. Er zijn wel tijdelijk afwijkende waarden gemeten tijdens de aardbevingen die gerelateerd zijn aan de aardbevingstrillingen. Deze afwijkingen houden deels verband met de invloed van de trillingen op de tiltmetingen en deels worden ze veroorzaakt door de elastische beweging van de constructies en bodem.

De waterspanningen zijn gemeten met zowel waterspanningsmeters als met dataloggers in peilbuizen, en met een frequentie van 200 Hz. Tijdens aardbevingen worden de metingen beïnvloed door de trillingen, hetgeen met name bij de waterspanningsmeters leidt tot afwisselend wateroverspanning en wateronderspanning, met name voor locaties nabij de zwaardere aardbevingen (M2.7 en M3.1). De gemiddelde waterspanning is echter niet of nauwelijks veranderd. De maximum wateroverspanning was 0,015 m waterkolom en dit was minder dan 0,5% ten opzichte van de oorspronkelijke waterspanning, zie Figuur 5.10. Deze

wateroverspanning was bovendien na enkele seconden gehalveerd. Dit geldt voor zowel het moment van de aardbeving als daarna. De waterspanningsmeters en peilbuizen zijn in meerdere grondsoorten geplaatst (meer en minder gevoelig voor verweking/ sterkteverlies door wateroverspanning). De metingen duiden nergens op een voorfase van verweking. Verweking is sterkteverlies van de ondergrond door toename van waterspanningen en daarmee afname van korrelspanningen, tot uiteindelijk 0 kPa bij volledig verweken/ sterkteverlies.



Figuur 5.10: Relatieve wateroverspanning ten opzichte van de oorspronkelijke waterspanning op basis van de gemeten waterdrukken van verscheidene sensoren rond het M3.1 event op 08-10-2022.

## 5. Treedt er rotatie van de gevels en de bodem op door gaswinning, gasopslag en zoutwinning en kan deze leiden tot gebouwschade

De tiltsensoren aan de gebouwen hebben geen rotatie gemeten die verband houdt met bodembeweging door gaswinning, gasopslag en zoutwinning. De nauwkeurigheid van deze sensoren was afgestemd op de specificaties die van toepassing zijn om de kans op schade van de gebouwen te kunnen beoordelen. Om de effecten van de bodemdaling te meten was een zeer stabiele meetopstelling (in de vaste ondergrond en met constante temperatuur), het ontbreken van trillingen (door apparatuur, verkeer en personen) nodig, alsmede een uiterst nauwkeurige tiltsensor. Het lijkt erop dat de drift van de sensor groter was dan de rotatie door de bodembeweging. Een schatting van de drift is tot 3 milligrad in het eerste halfjaar en daarna tot 2 milligrad per jaar. Bij Grijpskerk en Borgercompagnie is niet zeker of er rotatie van de ondergrond is gemeten vanwege de extreem kleine rotaties in combinatie met enige drift van de sensoren. Bij de locatie Norg is er enige correlatie tussen bodembeweging door mijnbouw en tiltmeting zichtbaar geworden. De rotatie was echter marginaal, en deze kan ook zijn beïnvloed doordat de sensor-temperatuur over het jaar heen meer dan 1 graad in temperatuur fluctueerde. De amplitude van de golfbeweging was minder dan 1 milligrad, hetgeen betekent dat deze nauwkeurige tiltmetingen erop duiden dat er tijdens fase 2 van de Pilot Tiltsensoren geen relevante invloed van de bodembeweging op de gebouwen was. De metingen zijn vergeleken met de bodemdalingsgegevens zoals InSAR data en GNSS data.



Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat de rotatie van de ondergrond, gemeten met een verticale sensor, bijzonder klein is, en in lijn met deze andere bronnen die informatie verschaffen over zakkingsverschillen van objecten op het maaiveld.

## **6. Treedt er rotatie van de gevels en de bodem op door droogte en weersomstandigheden en kan deze leiden tot gebouwschade**

Bij een deel van de tiltsensoren aan de gebouwen is een beperkte seizoen fluctuatie van de meetwaarden zichtbaar, die verband kan houden met invloed van temperatuur en vocht op het gebouw (krimp en uitzetting van constructieve onderdelen van het gebouw) en/of zetting/krimp/zwel door droogte/variatie grondwaterstand. De amplitude van deze fluctuatie is mogelijk deels afhankelijk van de bodemopbouw en de aard van de constructie en fundering. Er is geen duidelijke correlatie gevonden met de schade-toename, hetgeen o.a. verklaarbaar is doordat er bijna geen schade-toename is geconstateerd tijdens fase 2. Op een locatie is een forse grondwaterstands daling zichtbaar nabij een grote boom en er is ook schadetoename gerapporteerd, echter niet bij de boom. Ook vond op een andere locatie de forse rotatie tijdens een verbouwing plaats in de extreem droge zomer van 2022. Het is niet duidelijk of dit door de verbouwing alleen komt, of dat de droge zomer ook een rol heeft gespeeld. Voor een schuur is geconstateerd dat stormen hebben geleid tot blijvende rotatie, maar hierbij is geen schade ontstaan. Om het effect van droogte op gebouwen beter te kunnen bepalen is een voortzetting van de Pilot nodig, omdat hiervoor meerdere zomers moeten worden gemonitord, in combinatie met meerdere momenten van schade-opname.

## **7. Bieden tiltsensoren meerwaarde bij het bepalen van mogelijke oorzaken van schade-toename**

In de kern van het effectgebied van Groningen, waar een unieke combinatie van schade-oorzaken van toepassing is, bestaat er een extra belang om onderscheid te kunnen maken tussen de diverse oorzaken van schade. Hier kunnen tiltsensoren meer duidelijkheid geven over het moment en de grootte van eventuele rotatie van constructie-onderdelen. Daarmee wordt bij een deel van de schade-toenames meer duidelijkheid verkregen over oorzaken van schade. Op basis van de resultaten van de Pilot Tiltsensoren kon worden vastgesteld dat gevels van een tweetal schuren significante rotatie lieten zien die bij 1 locatie verband hielden met stormen (en waarbij een deel van de rotatie permanent was) en bij 1 locatie met een verbouwing (mogelijk in combinatie met krimp/zetting ondergrond door uitdroging). Voor beide locaties geldt dat het wel of niet optreden van schade goed kan worden verklaard door analyse van de tiltmetingen (bouwkundige configuratie, orde van grootte van de rotatie). Zonder de tiltmetingen was het niet mogelijk geweest om het moment en de oorzaak van deze rotatie, dan wel schade te bepalen. De tiltmetingen hebben geen blijvend effect van mijnbouw laten zien:

- De aardbevingen veroorzaakten geen blijvende rotaties van de tiltsensoren in de grond en aan de gebouwen

- De bodembeweging door gaswinning, gasopslag en zoutwinning gaf dermate kleine rotaties dat die met de tiltsensoren aan de gebouwen niet meetbaar was en bij de 3 tiltsensoren in de grond was er mogelijk sprake van een rotatie in orde van grootte van 1/1000 graad. Echter deze afwijking kan ook zijn veroorzaakt door temperatuurverschil van de sensor.

Bij een deel van de schade-toename is er geen tiltmeting beschikbaar nabij de toegenomen scheuren, of de nabijgelegen tiltsensor geeft geen afwijking. De toegenomen schade is dan mogelijk niet gerelateerd aan rotatieverschillen in de constructie en de tiltsensoren bieden dan geen meerwaarde. De meerwaarde van de toepassing van tiltsensoren bij gebouwen is sterk afhankelijk van het constructief ontwerp en materiaalkeuze, de funderingswijze en ondergrond en de mogelijke aanwezigheid van (verborgen) gebreken. Met name bij funderingen op staal en relatief slappe ondergrond zijn rotatieverschillen van de constructie te verwachten, en daar zouden tiltsensoren meerwaarde kunnen bieden bij het bepalen van de oorzaak van (eventuele) schade-toename. Op basis van de resultaten van de Pilot Tiltsensoren tot op heden kan deze relatie nog niet worden vastgesteld. Tiltsensoren hebben geen blijvende afwijking door aardbevingen laten zien. Dit betekent niet dat aardbevingen geen rol kunnen hebben gespeeld bij schadetoename. De kans hierop kan worden bepaald op basis van piekgrondsnelheden ten gevolge van de aardbevingen. De kans op schade-toename door mijnbouw kan alleen worden bepaald op basis van de sterkte van de aardbeving en de trillingsmetingen op het maaiveld en in gebouwen. Hiervoor is het KNMI-monitoring netwerk geschikt. In de kern van het effectgebied van Groningen was de piekgrondsnelheid in fase 2 van de Pilot Tiltsensoren van de zelfde orde van grootte als de PGV bij de eerder opgetreden zwaarste aardbevingen en in dat geval is schade-toename door aardbevingen niet uit te sluiten. Voor de rand van het effectgebied geldt dat de PGV in fase 2 lager was dan herleidbaar uit eerdere metingen en met minder dan 0,5 mm/s zodanig laag dat hier geen schade uit is te verwachten.

Het is te verwachten dat tiltsensoren met name bij schuren meerwaarde bieden bij het signaleren van rotaties van gevels en bij het bepalen van de oorzaak van deze rotaties. Bij de Pilot Tiltsensoren zijn namelijk 6 schuren gemonitord, en 2 hiervan laten forse rotaties zien, terwijl het om gebouwen gaat die meer dan 100 jaar oud zijn.

## **8. Bieden tiltsensoren meerwaarde bij het bepalen van mogelijke oorzaken van bestaande schade**

Tiltsensoren geven informatie over rotatie en rotatieverschillen vanaf het moment van plaatsing, en niet over eerdere rotaties. Laserscans, waterpassingen en lintvoegwaterpassing kunnen wel informatie verschaffen over zettingsverschillen, en daarmee ook over mogelijke oorzaken van schade. Kennis over omvang van schade-toename en oorzaken, in combinatie met tiltmetingen, kan met terugwerkende kracht meer inzicht geven over de (oorzaak van) bestaande schades. Voor bodem-gerelateerde deformaties van gebouwen geldt dat deze met name van toepassing zijn bij funderingen op staal op relatief slappe ondergrond. Bij oudere gebouwen is een groot deel van de zettingen in het verleden opgetreden en

informatie over schade-toename geeft daarom beperkte informatie over het moment en de oorzaak van bestaande schade. Een deel van de zakking bij fundering op staal treedt op door consolidatie (zetting door belastingverhoging), een deel door uitdroging (lagere grondwaterstand, krimp, oxidatie) en een deel door mijnbouw of andere oorzaken. De beperkte steekproef van de Pilot Tiltensoren kan geen antwoord geven op het aandeel consolidatie: deze is namelijk voor meer dan 99% al in het verleden opgetreden. De effecten van uitdroging van de ondergrond zijn op basis van de beschikbare resultaten nog niet duidelijk. Er zijn geen zettingen of rotaties door mijnbouw gemeten. Wel is duidelijk geworden dat andere oorzaken een belangrijke rol kunnen spelen bij het optreden van rotaties, met name bij schuren: zware windbelasting en verbouwing. Onderzoek en metingen kunnen gebreken aan het licht brengen, en tiltensoren kunnen daarbij een hulpmiddel zijn. Een mogelijkheid is dat tiltensoren ook aanvullende informatie geven over de relatie tussen vervormingen en schade, echter op basis van de beperkte hoeveelheid resultaten is dat nu nog niet mogelijk.

Het is niet waarschijnlijk dat tiltensoren meerwaarde bieden bij de schade-afhandeling van individuele gebouwen, hoewel langjarige metingen met tiltensoren in combinatie met betrouwbare schadeopnames op termijn meer duidelijkheid kunnen geven. Een goede en direct beschikbare indicatie voor de kans op mijnbouwschade is de piekgrondsnelheid die is opgetreden tijdens de eerder opgetreden aardbevingen.

Een beter inzicht in de oorzaak van bestaande en toekomstige schade is relevant voor het nemen van de juiste maatregelen voor het beperken van nieuwe schade. Dat staat overigens los van de schade-compensatie aan woning-eigenaren, waarbij het ruimhartige uitgangspunt is dat schade die kan zijn veroorzaakt door mijnbouw, ook daadwerkelijk vergoed wordt.

## **9. Bieden tiltensoren meerwaarde bij het beheersen van risico's van bestaande gebouwen**

Er is de afgelopen 11 jaar veel kennis opgebouwd met betrekking tot de aardbevingsdreiging en risico's, en voor de meting van de aardbevingstrillingen wordt uitgegaan van metingen van het KNMI (o.a. accelerometers op een groot aantal meetstations in Groningen). Volgens de laatste beoordeling voldoen alle, of bijna alle gebouwen aan de norm (Publieke SDRA Groningen gasveld 2022, 2022). Afhankelijk van de gehanteerde uitgangspunten is er een beperkt aantal gebouwen (met name schuren van boerderijen) waarbij sprake is van een geringe overschrijding van de veiligheidsnorm (de Meijdam-norm, waarbij wordt uitgegaan van een kans op overlijden per gebouw en per jaar van maximaal 1 op 100.000). Bij de Pilot Tiltensoren zijn 6 schuren gemeten. 2 Van de 6 bleken binnen een jaar significant roterende buitengevels van de gevels te hebben, hetgeen een veiligheidsrisico kan betekenen. Er lijkt sprake te zijn van een kwetsbaar ontwerp, of van onregelmatigheden tijdens of na de bouw die de stabiliteit hebben verminderd. Het is in zijn algemeenheid niet te verwachten dat bij oudere gebouwen (zonder aanpassingen of verzwakking van de constructie of belastingtoename) er significante rotaties plaatsvinden. Tiltensoren hebben derhalve vanuit de Pilot Tiltensoren meerwaarde geboden bij het opsporen van risico's van bestaande

gebouwen. In de kern van het effectgebied is bovendien sprake van een extra risico, namelijk het optreden van een aardbevingen met potentieel significante effecten op de gebouwen. Op individueel niveau is er sprake van onzekerheid over de uitgangssituatie en kwetsbaarheid van de gebouwen. Specifiek voor schuren geldt dat deze relatief ongunstig is. Onderzoek van individuele gebouwen kan kwetsbaarheden aan het licht brengen, en geplaatste tilsensoren kunnen hierbij na enige tijd meerwaarde bieden. Het risico van gebouwen hangt met name samen met deformatie van de constructie en die kan met tilsensoren worden gemeten voor een niet maatgevende belasting vanuit bijvoorbeeld wind of verkeerstrilling of aardbevingstrilling. Tilsensoren hebben derhalve mogelijk meerwaarde bij het onderkennen van bestaande kwetsbaarheden van gebouwen, en kunnen mogelijk een deel van de onzekerheid vanuit de dreigings- en risico-analyse wegnemen.

## 5.4 Aanbevelingen

1. Doe meer onderzoek naar schadetoename in het effectgebied van Groningen. Dit is relevant omdat schadecompensatie nog minimaal 30 jaar plaatsvindt en er is nog te weinig inzicht in de omvang van de schade-toename bij verschillende omstandigheden en gebouw-eigenschappen. Zorg daarbij voor periodieke (bijvoorbeeld 1x per jaar), nauwkeurige, onafhankelijke en controleerbare informatie over schadetoename van representatieve gebouwen. Vanwege statistische betrouwbaarheid zou dit moeten plaatsvinden op grotere schaal dan bij de Pilot Tilsensoren en ook bij meerdere typen gebouw (constructie, fundering, materialen, ouderdom, locatie). Een belangrijk aandachtspunt is de kwaliteit, controleerbaarheid en reproduceerbaarheid van de schade-opnames.
2. Doe meer onderzoek naar de oorzaken van schade-toename, zodat de juiste maatregelen kunnen worden genomen om schade-toename te beperken. Dit is relevant omdat bodem-gerelateerde schade-toename verschillende oorzaken heeft en de invloed hiervan wijzigt in de loop van de tijd. In het effectgebied bevinden zich veel cultuurhistorisch relevante gebouwen die door de aard van de constructie en fundering, in combinatie met de bodemopbouw, extra gevoelig zijn voor bodem-gerelateerde schade-toename. Door beter inzicht in het aandeel van de oorzaken (zoals aardbevingen en verdroging) kunnen betere keuzes worden gemaakt ter beheersing van de verschillende oorzaken van schade-toename. Met name met betrekking tot de invloed van verdroging/ klimaatverandering heeft de Pilot Tilsensoren nog te weinig informatie opgeleverd, onder andere door de beperkte schaal van de pilot in relatie tot sterk wisselende eigenschappen van de gebouwen en ondergrond, en de beperkte effectieve tijdsduur van de pilot.
3. 3. Zorg voor betere informatievoorziening en uitleg met betrekking tot de invloed van mijnbouw, schade-toename en schade-oorzaken, zowel richting beleidsmakers als richting bewoners. Dit is relevant om de spanningen over veiligheid en schade-toename bij een deel van de bewoners in het effectgebied te verminderen. Bij het ontzorgen van bewoners is een integrale aanpak nodig en samenwerking tussen diverse disciplines, technische en niet-technische. Mogelijk dat resultaten uit de Pilot Tilsensoren of

aanvullende (tilt-)metingen en onderzoeken hieraan kunnen bijdragen. Een beter inzicht in de locatie, oorzaak, omvang en begrenzing van zowel fysieke als psychische schade is daarbij essentieel en hiervoor is aanvullend onderzoek nodig.

4. Doe nader onderzoek naar de stabiliteit van de constructie van specifieke gebouwen in de kern van het effectgebied van Groningen, met name schuren van boerderijen. Enerzijds kunnen de metingen van de 6 boerderijen van de Pilot Tiltensoren nader worden geanalyseerd. Anderzijds is het van belang om de steekproef te vergroten, zodat meer inzicht wordt verkregen in de omvang van de problemen en de oorzaak van deformaties. De gebouwen kunnen worden geselecteerd op basis van een aantal criteria:
  - a. Het gebouw (bij voorkeur een boerderij) maakt deel uit van de versterkingsoperatie, maar is nog niet versterkt
  - b. De bewoners willen meewerken aan een langdurig onderzoek
  - c. Er is sprake van een fundering op staal op relatief slappe ondergrond
5. Gebruik de dataset die beschikbaar is vanuit de Pilot Tiltensoren voor een vergelijking van metingen binnen en buiten van aardbevingstrillingen (versnellingen). De uitkomsten kunnen helpen om eventuele afwijking van gebouwsensoren van KNMI te kunnen verklaren en kwantificeren.

## 6. Referenties

- Bezemer en Van Elk. (2018). *Special report on the Zeerijp earthquake 8th January 2018*. Assen: NAM.
- Bommer et al. (2019). *Updated Empirical GMPEs for PGV from Groningen Earthquakes*. Assen: NAM.
- Boot et al. (2022). *Evaluatie Tijdelijke Wet Groningen*. Utrecht: Andersson Elffers Felix.
- Brinkman. (2018). *Invloed van bodemdaling door zoutwinning Nedmag op bebouwing en infrastructuur*. Delft: Deltares.
- Cedric Duvail. (2022). *Effect of pressure maintenance by fluid injection on seismic hazard, hazard analysis, KEM-24 report C*. Castries, France: Fugro.
- Dijkstra. (2020). *Data driven study on seismic structural features of Groningen ground motions (KEM04/IUC201804097)*. Groningen: Fugro.
- Fugro. (2021). *Pilot Tiltensoren, Algemene Data Analyse*. Fugro.
- Fugro/Movares/RoyalHaskoningDHV. (2018). *Het berekenen van de kans op mijnbouwschade door gaswinning, second opinion buitengebied*. CVW.
- Geurts et al. (2021). *Schade aan gebouwen door diepe bodemdaling en -stijging*. TU Delft & TNO.
- Gronings Perspectief. (2023). *De psychosociale impact van de gaswinningsproblematiek op bewoners in 2021 en 2022, eindrapport Gronings Perspectief fase 3*. Groningen: Rijksuniversiteit Groningen.
- KNMI. (1993). *Netherlands Seismic and Acoustic Network*. Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI).
- KNMI. (2021, oktober 15). *Seismische meetstations*. Opgeroepen op april 12, 2023, van KNMI: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/seismische-meetstations>
- KNMI. (2022, December 30). *Jaar 2022: hitte, droogte en stormen*. Opgehaald van [www.knmi.nl](https://www.knmi.nl): <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/jaar-2022-extreem-warm-zonnig-en-droog>
- Kruiver et al. (2020). *Data analysis tiltensors Groningen*. TNO, Deltares.
- NAM. (2022). *Periodieke rapportage seismiciteit*. Assen: NAM.
- Nationaal Coördinator Groningen. (2018). *Europese aanbesteding volgens de openbare procedure voor de uitvoering van diensten voor Pilot Tiltensoren, 5 december 2018, ref: 201712211150*. Nationaal Coördinator Groningen.
- (2022). *Publieke SDRA Groningen gasveld 2022*. Utrecht: TNO2022 R10517.
- (2019). *Quality check of the Groningen accelerometer network*. Leidschendam: Fugro.
- Staalduinen et al. (2019). *Onderzoek naar de oorzaken van bouwkundige schade in Groningen*. Delft: TU Delft.
- Vijlbrief, H. (2022, September 16). *Vaststellingsbesluit-Gaswinning-Groningen-2022-2023.pdf*. Opgehaald van [www.rvo.nl](https://www.rvo.nl): <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2022-09/Vaststellingsbesluit-Gaswinning-Groningen-2022-2023.pdf>
- Vlek, C. (2021). *Te veel versterken kost overmatig veel geld en zorgt voor nodeloze gevoelens van onveiligheid. Moeten in Groningen echt 26.000 woningen worden versterkt?* Groningen: Dagblad van het Noorden.



# Appendix A

## Algemeen Monitoringsrapport



---

# Algemeen Monitoringsplan

Pilot Tiltensoren | Groningen, Nederland

1418-0227-010.AM 1.0 | 15 juni 2023

Definitief

**Nationaal Coördinator Groningen**

# Document Control

## Document Informatie

Project Titel	Pilot Tiltsensoren Groningen
Document Titel	Algemeen Monitoringsplan
Fugro Project Nr.	1418-0227-010
Fugro Document Nr.	1418-0227-010.AM
Versienummer	1.0
Versiestatus	Definitief
Fugro Entiteit	Fugro NL Land BV
Adres	Grondzijk 16, Groningen, the Netherlands

## Klant Informatie

Klant	Nationaal Coördinator Groningen
Adres	Paterswoldseweg 1, 9726BA, Groningen
Contactpersoon	-

## Versie Geschiedenis

Versie	Datum	Status	Commentaar	Opgesteld	Gecontroleerd	Geaccepteerd
1.0	15 juni 2023	Definitief				

# Inhoud

<b>1. Introductie</b>	<b>1</b>
<b>2. Monitoringslocaties</b>	<b>3</b>
2.1 Algemeen	3
2.2 Bodemgesteldheid	5
2.3 Gebouweigenschappen	7
<b>3. Monitoring equipment</b>	<b>9</b>
3.1 Algemeen	9
3.2 Sensoren	11
3.2.1 TDG SENSEBOX SB7003-TD	11
3.2.2 EPSON M-A352AD10 / Sensebox7003-DI	13
3.2.3 Jewell LILY	15
3.2.4 CRL SA-307LN	16
3.2.5 STS ATM/N (Vented)	18
3.2.6 Ellitrack-D2	19
3.2.7 Davis (Wireless) Vantage Pro2 6152	20
3.3 Randapparatuur	23
3.3.1 Back-up stroomvoorziening	23
3.3.2 UTP Switch	23
3.3.3 TDG Testbox2010	24
3.3.4 CR6 Datalogger	24
3.3.5 Datalogger weerstation	25
3.3.6 Computer	25
3.3.7 SMS Relay	26
<b>4. Locatie sensoren op en rondom object</b>	<b>27</b>
4.1 Algemeen	27
4.2 Tiltensoren	28
4.3 Betonnen meetplaat	30
4.4 Dynamische Tiltensoren	31
4.5 Accelerometers	32
4.6 Waterspanningsmeters	33
4.7 Peilbuizen met druksensoren	33
4.8 Open water sensor	34
4.9 LILY sensor	35
<b>5. Bevestiging sensoren</b>	<b>36</b>
5.1 Algemeen	36
5.2 Tiltmeters	36
5.2.1 Bevestiging op stenen muur	36
5.2.2 Bevestiging op houten constructie	38

5.3	Weerstation	39
<b>6.</b>	<b>Factory Acceptance Test (FAT)</b>	<b>40</b>
6.1	Algemeen	40
6.2	FAT-01: Algemene controle meetsysteem	40
6.3	FAT-02: Controle of monitoringssysteem werkt na (tijdelijke) stroomuitval.	41
6.4	FAT-03: Per sensor wordt de werking in bedrijfstoestand getest.	42
6.4.1	Tiltmeters	42
6.4.2	LILY sensor	43
6.4.3	Accelerometers	44
6.4.4	Druksensoren	46
6.4.5	Weerstation	46
6.5	Kalibratierapporten	47
<b>7.</b>	<b>Site Acceptance Test (SAT)</b>	<b>48</b>
7.1	Inbedrijfstelling (SAT)	48
7.1.1	Algemeen	48
7.2	Site Acceptance Test procedure	48
7.2.1	SAT-1: Controle of monitoringssysteem solide en veilig is geïnstalleerd.	48
7.2.2	SAT-2: Controle of de sensoren een betrouwbare meetwaarde weergeven.	48
7.2.3	SAT-3: Controle of monitoringssysteem data verzamelt en / of uitwisselt.	49
7.2.4	SAT-4: Controle of monitoringssysteem werkt na (tijdelijke) stroomuitval.	49
7.2.5	SAT-5: Controle of monitoringssysteem op afstand is te benaderen via beveiligde verbinding.	49
<b>8.</b>	<b>Datapresentatie</b>	<b>50</b>
8.1	Algemeen	50
8.2	Tiltsensoren	50
8.2.1	Algemeen	50
8.2.2	Temperatuurscorrectie en grafieken	50
8.3	Lily-sensoren	54
8.4	Accelerometers	55
8.5	Grondwater en openwater sensoren	57
8.6	Weerstation	58
<b>9.</b>	<b>Data verwerking</b>	<b>59</b>
9.1	Algemeen	59
9.2	Tiltsensoren	59
9.3	Accelerometers	61

## Bijlagen

<b>Appendix A</b>	Sensor productbladen
<b>Appendix B</b>	Randapparatuur productbladen
<b>Appendix C</b>	TDG test rapport accelerometers
<b>Appendix D</b>	Voorbeeld kalibratierapport
<b>Appendix E</b>	Tiltensor temperatuur test



---

# 1. Introductie

De Nationaal Coördinator Groningen (NCG) heeft Fugro opdracht gegeven voor het ontwerpen en uitvoeren van de Pilot Tiltsensoren (de pilot). Het doel van de pilot is om de meerwaarde van tiltsensoren ten opzichte van het huidige meetnetwerk van het KNMI (KNMI, 1993) te onderzoeken. Een belangrijk aspect van de pilot is het vaststellen of tiltsensoren in staat zijn om het ontstaan van schade aan gebouwen in Groningen te monitoren, en daarmee mogelijke oorzaken te kunnen aantonen of uitsluiten. Voor een uitgebreidere beschrijving van de pilot en haar doelen wordt verwezen naar hoofdrapport 1418-0227-010.HR. De overige rapporten die onderdeel uitmaken van de pilot zijn in Figuur 1.1 weergegeven. Het onderzoek is onderverdeeld in 2 percelen:

- Perceel 1: Continue metingen, presentatie en analyse van alle informatie, bevindingen
- Perceel 2: Periodieke opname en rapportage van de conditie van het bouwwerk

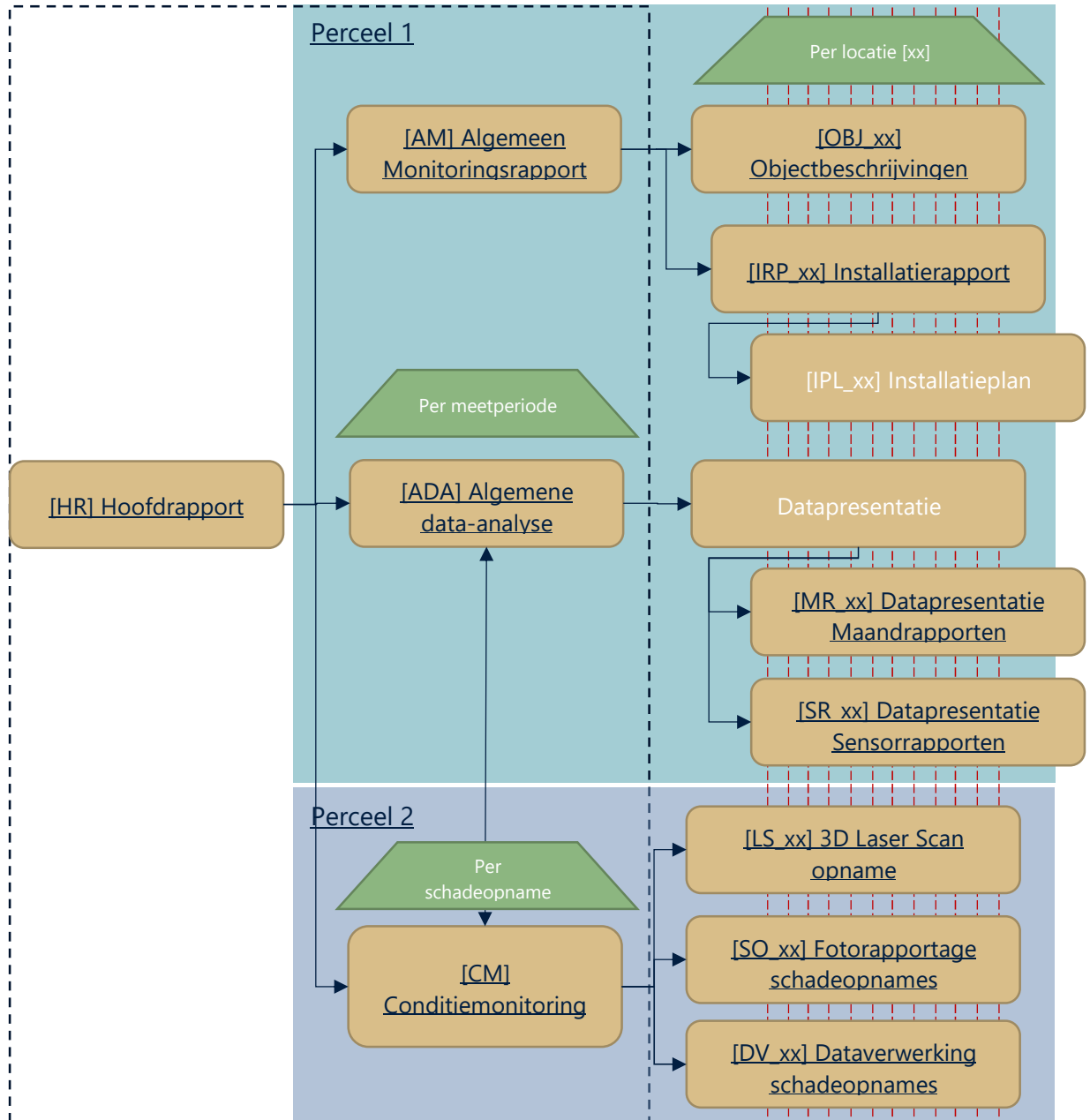
Vanwege de Algemene Verordening Gegevensbescherming (AVG) en afspraken met de bewoners en/of eigenaren zijn de locatie-specifieke rapportages privacygevoelig en derhalve niet openbaar. Deze rapportages en de meetdata vormen wel de basis voor de analyses. Daar waar privacygevoelige informatie wordt gebruikt, is deze geanonimiseerd of er wordt alleen informatie opgenomen in de te publiceren rapporten als het adres niet kan worden herleid. Onderzoekers die specifieke resultaten willen bekijken of verifiëren, kunnen na toestemming toegang verleend worden. Data herleidbaar tot niet-openbare pilotlocaties is dus uit privacyoverwegingen weggelaten uit dit rapport, maar is wel gedeeld met en beoordeeld door de Nationaal Coördinator Groningen en de Technische Commissie.

De pilot is gestart met het monitoren van 13 locaties met diverse sensoren (tiltsensoren, accelerometers), (grond-)waterstanden en weerstations. Op 3 locaties wordt ook tilt in de "vaste" ondergrond gemeten (het vaste zand/ Pleistoceen). De locaties van de sensoren zijn weergegeven in de Objectrapporten en Installatierapporten. De gebruikte meettechnieken zijn beschreven in het Algemeen Monitoringsrapport. De meetresultaten zijn opgeslagen en een beknopte analyse hiervan zijn maandelijks als locatie specifieke datapresentatie en -analyse gerapporteerd. Om de ontwikkeling van schade te monitoren zijn door Archipunt in 2020 en 2021 schadeopnames verricht en waterpassingen (lintvoegmetingen) rondom de gebouwen uitgevoerd en hoogtebouten gewaterpast. De resultaten hiervan zijn opgenomen in de Schade-Opname rapporten. Een beschrijving en weergave van de constructies door Archipunt is opgenomen in de Objectbeschrijvingen.

Vanaf 2022 zijn 12 locaties gevolgd en zijn op 2 momenten schade-opnames uitgevoerd door Hanselman, volgens een aangescherpt protocol. De opnames zijn aangevuld met opnames binnen (alleen 0-meting) en buiten (0-meting en hermeting) door middel van laserscanning. Ook zijn de scheuren die zijn gerapporteerd door Hanselman op basis van de foto's gedigitaliseerd en weergegeven in Dataverwerking Schadeopnames. Per locatie zijn de schade-toename en de veranderingen op basis van de laserscanning gerapporteerd in

separate rapporten. De relevante informatie uit perceel 2 (de opnames en laserscanning) is vervolgens gerapporteerd in het rapport *Conditie Monitoring*. De informatie uit dit rapport wordt vervolgens als input gebruikt voor de *Algemene Data Analyse*.

In dit document wordt een beschrijving gegeven van de gebruikte en meetinstrumenten randapparatuur en algemeen toegepaste methoden.



Figuur 1.1: schema met overzicht van de diverse rapportages binnen de Pilot

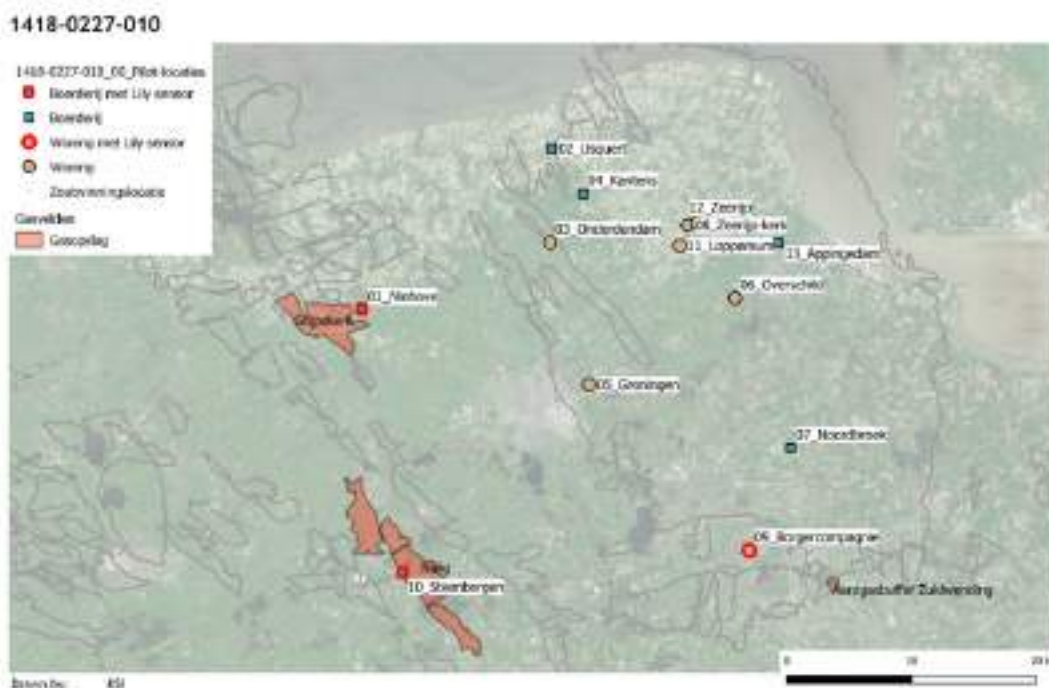
## 2. Monitoringslocaties

### 2.1 Algemeen

De scope van de "Pilot Tiltensoren" omvat het monitoren van 13 objecten. De locaties van de objecten zijn in overleg met de opdrachtgever vastgesteld en zijn verdeeld over 3 gebieden; "de kern van het aardbevingsgebied"/"kerngebied", "rondom het kerngebied"/"rondom kerngebied" en "aan de randen van het invloedsgebied van het Groningen-gasveld"/"grote afstand" zoals beschreven in het aanbestedingsdocument (201712211150, d.d. 5 december 2018). Deze gebieden zijn in overleg met maatschappelijke en bestuurlijke organisaties en kennisinstellingen vastgesteld. De 13 objecten zijn ingedeeld in de categorie "Woning" of "Boerderij" waarbij de indeling bepalend is voor de omvang van de monitoring van het object en de toe te passen sensoren. Van de 13 objecten zijn 3 locaties aangemerkt als locatie waar tilt/rotatie op diepte dient te worden gemonitord, op deze locaties wordt een aanvullende sensor geplaatst (LILY). Deze 3 locaties liggen nabij gasopslagen en/of zoutwinningslocaties. In figuur 2 is een kaart weergegeven waarop de locatie van de geselecteerde objecten is weergegeven. In tabel 1 is de omvang van het aantal sensoren per monitoringscategorie weergegeven en in tabel 2 in welke monitoringscategorie het object is ingedeeld.

Tabel 1: Monitoringsomvang per monitoringscategorie

Omschrijving	Eenheid	Woning	Boerderij
Tiltmeter	[aantal/object]	7	14 (Kantens 13)
Tiltmeter Dynamisch	[aantal/object]	1	1
Accelerometer	[aantal/object]	2	2
Peilbuis	[aantal/object]	2	2
Waterspanningsmeter	[aantal/object]	2	2
Open waterpeil	[aantal/object]	1	1
Weerstation	[aantal/object]	1	1
LILY sensor (Optioneel)	[aantal/object]	(1)	(1)



Figuur 2: Overzicht van geselecteerde monitoringslocaties met plaatsnaam samen met de contouren van gasvelden, gasopslagen en zoutwinningslocaties

Tabel 2: Overzicht monitoringslocaties in monitoringscategorie indeling

ID	ID (Archipunt)	Plaatsnaam	Type	LILY aanwezig	Zone
01	1900101	Niehove	Boerderij	Ja	Grote afstand
02	1900104	Usquert	Boerderij	Nee	Random kerngebied
03	1900103	Onderdendam	Woning	Nee	Random kerngebied
04	1900106	Kantens	Boerderij	Nee	Kerngebied
05	1900107	Groningen	Woning	Nee	Random kerngebied
06	1900105	Overschild	Woning	Nee	Kerngebied
07	1900102	Noordbroek	Boerderij	Nee	Random kerngebied
08	1900113	Zeerijp-Toren	Woning	Nee	Kerngebied
09	1900109	Borgercompagnie	Woning	Ja	Grote afstand
10	1900108	Steenbergen	Boerderij	Ja	Grote afstand
11	1900110	Loppersum	Woning	Nee	Kerngebied
12	1900111.	Zeerijp	Woning	Nee	Kerngebied
13	1900112	Appingedam	Boerderij	Nee	Random kerngebied

## 2.2 Bodemgesteldheid

De bodemgesteldheid is per locatie vastgesteld door gebruik te maken van locatie specifiek grondonderzoek of beschikbaar archiefgrondonderzoek. Per locatie zijn geen, 1 of 2 sonderingen uitgevoerd afhankelijk van de locatie en de beschikbaarheid van archiefgrondonderzoek. Daarnaast is een grondboring uitgevoerd waarin peilbuizen zijn geplaatst of een tilsensor (LILY), de omhooggehaalde grond is beschreven in boorstaten. In Tabel 2.3 is per Pilot locatie (ID) een samenvatting van de bodemgesteldheid op basis van het beschikbare grondonderzoek gegeven. Van het beschikbare relevante grondonderzoek is het gemiddelde maaiveldniveau t.o.v. NAP bepaald in kolom "MV". In kolom "GWS" is een representatieve waarde van het freatische grondwaterstand t.o.v. NAP gegeven op basis van het beschikbare grondonderzoek.

Aan de hand van de parameters gemeten tijdens de uitgevoerde of beschikbare sonderingen is met de correlatie van (Kruiver, et al., 2020) een schatting van de schuifgolfsnelheid afgeleid. Van deze schuifgolfsnelheidsprofielen is vervolgens de gemiddelde  $v_{s,12}$  bepaald; een gewogen gemiddelde van de eerste 12 m grond volgens de procedure beschreven in NEN-EN 1998-1 (NEN, 2005). De berekende waarden zijn per locatie weergegeven in kolom  $v_{s,12}$ . De parameter  $v_{s,12}$  geeft een indruk van de aanwezigheid van slappe grondlagen met een lage schuifgolfsnelheid. Bij het bepalen van de  $v_s$  profielen is geen rekening gehouden met de aanwezigheid van veenlagen of lagen met een  $v_s < 100$  [m/s] waarvoor de correlatie van (Kruiver, et al., 2020) een overschatting geeft. Vanwege voornoemde en aangezien veen een sterk samendrukbare grondlaag kan zijn is per locatie aangegeven of veen is aangetroffen in de bovenste 5 [m] bij de grondboring of dat op basis van een interpretatie van de sondering de aanwezigheid van veen waarschijnlijk is.

Tabel 2.3: Maaiveldniveau, grondwaterstand,  $V_{s,12}$  en aanwezigheid veen op basis van beschikbare grondonderzoek

ID	MV	GWS	$v_{s,12}$	Veen	Algemene beschrijving en bijzonderheden
[-]	[m] NAP	[m] NAP	[m/s]	[-]	[-]
1	+0.4	+0.0	130		Tot een diepte van ca. NAP -4.0 [m] slappe kleilagen met een qc van ca. 0.3 MPa en $V_s < 100$ m/s. Hieronder een vast zandpakket. Op een diepte van ca. NAP -14,0 m is een veenlaag aangetroffen van ca. 1m dik
2	+3.0	+0.7	120		Tot een diepte van ca. NAP -10. [m] kleilagen met een qc van ca. 0.4-0.6 MPa en $v_s \approx 100$ [m/s], doorsneden met een vaste zandlaag. Hieronder een doorgaand zand pakket
3	+0.3	-0.9	130		Tot een diepte van ca. NAP-6.0 kleilagen met een qc van 0.2 tot 0.6 MPa, hieronder een doorgaand zandpakket
4	+0.5	-1.8	130		Tot een diepte van ca. NAP -5.5 [m] klei met een qc van 0.2 tot 0.4 MPa en $v_s \approx 100$ [m/s], hieronder zand doorsneden met kleilaagjes. Vanaf NAP -17.0 doorgaand vast zand.
5	-0.6	-1.8	150		Tot een diepte van ca. NAP -5.0 [m] klei met een qc van ca. 0.2 tot 0.4 [MPa] en een $v_s$ van $\approx 100$ [m/s], hieronder een doorgaand vast zandpakket
6	-1.0	-2.2	120	Ja	Vanaf maaiveld een kleilaag van ca. 1,5 [m] dik. Hieronder een veenlaag met een dikte van ca. 1 [m] gevolgd door een kleilaag met een qc van 0.2 – 0.4 [MPa] en een $v_s \approx 100$ [m/s], op een diepte van ca. NAP -8.0 is lokaal een veenlaag van ca. 0.5[m] dik aangetroffen.
7	+2.4	+1.0	160		Vanaf maaiveld een zandpakket tot ca. NAP -1.0 [m] Hieronder een doorgaande (Pot)klei laag met een qc oplopend van 1.0 [MPa] tot 3.0 [MPa] op NAP -17.0 [m].
8	+2.1	+0.5	120		Vanaf maaiveld een kleilaag met een qc van ca. 0.2 – 0.6 MPa en een $v_s$ van $\approx 100$ [m/s] tot een diepte van ca. NAP -5.5 [m]. Hieronder een doorgaand zandpakket waarbij lokaal (Pot)klei is aangetroffen.
9	+1.8	+0.5	230	Ja	Vanaf maaiveld tot ca. NAP +0.8 zand met een veenlaag van ca. 0.4 [m] dik (deels zwart, mogelijk geoxideerd en deels bruin) hieronder een doorgaand vast zandpakket. Van de veenlaag zijn geen CPT parameters bekend doordat de sondering is voorgeboord.
10	+6.5	+4.0	250		Vanaf maaiveld een vast zandpakket
11	+2.8	-0.7	170		Vanaf maaiveld een zandpakket (wegcunet?). Vanaf ca. NAP +1.0 klei met een qc van 0.4 – 0.8 MPa en een $V_s$ van $\approx 100$ [m/s] tot een diepte van NAP -8.0 [-]. Hieronder een vast zandpakket met lokaal (Pot)klei.
12	+0.5	-0.5	130		Vanaf maaiveld tot ca. NAP -5.0 [-] klei met een qc van 0.2-0.4 MPa en een $V_s$ van $\approx 100$ [m/s], vanaf NAP -5.0 een sterk gelaagd zand/klei pakket tot ca. NAP -8.0 [m]. Vervolgens een kleilaag met een qc van 0.4 - 0.8 MPa. Op een diepte van ca. NAP -11.0 is een veenlaag van ca. 0.4 [m] dikte aangetroffen. Hieronder een doorgaand zandpakket met lokaal (Pot)klei lagen.
13	+0.5	-1.0	130	Ja	Vanaf maaiveld een zandpakket tot ca. NAP -1.0, hieronder een kleilaag met een qc van ca. 0.2 MPa en een $v_s \approx 100$ [m/s]. Vanaf NAP -3.5 is een veenlaag aangetroffen met een dikte van 0.2 – 0.4 [m]. Vervolgens een kleilaag met een qc van ca. 0.4 MPa. Onder deze kleilaag een veenlaag met een dikte van ca. 0.2 [m], vervolgens een vast zandpakket van ca. 2 [m] dik en vervolgens een doorgaande (Pot)kleilaag met een qc oplopend van 1 MPa tot ca 3 MPa op NAP -24 [m]



## 2.3 Gebouweigenschappen

Door Archipunt zijn bij aanvang van de pilot bouwkundige opnames van de objecten uitgevoerd, in Tabel 2.4 is een samenvatting van de gebouweigenschappen gepresenteerd en is een algemene omschrijving van het pand gegeven.

Tabel 2.4: Samenvatting gebouweigenschappen

ID [-]	Fundering	Bouwjaar [jaar]	A [m <sup>2</sup> ]	Algemene gebouwomschrijving
1	Staal <sup>3</sup>	<1900	<500	Het pand is opgetrokken in metselwerk en voorzien van een stuclaag aan zij- en achtergevel. De woning bestaat uit 1 woonlaag met een kap. Het betreft een zadeldak, gedekt met keramische dakpannen. Een aanbouw van metselwerk met een zadeldak gedekt met keramische dakpannen. Een stal/schuur van metselwerk met een zadeldak gedekt met keramische dakpannen
2	Staal <sup>3</sup>	<1900	>1000	Het pand is opgetrokken in steens metselwerk. De woning bestaat uit 2 woonlagen en aangebouwde schuren met een kap. Het woonhuis heeft een schilddak met keramische leien. De aangebouwde schuren hebben een schilddak met vermoedelijk asbest houdende platen.
3	Staal <sup>3</sup>	<1900	<500	Het pand is opgetrokken in metselwerk. De woning bestaat uit 2 woonlagen met een kap. Het betreft een schilddak, gedekt met keramische dakpannen. Er zijn 2 bergingen aangebouwd in de loop der jaren. Ook die zijn opgebouwd uit metselwerk en voorzien van een zadeldak.
4	Staal <sup>3</sup>	<1900	>1000	Het pand is opgetrokken uit metselwerk. De woning bestaat uit 1 woonlaag met een kap. Het betreft een zadeldak, gedekt met keramische dakpannen.
5	Palen, aanbouw op staal <sup>1</sup>	<2000 / ≥2000	<500	Het pand is opgetrokken uit metselwerk. De woning bestaat uit 2 bouwlagen met een plat dak. De aanbouw is omstreeks 2001 gebouwd
6	Palen <sup>2</sup>	≥2000	<250	Het pand is opgetrokken uit metselwerk. De woning bestaat uit 2 woonlagen. Het pand heeft een schildkap en is gedekt met keramische dakpannen.
7	Staal <sup>3</sup>	<1900 / <1900, (<2000)	>1000	Deel A is gebouwd in de 15e eeuw en later zijn daar delen aan toegevoegd. Het pand is opgetrokken uit metselwerk. De woning bestaat uit twee bouwlagen met een kap. Het betreft een zadeldak met wolfseind, gedekt met keramische dakpannen. Het wolfseind is in de 19e eeuw toegevoegd aan het pand.
8	Staal <sup>3</sup>	<1900	<250	De Kerktoren is gebouwd in 1608. Het pand is opgetrokken in metselwerk met muren van meer dan 1 m dik. De toren bevat 4 bouwlagen met een kap. Het betreft een sporen kap, in de vorm van een puntdak gedekt met leien.
9	Staal <sup>3</sup>	<1960 / <2000	<250	Het pand is opgetrokken uit metselwerk. De woning bestaat uit twee bouwlagen. De woning heeft een wolfskap en is gedekt met keramische dakpannen. De schuur heeft een zadeldak met een wolfseind aan de achterzijde, het dak is gedekt met keramische dakpannen.

ID [-]	Fundering	Bouwjaar [jaar]	A [m <sup>2</sup> ]	Algemene gebouwomschrijving
10	Staal <sup>3</sup>	<1960 (<2000)	<500	Het pand is opgetrokken uit metselwerk. De woning bestaat uit 1 woonlaag met een kap. Het betreft een zadeldak, gedekt met keramische dakpannen. In <2000 heeft het gebouw aan de linker- en rechterzijde een verbouwing gehad aan de gevels en het dak.
11	Staal <sup>3</sup>	<1960	<250	Het pand is opgetrokken uit metselwerk. De woning bestaat uit 1 woonlaag met een kap. Het betreft een zadeldak, gedekt met keramische dakpannen en een platdak voorzien van bitumen.
12	Staal <sup>3</sup>	<1960 / <2000	<250	Het pand is opgetrokken uit metselwerk. De woning bestaat uit 2 woonlagen met een kap. Het betreft een zadeldak, gedekt met keramische dakpannen. De aanbouw is opgetrokken uit metselwerk. Het bestaat uit 1 laag met plat dak. De schuur is opgetrokken uit metselwerk met een zadeldak gedekt met keramische dakpannen.
13	Staal <sup>3</sup>	<1960 (≥2000)	<500	>2000 is de oorspronkelijke boerderij gesloopt en gemoderniseerd herbouwd. Ter plaatse van de woonruimte zijn er 2 bouwlagen met een kap, de schuur heeft de volle hoogte. Het woongedeelte heeft een rietgedekte kap terwijl de schuur gedekt is met keramische pannen.

<sup>1</sup> uit rapportage Archipunt  
<sup>2</sup> informatie eigenaar  
<sup>3</sup> informatie NCG  
Bouwjaar: Hoofddeel/subdeel, (grote verbouwing of herbouw)

## 3. Monitoring equipment

### 3.1 Algemeen

De geselecteerde objecten zijn voorzien van sensoren die voldoen aan de specificaties zoals vastgesteld in het aanbestedingsdocument (Nationaal Coördinator Groningen, 2018) met aanvulling van de Nota van inlichtingen (1 en 2) en de aanbieding van Fugro (Fugro, 2019). In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de toegepaste sensoren. In tabel 6 en tabel 7 is een overzicht van de toegepaste sensoren en randapparatuur gegeven. In Appendix A en Appendix B zijn de productbladen van de toegepaste sensoren en randapparatuur opgenomen. In figuur 3 is een schematische weergave van de datastromen en verbindingen op een monitoringslocatie.

Alle datastromen, sensoren en randapparatuur hebben een unieke identificatiecode. Deze identificatiecode is opgebouwd uit de locatie ID conform tabel 2, afkorting conform tabel 6, volgorde en een datastroom-label gescheiden door een "\_". In tabel 5 een uitleg voor de code "01\_TM\_02\_x"

Tabel 5: Opbouw unieke identificatiecode voor een sensor en per datastroom

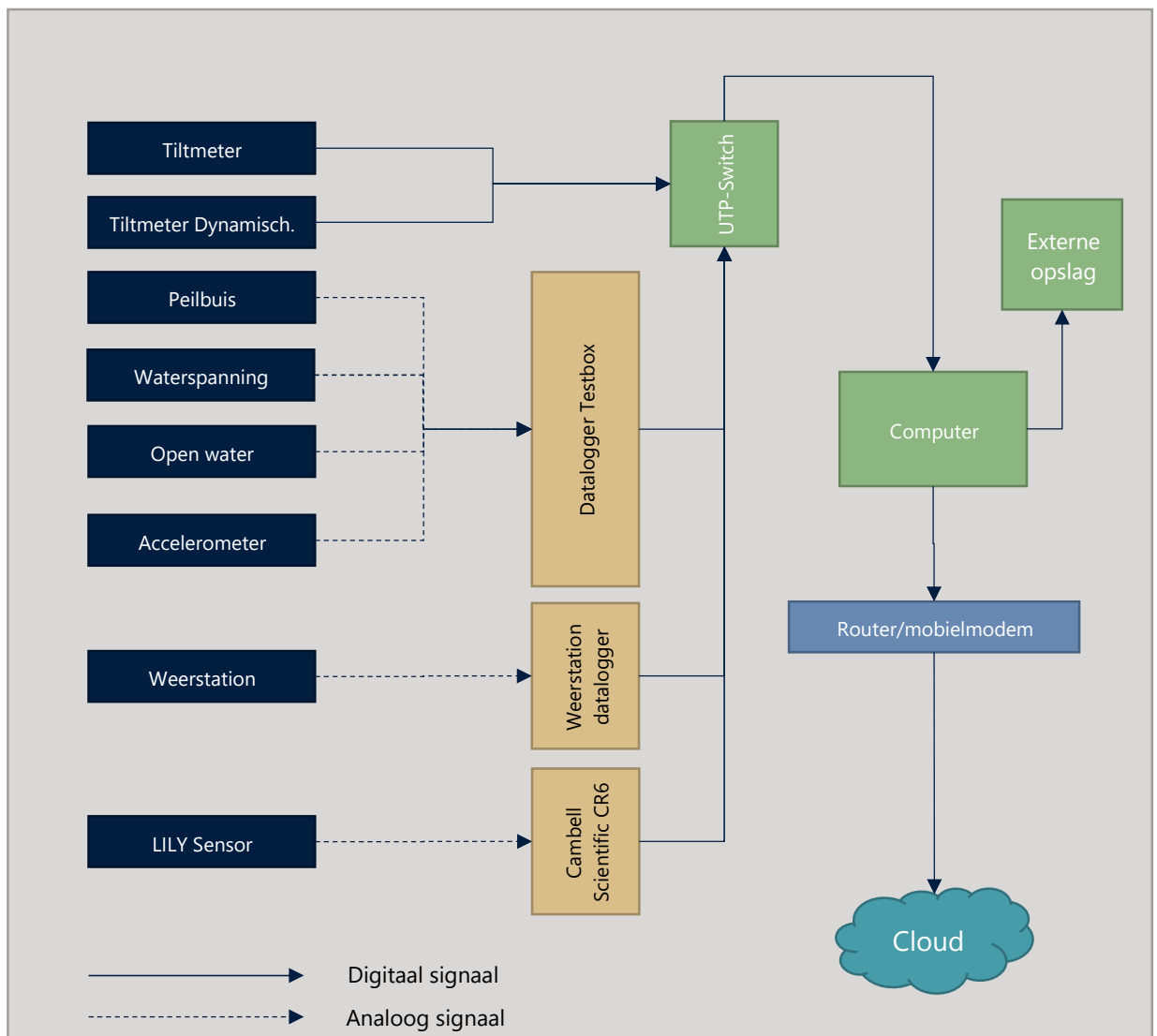
Onderdeel	Omschrijving
01	Locatie 01 (Locatie ID volgens Tabel 2)
TM	Tiltmeter (afkorting sensortype of randapparatuur conform Tabel 6 en Tabel 7)
02	Vervolnummer van het sensor of randapparatuurtype
x	De gemeten tilt in de x-richting van de sensor

Tabel 6: Overzicht toegepaste sensoren

Omschrijving	Producent	Type	Afkorting
Tiltmeter	TDG	SB7003-TD	TM
Tiltmeter Dynamisch	Epson / TDG	M-A352AD10 / SB7003-DI	TD
Accelerometer	CRL	SA-307LN	AC
Peilbuis	STS	ATM/N	PB
Peilbuis	Leiderdorp Instruments	Ellitrack-D2	PB
Waterspanningsmeter	STS	ATM/N	WM
Open waterpeil	STS	ATM/N	OW
Weerstation	Davis	(Wireless) Vantage Pro2 6152	WE
LILY sensor	Jewel	LILY Self-leveling Borehole Tiltmeter	TP

Tabel 7: Overzicht toegepaste randapparatuur

Omschrijving	Producent	Type	Functie	Afkorting
UTP Switch	Netgear	GS308E	Doorschakeling signaal tiltsensoren	US
Datalogger Testbox	TDG	Testbox2010	Aansturen en verzamelen signaal van accelerometers en druksensoren	DA_01
Datalogger CR6	Campbell Scientific	CR6	Aansturen en verzamelen data Lily tiltensor	DA_02
Datalogger weerstation	Davis	6555 IP Datalogger	Aansturen weerstation	DA_03
Computer	Yacoo	NIS-S991-i5/i7	Algehele aansturing meetsysteem	DA_04
Router Mobielmodem	Teltonika	RUT950	Internetverbinding	RO
SMS module	Comat Releco	CMS-10	Alarmering stroomuitval	SM
UPS	APC	Back-UPS CS 500	Back-up stroomuitval	UP



Figuur 3; Schematisch weergave aansluitingen monitoring apparatuur

## 3.2 Sensoren

### 3.2.1 TDG SENSEBOX SB7003-TD

De Sensebox SB7003-TD is een 3-assige tiltmeter. Een afbeelding van de sensor is gegeven in figuur 4. De sensor produceert 5 datastromen zoals weergegeven in figuur 5 waar de datastromen en eventuele bewerking van de data wordt weergegeven

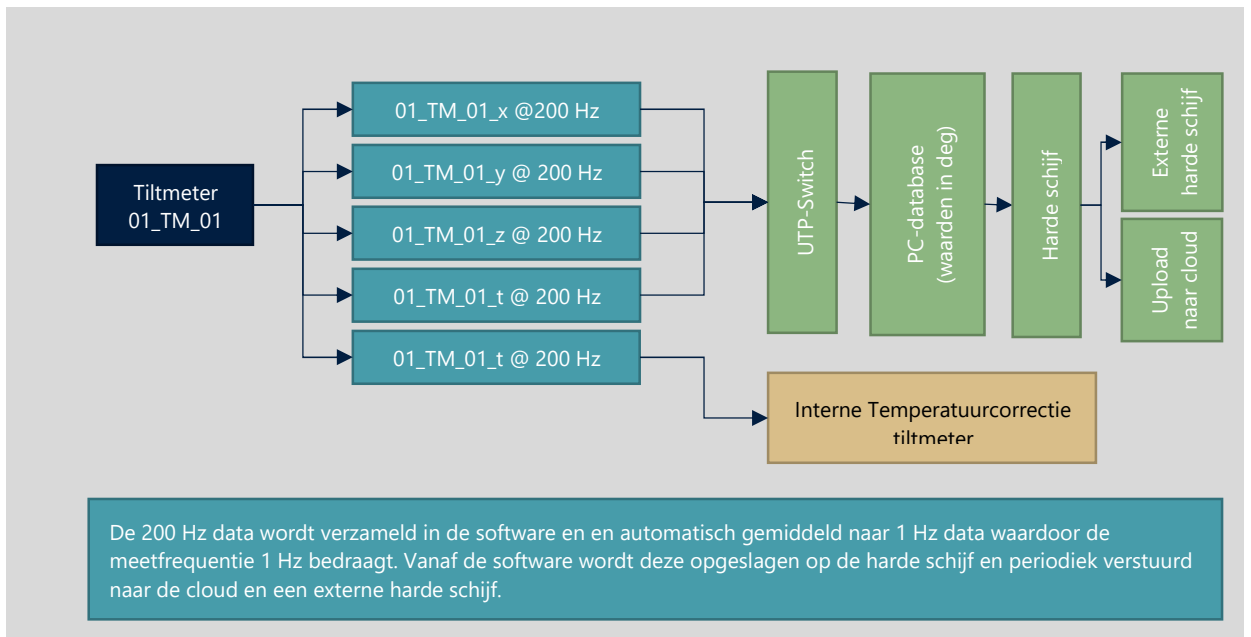
De sensor meet met een frequentie van 200 Hz, deze data wordt intern gemiddeld naar een gemiddelde waarde per 1 seconde. Door de interne middeling van de metingen (200 Hz naar 1 Hz) wordt een resolutie van 0,001 graden (ca. 17,5  $\mu$ rad) verkregen welke (20 x) lager ligt dan de gewenste nauwkeurigheid. Foutmarges ontstaan hoofdzakelijk door temperatuur drift welke kunnen worden gecompenseerd door de interne temperatuursensor en correctiefactoren.



Figuur 4: Afbeelding van de Sensebox SB7003 van TDG

Tabel 8: Specificaties Sensebox SB7003 van TDG

Description	Value	Unit
Measurement range (+\ -)	10 (90 software selectable)	[°]
Resolution	$1.0 \cdot 10^{-3}$	[°] @ 1 Hz
Bandwidth	0-10 (0-40 / 0-70 Software selectable)	Hz
Noise Density	$1.0 \cdot 10^{-3}$	[°/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ]
Sampling Rate (max)	1	[Hz]
Operating temperature	-40 to +85	[°C]



Figuur 5; Schematische weergave datastroom Tiltmeter TDG SB7003-TD

### 3.2.2 EPSON M-A352AD10 / Sensebox7003-DI

De M-A352AD10 van Epson is een accelerometer met de mogelijkheid om ook tilt te meten. De M-A352AD10 is ingebouwd in de Sensebox7003-DI van TDG, zie figuur 6 voor een afbeelding van de M-A352AD10 in de Sensebox7003-DI.

De exacte nauwkeurigheid van de sensor is niet te bepalen. De M-A352AD10 heeft een resolutie van 0,002  $\mu$ rad, dit in combinatie met de interne temperatuurcompensatie voor gevoeligheid en bias shift als gevolg van temperatuursveranderingen zou ruim voldoende nauwkeurig moeten zijn. In tabel 9 en tabel 10 zijn de specificaties van de sensor gegeven. In figuur 7 is het stroomschema tot aan de SB7003-DI weergegeven.



Figuur 6: Afbeelding van de EPSON M-A352AD10 in de Sensebox 7003-DI van TDG

Tabel 9: Specificaties versnelling meetgedeelte Epson M-A352AD10

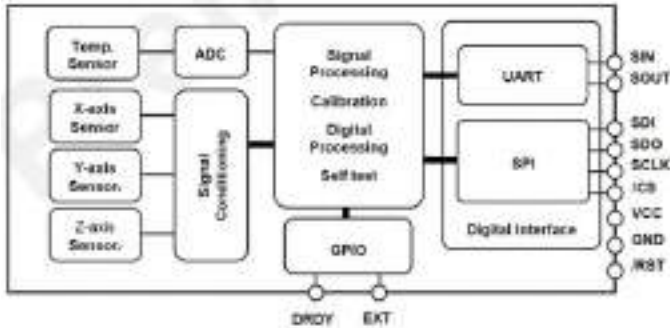
Description Acceleration	Value	Unit
Measurement range (+\ -)	1,2 (Half-sine 0,2msec)	[g]
Dynamic Range (+\ -)	15	[g]
Sensitivity / Scale Factor	$0.06 \cdot 10^{-6}$	[ $\mu$ G]/LSB
Spectral Noise Density	$0,5 \cdot 10^{-6}$	[ $G_{rms}/\sqrt{Hz}$ ] @ 0.5 Hz
Bandwidth (max)	460	Hz
Sampling Rate (max)	1000	[Hz]

Tabel 10: Specificaties tilt meetgedeelte Epson M-A352AD10

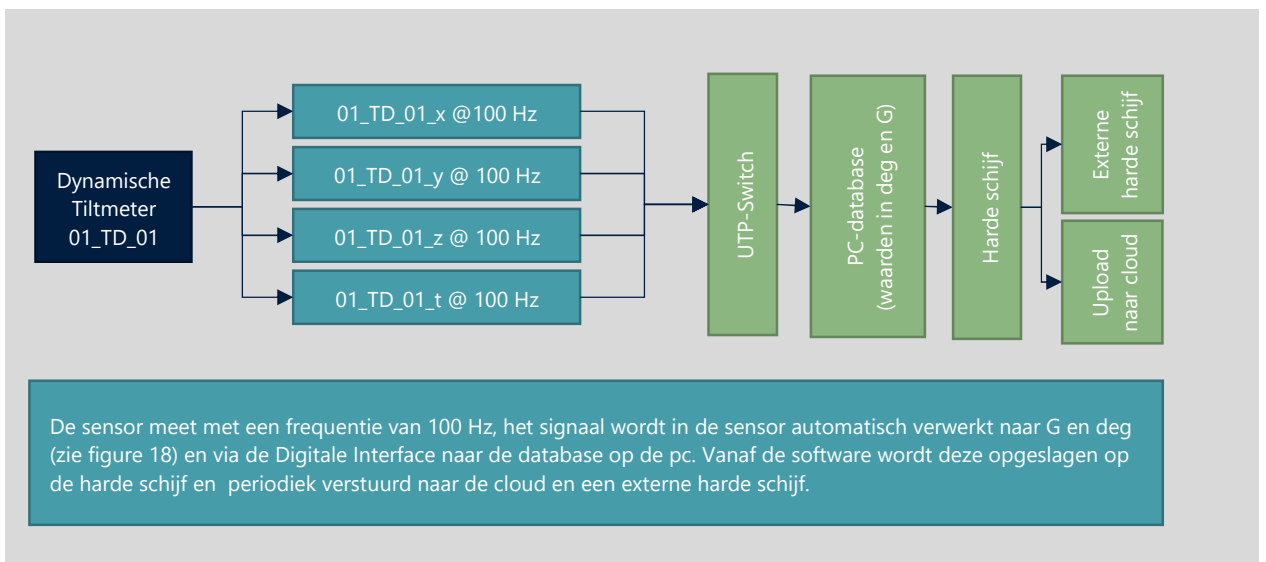
Description Tilt	Value	Unit
Measurement range (+\ -)	60	[°]
Dynamic Range	60	[°]



Description Tilt	Value	Unit
Sensitivity / Scale Factor	$1.15 \cdot 10^{-7}$	[°]/LSB
Noise Density	$2,86 \cdot 10^{-5}$	$[0_{rms}/\sqrt{Hz}] @ 0.5 \text{ Hz}$
Sampling Rate (max)	1000	[Hz]



Figuur 7: schematische werking sensor EpsonM-A352AD10



Figuur 8 Schematische weergave datastroom

### 3.2.3 Jewell LILY

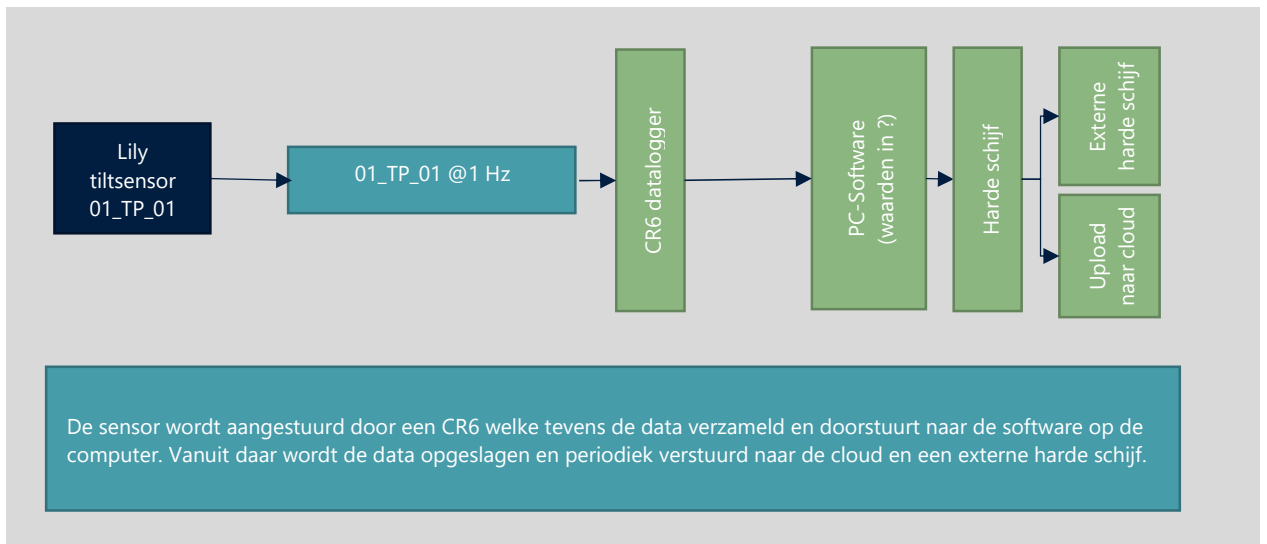
De LILY sensor van Jewell Instruments is een zeer nauwkeurige tilt-sensor om tilt in de ondergrond te meten. Na het plaatsen heeft de LILY sensor de mogelijkheid om intern in de sensor de tiltsensor te richten hierdoor is het mogelijk binnen een klein meetbereik zeer nauwkeurig te meten. Naast het meten van tilt in X en Y richting wordt de d.m.v. magnetisch kompas de positie ten opzichte van het (magnetische) noorden bepaald. Een afbeelding van de LILY sensor is gegeven in figuur 9 en de specificaties in tabel 11. De datastromen die een sensor produceert en eventuele databewerking die wordt uitgevoerd zijn weergegeven in figuur 10.



Figuur 9: Afbeelding van de LILY sensor van Jewell Instruments

Tabel 11: Specificaties LILY Sensor

Description	Value	Unit
Measurement range (+\ -)	0.0189	[°]
Dynamic Range	$1.8 \cdot 10^{-2}$	[°]
Self-Leveling Range (+\ -)	10	[°]
Resolution	$2.8 \cdot 10^{-7}$	[°]
Sampling Rate (max)	10	[Hz]



Figuur 10 Schematisch weergave datastroom

### 3.2.4 CRL SA-307LN

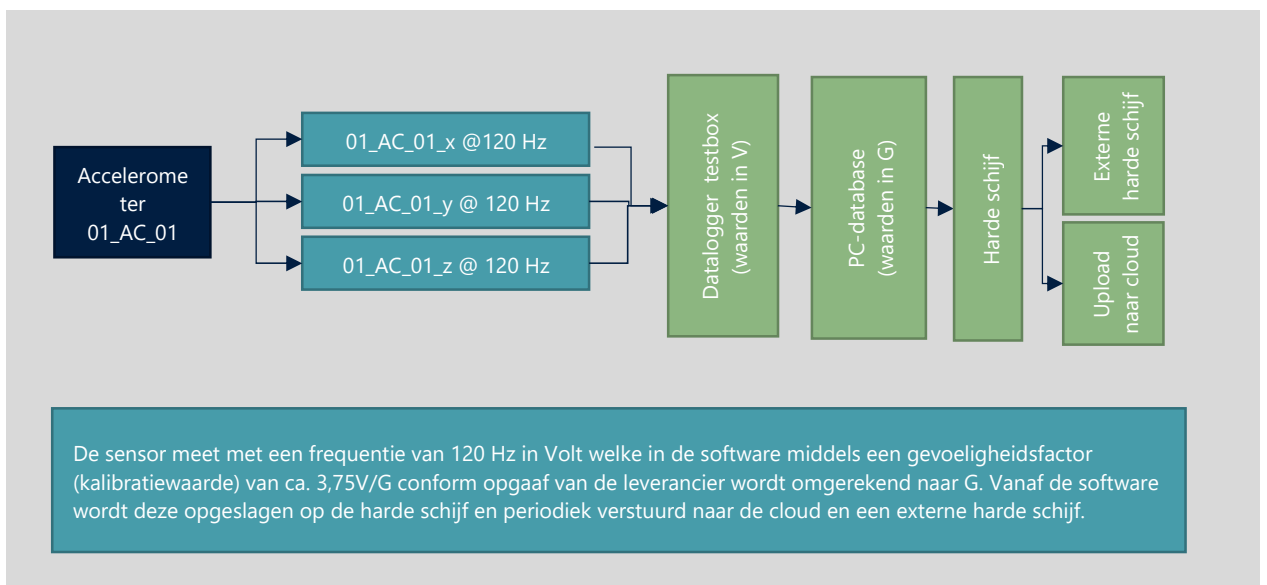
De SA-307LN van Columbia Research Laboratory (CRL) is een servo accelerometer. De SA-307LN is een sensor met "Direct Coupling" (DC) waardoor de sensor de mogelijkheid heeft om "statisch" versnelling zoals de zwaartekracht te meten. Een afbeelding van de CRL SA-307LN is gegeven in figuur 11 de specificaties zijn weergegeven in tabel 12. In figuur 12 is een schematische weergave gegeven van de datastromen.



Figuur 11: afbeelding van de CRL SA-307-LN sensor

Tabel 12: Specificaties CRL SA-307LN

Description	Value	Unit
Measurement range (+/-)	2	[G]
Frequency Range	DC-120	[Hz]
Cross axis sensitivity	0,002	G/G
Dynamic Range	130	dB
Resolution	$1.0 \cdot 10^{-6}$	[G]
Spectral Noise Density	$90 \cdot 10^{-9}$	$g/\sqrt{Hz}$
Bandwidth	DC-120	Hz
RMS Noise	$< 0.66 \cdot 10^{-6}$	G RMS @ DC-50 Hz
Sampling rate (max)	200	[Hz]



Figuur 12 Schematische weergave datastroom

### 3.2.5 STS ATM/N (Vented)

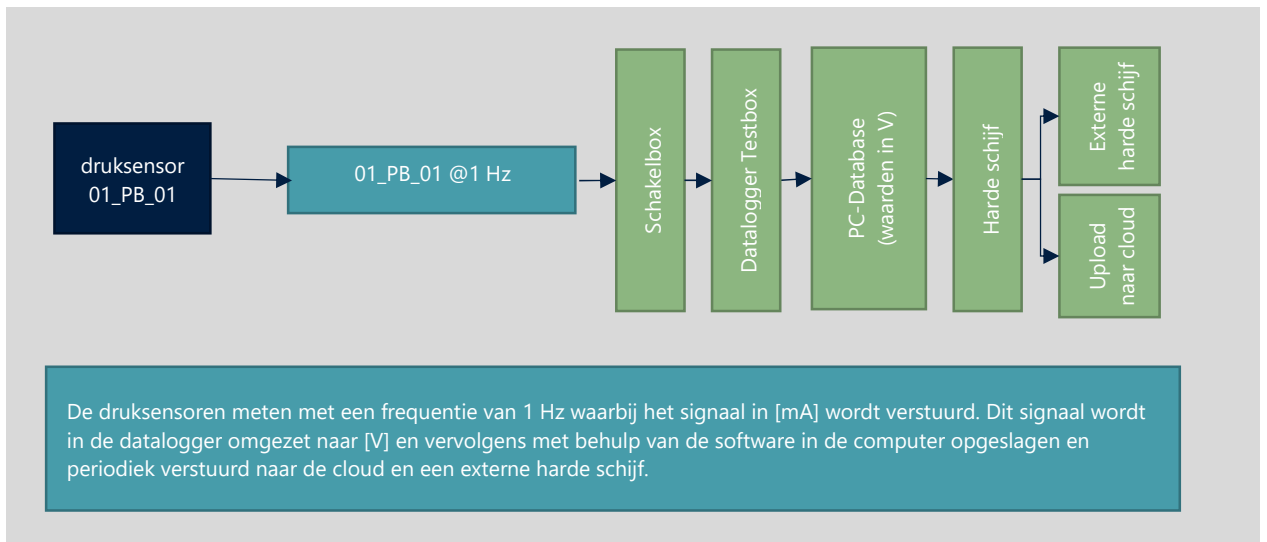
De ATM/N sensor van STS is een druksensor die de waterkolom boven de sensor meet. De sensor meet relatieve waterstandsveranderingen. In de sensor wordt door een luchtslang direct boven de sensor een luchtdrukcompensatie toegepast. Hierdoor wordt alleen waterdruk gemeten. Door het afhangniveau van de sensor te meten t.o.v. een referentieniveau (bv NAP) is de absolute waterstand te bepalen. In figuur 13 is een foto van de ATM/N te zien en in tabel 13 specificaties. In Figuur 14 is een schematisch weergave van de datastroom gegeven.



Figuur 13: Afbeelding van de ATM/N van STS

Tabel 13: Specificaties ATM/N van STS

Description	Value	Unit
Measurement range (+/-)	5 / 10 / 20	[m H <sub>2</sub> O]
Accuracy	<0,1	[%] van het meetbereik
Temperature Range	-5 to +50	[°C]



Figuur 14; Schematische weergave datastroom

### 3.2.6 Ellitrack-D2

De Ellitrack\_2 sensor van Leiderdorp Instruments is een meetset waarbij de druksensor LI 18-6 is direct gekoppeld aan een modemlogger die de waterkolom boven de sensor meet. De sensor en de modemlogger zijn door Leiderdorp Instruments als een geheel gemonteerd en gekalibreerd. In de sensor wordt door een luchtslang direct boven de sensor een luchtdrukcompensatie toegepast. Hierdoor wordt alleen waterdruk gemeten. De sensor meet relatieve waterstandsveranderingen. Door het afhangniveau van de sensor te meten t.o.v. een referentieniveau (bv NAP) is de absolute waterstand te bepalen. In Figuur 15 is een foto van de Ellitrack-D2 te zien en in tabel 12 specificaties. In Figure 16 is een schematisch weergave van de datastroom gegeven.



Figuur 15; Afbeelding van de Ellitrack-D2 van Leiderdorp Instruments

Tabel 14; Specificaties Ellitrack-D2 van Leiderdorp Instruments

Description	Value	Unit
Measurement range (+/-)	5	[m H <sub>2</sub> O]
Accuracy	<0,1	[%] van het meetbereik
Temperature Range	0 to +30	[°C] tempertuur correctie in dit bereik

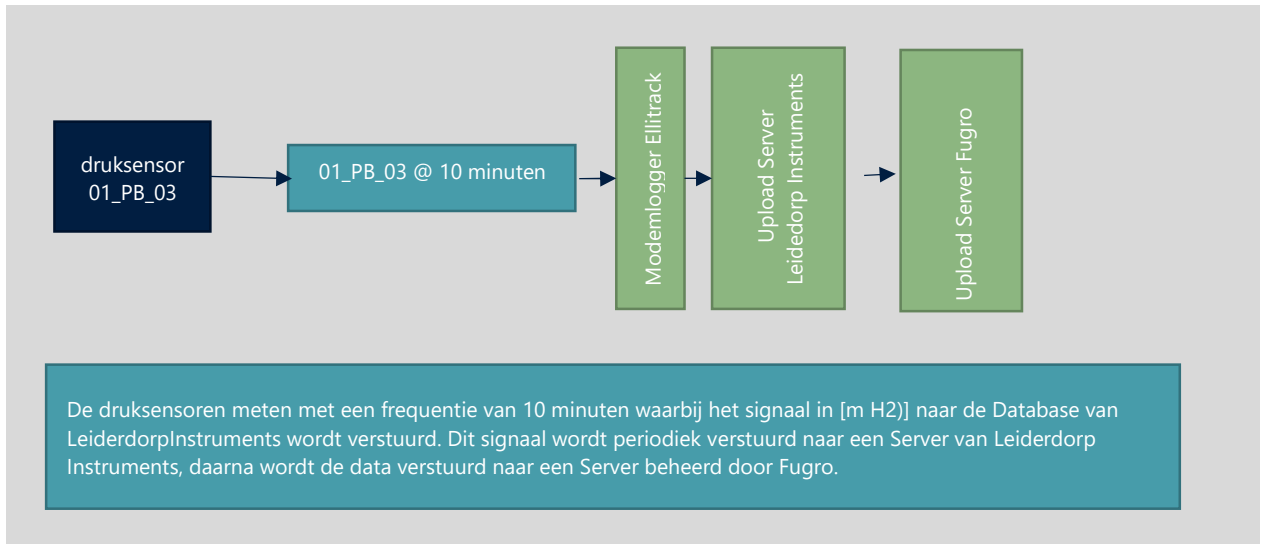


Figure 16; Schematische weergave datastroom

### 3.2.7 Davis (Wireless) Vantage Pro2 6152

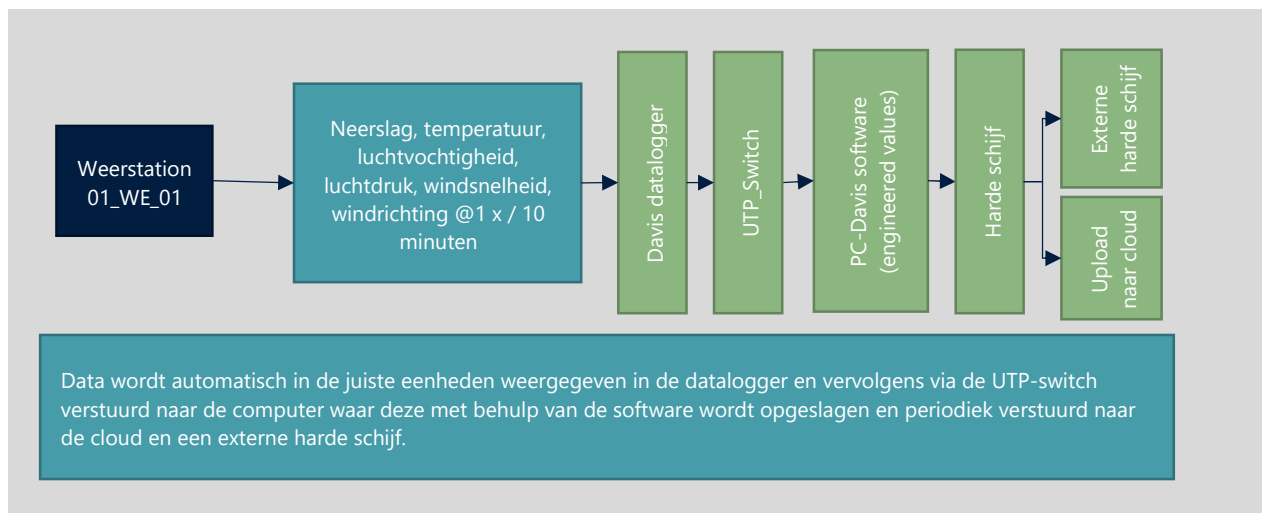
De Vantage Pro2 6152 is een weerstation bestaande uit een Integrated Sensor Suite (ISS) waar de diverse sensoren op of in gemonteerd zijn, een Console en een datalogger (6555IP). In Figuur 17 is een foto van het weerstation gegeven en in tabel 15 specificaties. In figuur 18 is een schematische weergave van de datastromen gegeven. Onderstaand is een opsomming gegeven van de weereigenschappen die het station meet.

- neerslag
- temperatuur
- luchtvochtigheid
- luchtdruk
- windsnelheid
- windrichting





Figuur 17; foto van Davis Vantage Pro2 6152



Figuur 18 Schematische weergave datastroom

Tabel 15: Specificaties Davis Vantage Pro2 6152

Description Barometer	Value	Unit
Measurement range (+/-)	540 to 1100	[hPa]
Accuracy (+/-)	1	[hPa]
Resolution	0,1	[hPa]
Update interval	1	[minute]
Description Humidity	Value	Unit
Measurement range (+/-)	1 to 100	[% RH]
Accuracy (+/-)	2	[%]
Resolution	1	[%]

Description Barometer	Value	Unit
Update interval	1	[minute]
Description Temperature	Value	Unit
Measurement range (+/-)	-40 to +74	[°C]
Accuracy (+/-)	1	[°C]
Resolution	1	[°C]
Update interval	10	[seconds]
Description Rainfall	Value	Unit
Measurement range (+/-)	0 to 998	[mm]
Accuracy (+/-)	4	[%]
Resolution	0,2	[mm]
Update interval	20	[seconds]
Description Wind Direction	Value	Unit
Measurement range (+/-)	1 to 360	[°]
Accuracy (+/-)	3	[°]
Resolution	16	[points on compass rose]
Update interval	3	[seconds]
Description Wind Direction	Value	Unit
Measurement range (+/-)	0 to 89	[m/s]
Accuracy (+/-)	0,9	[m/s]
Resolution	0,4	[m/s]
Update interval	3 / 10	[seconds / 10 minute average]

### 3.3 Randapparatuur

#### 3.3.1 Back-up stroomvoorziening

Om bij een eventuele stroomstoring te voorkomen dat er geen data wordt verzameld wordt in het meetsysteem een Uninterruptable Power Supply (UPS) ingebouwd. De gebruikte UPS is de BK500EI van APC de back-up capaciteit is minimaal 20 minuten. Conform het aanbestedingsdocument wordt de dataregistratie van de accelerometers gegarandeerd. Overige sensoren worden ook in de back-up stroomvoorziening opgenomen als dit met beperkte inspanning nodig is.



Figuur 19: foto van een gemonteerde UPS in een beschermingskast

#### 3.3.2 UTP Switch

De Netgear GS308E wordt gebruikt om diverse digitale datastromen te verbinden. De UTP switch wordt geplaatst op locaties waar meerdere datastromen kunnen worden gebundeld.



Figuur 20: Foto van gemonteerde GS308E in een beschermingskast

### 3.3.3 TDG Testbox2010

De Testbox 2010 van TDG is een data acquisitie systeem dat wordt gebruikt voor het aansturen en verzamelen van de data van de accelerometers en de druksensoren en de ADC conversie. De Testbox 2010 wordt standaard gemonteerd in de beschermingskast.

- De testbox is voorzien van een anti-alias filter;
- GPS direct ADC synchronisation van 1 microseconde.



Figuur 21: Afbeelding van TDG Testbox2010

Tabel 164: Specificaties TDG Testbox2010

Description	Value	Unit
ADC Resolution	24	Bit
Dynamic Range	138	dB

### 3.3.4 CR6 Datalogger

De CR6 datalogger van Campbell Scientific wordt gebruikt voor de data acquisitie van de LILY sensor. De datalogger wordt standaard gemonteerd in de beschermingskast op de betonnen meetplaat.



Figuur 22: foto van de CR6 datalogger in de beschermingskast



### 3.3.5 Datalogger weerstation

De datalogger voor het weerstation wordt gemonteerd in een beschermingskast nabij de ISS (Integrated Sensor Suite) van het weerstation.



Figuur 23: foto van de gemonteerde datalogger van het weerstation

### 3.3.6 Computer

De computer verzameld de data van de verschillende sensoren en stuurt deze aan. De computer zorgt tevens voor een lokale back-up van de data.



Figuur 24: Yacoo industrie PC

### 3.3.7 SMS Relay

Het sms-relay verzorgt de alarmering bij stroomuitval. Indien de stroomuitval langer duurt dan de UPS het systeem van stroom kan voorzien wordt automatisch een sms verstuurd naar minimaal 3 personen van Fugro. Bij inschakeling van de stroom wordt eveneens een sms verstuurd.



Figuur 25: SMS-relay

## 4. Locatie sensoren op en rondom object

### 4.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt een algemene beschrijving gegeven van de methode om de locatie van de sensoren op of om het object te bepalen. In de volgende paragrafen wordt per sensortype de methode toegelicht. Bij het selecteren van de locatie voor de plaatsing van de sensoren spelen verschillende aspecten een rol. In onderstaande lijst worden een aantal aspecten benoemd en toegelicht.

- Potentie voor waardevolle meetresultaten (bijvoorbeeld; goede dekking van sensoren op object om kans op waardevolle meting te vergroten)
- Wensen bewoners (bijvoorbeeld; geen sensoren hoog op voorgevel vanwege het aanzicht van de woning)
- Praktische installeerbaarheid (bijvoorbeeld; muur gaat verscholen achter begroeiing waardoor deze niet bereikbaar is)
- Voorziene toekomstige veranderingen aan object (bijvoorbeeld; geplande vervanging van het dak om deze reden geen sensoren aan dak bevestigen)

Aanvullend op de sensoren die op het object worden geplaatst worden er ook sensoren op of onder maaiveld geplaatst. De sensoren op maaiveld worden op een betonnen meetplaat geplaatst waarop ook een beschermende behuizing kan worden geplaatst waar diverse randapparatuur in is geplaatst.

In tabel 17 is een overzicht gegeven van de sensoren die op of in het object worden geplaatst en de sensoren die nabij het object of onder maaiveld worden geplaatst.

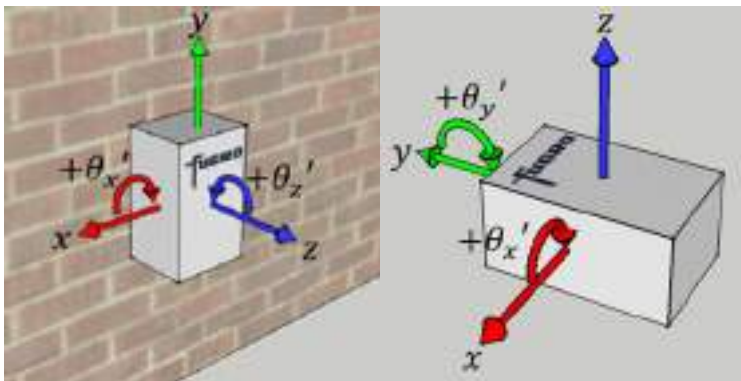
Tabel 17: Monitoringsomvang per groepsindeling

Omschrijving	Eenheid	Aantal sensoren op of in object (woning)/(Boerderij)	Aantal sensoren nabij object op meetplaat of onder maaiveld (woning)/(Boerderij)
Tiltmeter	[aantal/object]	7/14	0
Tiltmeter Dynamisch	[aantal/object]	0	1/1
Accelerometer	[aantal/object]	1/1	1/1
Peilbuis	[aantal/object]	0	2
Waterspanningsmeter	[aantal/object]	0	2
Open waterpeil	[aantal/object]	0	1
Weerstation	[aantal/object]	0	1
LILY sensor (Optioneel)	[aantal/object]	0	(1)



## 4.2 Tiltensoren

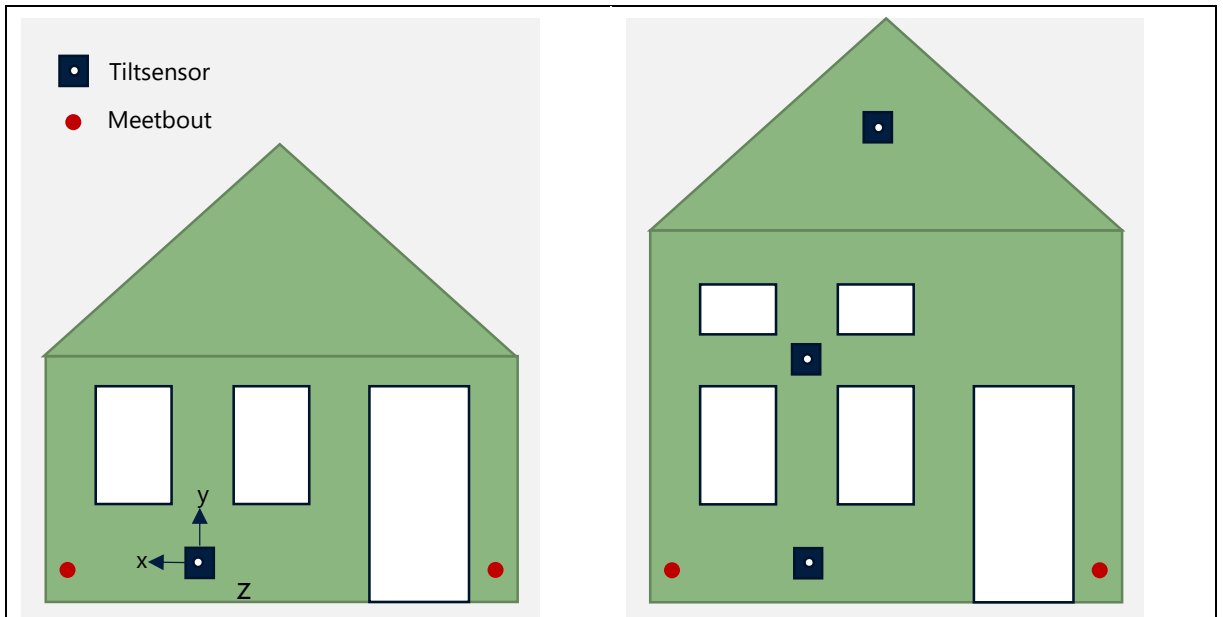
Per object worden 7 of 14 tiltensoren geplaatst. De tiltensoren meten de verandering van de scheefstand van het element waar op de sensoren zijn bevestigd. Het doel van de tiltensoren is om te onderzoeken of het ontstaan of verergeren van schade kan worden gecorreleerd aan veranderingen in de gemeten tilt. In overleg met Zonneveld Ingenieurs worden de tiltensoren ter plaatse van penanten een aantal decimeters boven maaiveld geplaatst. Indien het object over relatieve hoge gevels beschikt kunnen sensoren op 2 niveaus worden toegepast, zie figuur 28. Bij objecten waar een "flexibele" dak- of draagconstructie aanwezig is (bijvoorbeeld de binten bij een boerderij) kunnen sensoren in deze flexibele dak/draagconstructie worden toegepast. Bij de selectie van de locaties voor de sensoren wordt getracht om een evenredige verdeling van sensoren over het object te krijgen. De locatie van meetbouten die t.b.v. perceel 1 van de pilot tiltensoren worden geplaatst wordt in acht genomen waarbij tiltensoren bij voorkeur tussen 2 meetbouten in worden geplaatst en niet op dezelfde locatie. De sensoren kunnen op 2 manieren worden gemonteerd; aan de muur of aan de vloer. In Figuur 26 zijn de assenstelsels voor beide montage mogelijkheden weergegeven.



Figuur 26: Assenstelsel van tiltensoren, links bevestiging aan muur recht bevestiging aan vloer

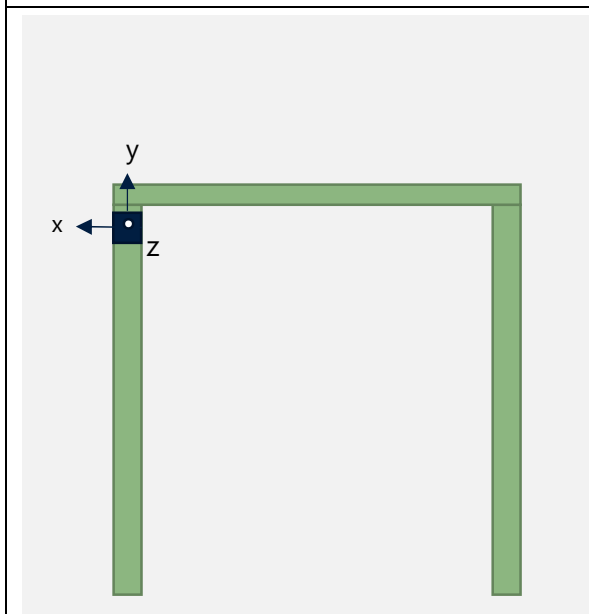
Tabel 186: Plaatsing tiltensoren op object

Naam	Omschrijving	Doel
Standaard	Aan gevel, ca. 50 cm boven maaiveld t.p.v. penant	Algemene tilt veranderingen woning meten
Standaard-hoog	Aan gevel, op 2 <sup>de</sup> verdieping t.p.v. penant	Verschil tilt op verschillende niveaus meten
Dak-constructie	Op draagconstructie, zolderniveau	Beweging dak/draagconstructie meten



Figuur 27: Plaatsing tiltensoren "Standaard"

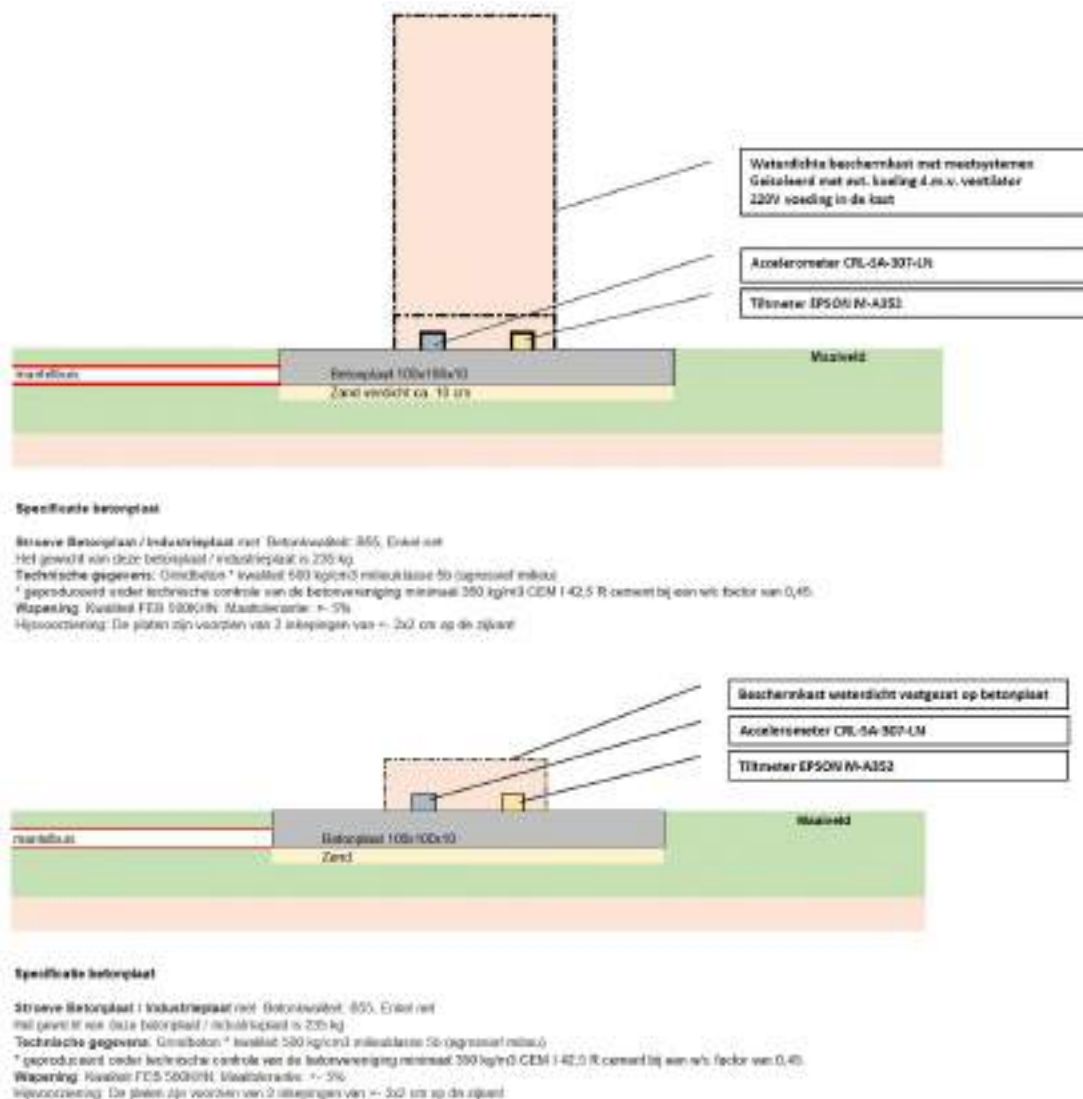
Figuur 28: Plaatsing tiltensoren "Standaard hoog"



Figuur 29: Plaatsing tiltensoren "Dak-constructie"

### 4.3 Betonnen meetplaat

In figuur 30 zijn de specificaties en afmetingen van de betonnen meetplaat gegeven. Het gewicht van de betonnen meetplaat is ca. 240 kg. Op de meetplaat worden een accelerometer en een dynamische tiltmeter bevestigd eventueel samen met een behuizing waarin diverse randapparatuur wordt geplaatst. Het gewicht van de behuizing inclusief apparatuur is ca. 95 kg. Op verzoek van bewoners kan de meetkast ook op een ander locatie worden geplaatst los van de betonnen meetplaat. In dat geval worden de sensoren beschermd door een kleinere kunststof beschermkast. In figuur 31 is een foto te zien van een geplaatste betonnen meetplaat en beschermingskasten. De afstand tussen de betonnen meetplaat met daarop sensoren en het object is bij voorkeur groter dan 2,0 m. Indien bewoners specifieke eisen hebben ten aanzien van de installatie kan hier vanaf worden geweken.



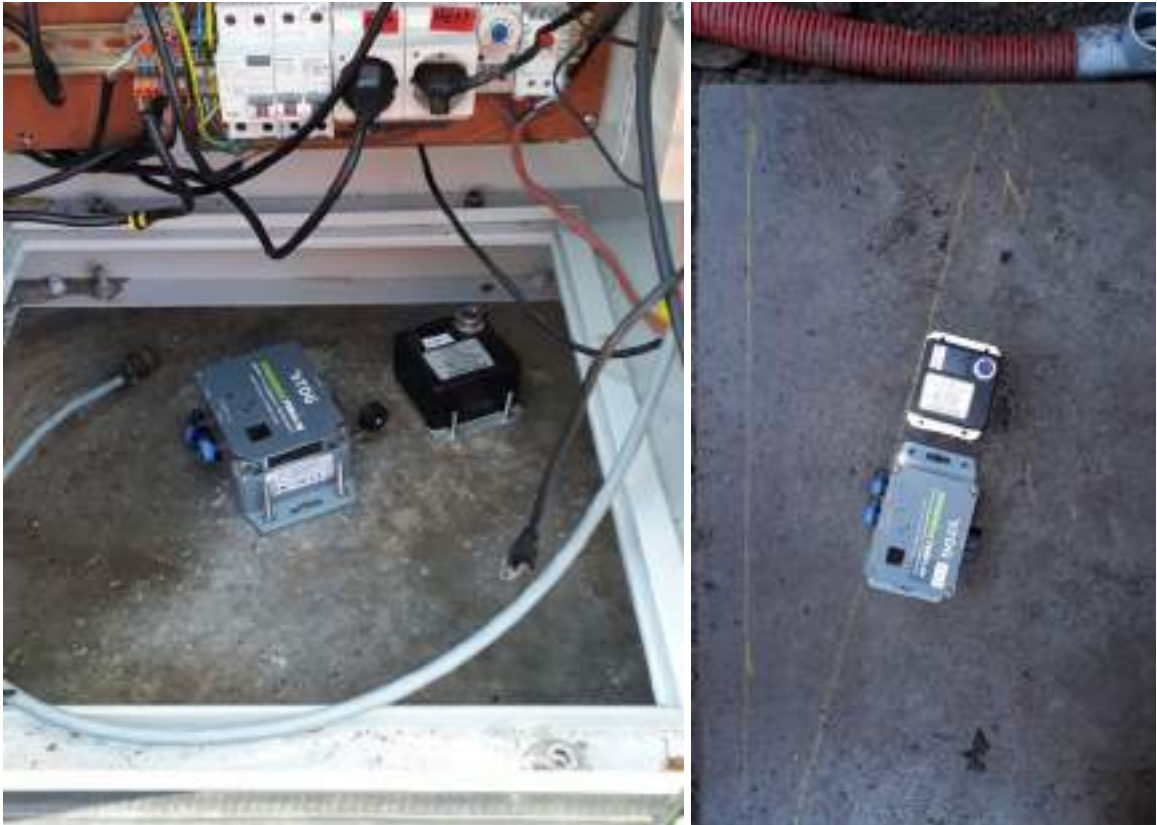
Figuur 30: Specificaties betonnen meetplaat



Figuur 31: Foto van een geplaatste betonnen meetplaat met beschermingskast

#### 4.4 Dynamische Tiltsensoren

Per object wordt 1 dynamische tiltsensor geplaatst. Deze sensor meet de tilt van het element waar het aan bevestigd is met een hogere frequentie dan de tiltsensoren. De dynamische tiltsensor wordt bevestigd op de betonnen meetplaat zoals beschreven in paragraaf 0. Een foto van de plaatsing van de dynamische tiltsensor op de betonnen meetplaat is weergegeven in figuur 32. Een doel van de dynamische tiltsensor is om te onderzoeken of een tiltsensor aanvullende informatie geeft over de karakteristieken van een aardbeving ten opzichte van een accelerometer, om deze reden wordt de dynamische tiltsensor samen met een accelerometer op de betonnen meetplaat geplaatst.



Figuur 32: Plaatsing dynamische tilsensor en accelerometer op betonnen meetplaat

## 4.5 Accelerometers

Per object worden 2 accelerometers geplaatst. Een accelerometer meet de versnelling van het element waar de sensor aan bevestigd is. Om potentiële verschillen tussen de versnelling van een object en het vrije maaiveld wordt 1 sensor geplaatst op een verharde vloer in het object en 1 sensor op de meetplaat zoals beschreven in paragraaf 3.2.4. Een foto van de plaatsing van de accelerometer op de betonnen meetplaat is weergegeven in figuur 32. Een foto van een geplaatste accelerometer op een verharde vloer in het object is weergegeven in figuur 33.



Figuur 33: Plaatsing accelerometer op verharde vloer in het object

#### 4.6 Waterspanningsmeters

Per object worden 2 waterspanningsmeters geplaatst. Een waterspanningsmeter wordt op een bepaalde diepte in de grond geplaatst en meet waterdruk waarbij slechts een zeer kleine verplaatsing van water nodig is. Aan de hand van de beschikbare grondonderzoekgegevens worden de installatieniveaus voor de waterspanningsmeters. Uitgangspunt is om een diepe en een ondiepe sensor (freatisch) te plaatsen. Indien aanwezig wordt de waterspanningsmeter in een los(ser) gepakte zandlaag geplaatst.

#### 4.7 Peilbuizen met druksensoren

Per object worden 2 peilbuizen met druksensoren geplaatst, zie figuur 34. Standaard worden in 1 boorgat 2 peilbuizen geplaatst met een diepe en een ondiepe filterafstelling. Bij de locaties waar een LILY sensor wordt geplaatst wordt de LILY sensor gecombineerd met de diepe peilbuis en wordt de ondiepe peilbuis met een handboring geplaatst. Een druksensor meet de hoogte van de waterkolom in de peilbuis boven de sensor. Aan de hand van de beschikbare grondonderzoekgegevens worden de installatieniveaus voor de filters van de peilbuizen bepaald. Uitgangspunt is om een diep en een ondiep filter (freatisch) te plaatsen.





Figuur 34: Plaatsing druksensor in peilbuis

## 4.8 Open water sensor

Per object wordt 1 open water sensor geplaatst. De openwater sensor is gelijk aan de druksensor die in de peilbuizen wordt toegepast. In figuur 35 is de plaatsing van de open water sensor te zien.

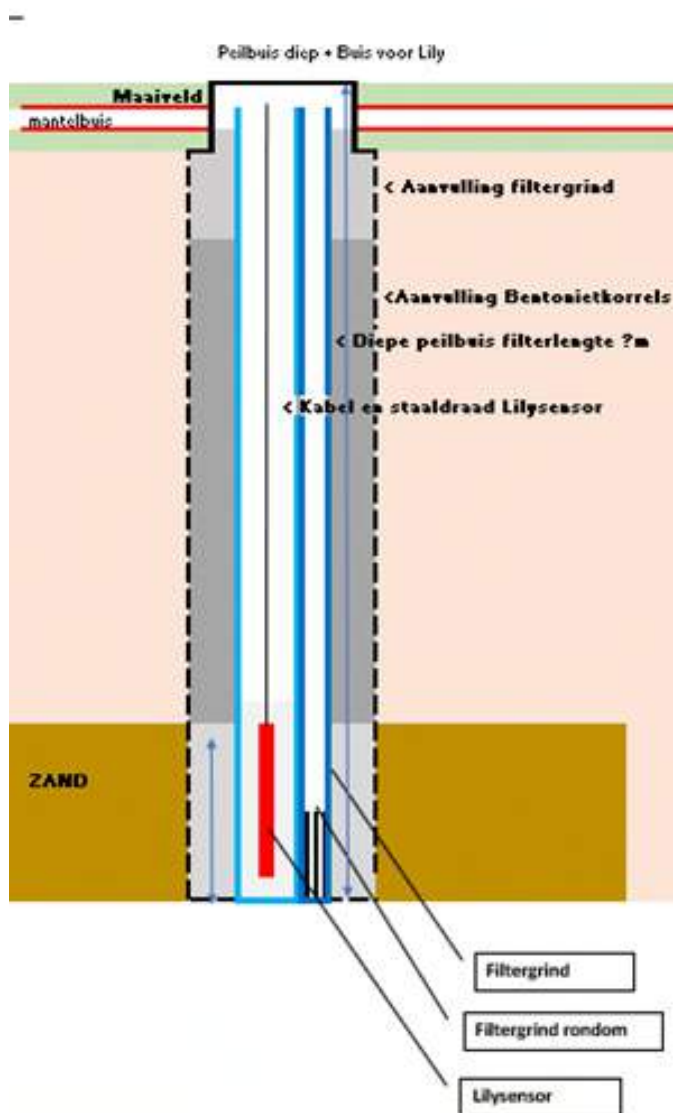


Figuur 35: Plaatsing open water sensor



## 4.9 LILY sensor

Conform de aanbevelingen van Jewell wordt de LILY sensor in een casing van 3" (76.2 mm) geplaatst (Jewell Instruments, 2013). Een schematische weergave van de plaatsing van de LILY sensor is gegeven in figuur 36. In de casing voor het plaatsen van de LILY 10 cm filtergrind geplaatst. Dit wordt met een stang verdicht. Vervolgens wordt de LILY bevestigd aan een staalkabel in de casing. Na het plaatsen wordt de staalkabel op spanning gehouden en wordt rondom LILY filtergrind geplaatst. Tijdens het aanvullen met filtergring wordt dit met een stang verdicht. Het filtergrind wordt afgevuld tot de bovenkant van de LILY.



Figuur 36: Schematische weergave plaatsing van LILY sensor

---

## 5. Bevestiging sensoren

### 5.1 Algemeen

De montage van de sensoren moet voldoen aan een aantal uitgangspunten.

- De montage is niet permanent en er mag geen onherstelbare schade aan de gevel worden toegebracht.
- Bevestiging met bouten aan de gevel mag alleen in de voegen tussen de stenen

In onderstaande paragrafen wordt per sensor de bevestigingsmethode toegelicht daar waar relevant.

### 5.2 Tiltmeters

De tiltmeters worden bevestigd op een polycarbonaat bevestigingsplaat van 10x200x300mm (zie figuur 37). Afhankelijk van het element wordt de bevestigingsplaat met bouten of met schroeven vastgezet.

#### 5.2.1 Bevestiging op stenen muur

De bevestigingsplaat wordt waterpas op de muur bevestigd. Ter hoogte van de voegen worden er gaten in de bevestigingsplaat en in de voegen geboord. De gaten worden vervolgens met lucht schoongemaakt. De bevestigingsplaat wordt met M8x50 bouten en messingpluggen in de voeg van het metselwerk bevestigd. Bij het verwijderen van de het plaatje worden de messingpluggen verwijderd en de gaten in de voegen met voegcement afgedicht. In figuur 37 is een foto weergegeven met hierop een bevestigde bevestigingsplaat.



Figuur 37: Bevestigde bevestigingsplaat

Op de bevestigingsplaat wordt een ijzeren beschermkast 150x200x300mm aangebracht. De beschermkast wordt op de hoekpunten met vier M5 bouten vastgezet. De beschermkast wordt op de achterkant voorzien van een laag siliconekit zodat een waterdichte aansluiting met de bevestigingsplaat ontstaat, zie figuur 38. Onder in de kast zijn een aantal wartels geplaatst zodat er een waterdichte doorvoer voor aansluitkabels mogelijk is. De tiltmeter wordt vastgezet op de bevestigingsplaat met vier M5 bouten, zie figuur 39.



Figuur 38: bevestiging metalen beschermkast



Figuur 39: bevestiging Tiltmeter inclusief bekabeling

## 5.2.2 Bevestiging op houten constructie

Indien de tiltmeter aan een houten element wordt bevestigd worden in plaats van bouten houtschroeven gebruikt. De bevestiging en afwerking van de tiltmeter is vergelijkbaar met de overige tiltmeters. Het polycarbonaatplaatje is hier vastgezet met 8 houtschroeven in de houten balk, zie figuur 40.

Hoewel de tiltmeter recht op de muur wordt vastgezet betekent dit niet dat de tiltmeter altijd waterpas bevestigd is op de muur. De tiltmeter wordt direct vastgezet aan de gevel niet alle gevels staan waterpas. Na montage van de tiltmeters wordt van elke tiltmeter de verticale en horizontale schuinstand met een digitale waterpas vastgelegd. Ook wordt elke sensor en elke locatie fotografisch vastgelegd. De exacte locatie van de tiltmeter wordt ingemeten met een meetband ten opzichte van de hoekpunten van de woning de hoogte van de sensoren wordt met een hoogtelaser bepaald de hoogte wordt gemeten ten opzichte van de aangebrachte hoogtemeetbouts.



Figuur 40: Afbeelding bevestiging Tiltmeter en beschermkast op houten gebint

### 5.3 Weerstation

Het weerstation Vantage Pro2 van Davis meet windsnelheid en windrichting, regen en temperatuur en de luchtvochtigheid. Het weerstation bestaat uit een meetopstelling met sensoren en een separate datalogger. De datalogger gemonteerd in een kunststof beschermkast, zie figuur 41 en figuur 42.



Figuur 41: Afbeelding opstelling weerstation



Figuur 42: Plaatsing Vantage Pro 2 datalogger in meetkast

## 6. Factory Acceptance Test (FAT)

### 6.1 Algemeen

Om de juiste werking van de verschillende meetinstrumenten te controleren wordt er na ontvangst van de sensoren van de leverancier intern bij Fugro een "Factory Acceptance Test" (FAT) uitgevoerd. De FAT bestaat uit een aantal controles waarmee een juiste werking van de sensoren en het meetsysteem wordt gecontroleerd. In dit hoofdstuk wordt een beschrijving van de doelen en de methoden die zijn gehanteerd bij de FAT. Deze resultaten van de FAT worden opgenomen in het object specifieke monitoringsrapport voor de sensoren die van toepassing zijn voor de desbetreffende locatie. In tabel 19 is een overzicht gegeven van de FAT's die worden uitgevoerd en in de volgende paragrafen zullen worden toegelicht.

Tabel 197: Onderdelen van de FAT

ID	Omschrijving
FAT-01	Algemene controle gehele meetsysteem
FAT-02	Controle meetsysteem bij (tijdelijke) stroomuitval
FAT-03	Algemene controle werking sensor

### 6.2 FAT-01: Algemene controle meetsysteem

Om een sensor goed te laten functioneren is het van belang dat deze compleet is en geen beschadigingen heeft, op een correcte manier wordt aangesloten en dat de datalogger goed is geconfigureerd. De sensoren worden visueel gecontroleerd op afwijkingen waarbij zowel de sensor als de bekabeling wordt gecontroleerd op schade en compleetheid.

Wanneer er geen afwijkingen zijn geconstateerd wordt de sensor aangesloten op de datalogger, UPS of rechtstreeks op de computer. Voor de tiltsensoren geldt dat deze visueel gecontroleerd kunnen worden op een juiste aansluiting van stroom en datakabel. Indien dit niet correct is gebeurt gaat een rood lampje branden, in geval van juiste aansluiting is dit lampje groen, zie figuur 43



Figuur 43: niet- en wel werkende tiltsensor



Alle sensoren worden na aansluiten voorzien van een label met daarop een unieke ID van de sensor zodat deze op de projectlocatie op dezelfde wijze wordt gebruikt. Voor zover mogelijk wordt gewerkt met kabels die reeds op de gewenste lengte zijn gemaakt. Dit geldt in ieder geval voor de druksensoren en accelerometers.

Naast de visuele controle wordt tevens gecontroleerd of de data zichtbaar is in de software op de aangesloten computer.

Wanneer ook de aansluitingen gecontroleerd zijn dient gecontroleerd te worden of de configuratie van de software juist is. Hierbij wordt een controle uitgevoerd op:

- Zijn alle sensoren correct benoemd;
- Zijn de juiste eenheden toegeschreven (in geval van tilt [deg], versnelling [G], druksensoren [V]);
- Voor de accelerometers wordt gecontroleerd op de juiste gevoeligheid is ingevoerd om de correcte output in G te verkrijgen.
- Zijn de juiste meetfrequenties geprogrammeerd;
- Wordt de data naar de juiste schijf weggeschreven.

Wanneer alle hierboven genoemde punten zijn gecontroleerd en in orde zijn wordt de configuratie opgeslagen en tevens als back-up opgeslagen op het netwerk van Fugro.

### 6.3 FAT-02: Controle of monitoringssysteem werkt na (tijdelijke) stroomuitval.

Tijdens de meetperiode is er een kans op stroomuitval. Het systeem is voorzien van een backup voeding dat bij een tijdelijke stroomuitval zorgt dat de metingen waarvan de stroomtoevoer is aangesloten is op de UPS niet stoppen. Het versturen van data zal in deze periode niet mogelijk zijn en ook zal de koeling in de kast tijdelijk stoppen. Door de hoofdstroomtoevoer uit te schakelen kan dit systeem worden getest. Na uitschakeling treedt de UPS in werking waardoor de hoofdbestanddelen van het meetsysteem blijven werken.

De laatste test bestaat uit het controleren of het systeem (inclusief juiste configuratie weer opstart na een stroomuitval. Om deze uitval na te bootsen wordt ook de UPS uitgeschakeld waardoor het volledige meetsysteem wordt uitgeschakeld. Na inschakeling van de stroom wordt gecontroleerd of:

- Het meetsysteem weer opstart;
- Alle sensoren weer meten;
- De juiste configuraties nog staan ingesteld.

Daarnaast wordt er gecontroleerd of de alarmering in de vorm van een sms wordt verstuurd. Deze alarmering door middel van een sms-relais wordt geactiveerd zodra de UPS uitvalt en wanneer deze weer van stroom wordt voorzien. Er wordt dus 2 x een sms verstuurd.



## 6.4 FAT-03: Per sensor wordt de werking in bedrijfstoestand getest.

Uitgangspunt voor de FAT is dat door de leverancier juiste kalibratiewaarden zijn bepaald. In FAT-03 wordt gecontroleerd of de sensor reëel waarden meet, de nauwkeurigheid van de sensor wordt niet gecontroleerd..

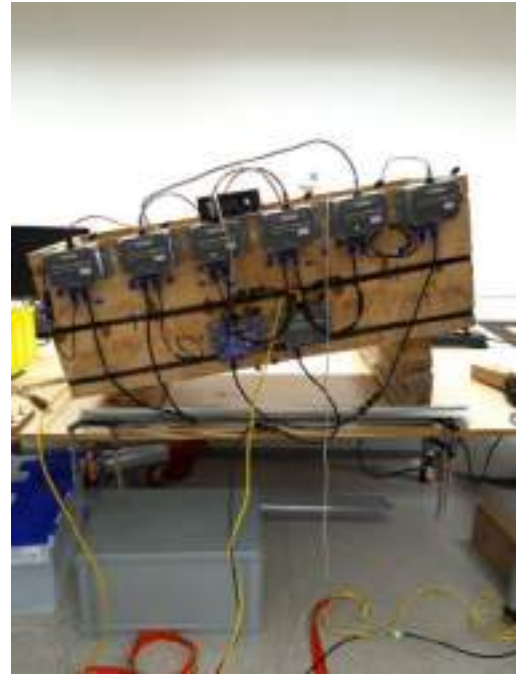
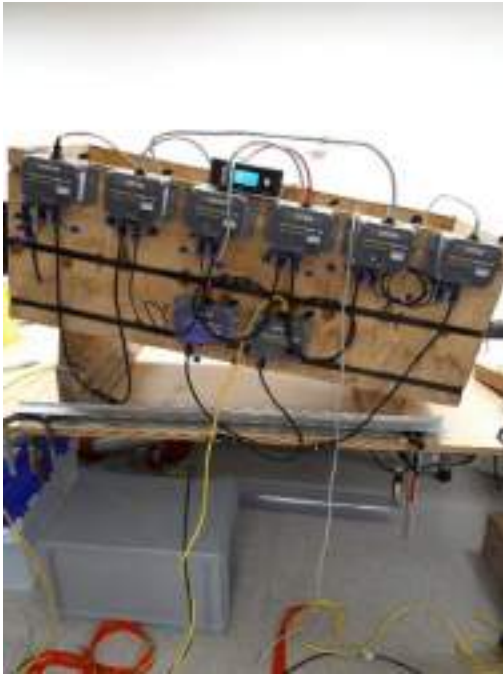
### 6.4.1 Tiltmeters

Van een Tiltmeter wordt gecontroleerd of de gemeten tilt van de meter in de juiste meetwaarde en richting gepresenteerd wordt. Om dit te controleren word de Tiltmeter SB-7003-TD en de Tiltmeter Dynamic 7003-DI gemonteerd op een testopstelling. De testopstelling wordt in 5 posities gekanteld en de meetwaarden van de sensoren op de test opstelling worden onderling vergeleken. Figuur 44, Figuur 45 en Figuur 46 geven de testopstelling weer en de bijbehorende 5 posities:

Ter controle van de waardes is een digitale waterpas gebruikt zodat de orde van verandering van de waarden hiermee kan worden vergeleken.



Figuur 44: Positie 1: nul-stand (zowel x-as als z-as ca. 0-graden)



Figuur 45: Positie 2 en 3: kanteling om de z-as (x-waarden veranderen positief en negatief)



Figuur 46: Positie 4 en 5: kanteling om de x-as (z-waarden veranderen positief en negatief)

#### 6.4.2 LILY sensor

Tiltmeter pleistoceen type; Lily wordt separaat getest. De sensor wordt in een pvc casing geplaatst. De sensor wordt in de pvc casing op dezelfde manier afgewerkt als tijdens de installatie in het veld. Daarna volgt het self-levelling proces. De stabiliteit van de sensor in de casing wordt getest. Als de levelling is afgerond worden meetwaarden genoteerd. Vervolgens worden de meetwaarden genoteerd per uur. De test wordt minimaal 24 uur uitgevoerd. De meetopstelling wordt vervolgens in twee richtingen haaks op de meetrichting van de sensor gekanteld waarbij wordt gecontroleerd of deze een verandering in tilt weergeeft.

### 6.4.3 Accelerometers

De accelerometers meten versnellingen. De accelerometers type CRL-SA-307-LN en de Tiltmeter Dynamic SB7003-DI, die per object ingezet worden, worden vastgezet op een plank en gekanteld in 5 posities. Deze posities zijn hieronder per foto vastgelegd met bijbehorende as richting erbij. Er is een verschil in as benaming tussen de analoge en digitale. De assen van de CRL-SA-307-LN en de SB7003-DI komen in verband met het ontwerp van de beide sensoren niet met elkaar overeen. De beginposities zijn weergegeven in onderstaande figuren waarbij de rotatie in de overige posities visueel is weergegeven. De waarden per positie hiervan wordt per accelerometer genoteerd. De 5 posities met bijbehorende theoretische waarden zijn weergegeven in tabel 20. Daarnaast zijn ook door de leveranciers tests gedaan, zie Appendix C



Figuur 47: Positie 1 van bovenaf gezien

Tabel 208: Meetposities test versnellingen

Omschrijving	Rotatie	Waarde CRL-SA-307-LN (theoretisch) [G]			Waarde SB7003-DI (theoretisch) [G]		
		X	Y	Z	X	Y	Z
Positie 1	 	X = 0	Y = 0	Z = 0	X = 0	Y = 0	Z = -1
Positie 2	 	X = -1	Y = 0	Z = 1	X = 1	Y = 0	Z = 0
Positie 3	 	X = -1	Y = 0	Z = -1	X = -1	Y = 0	Z = 0
Positie 4	 	X = -1	Y = -1	Z = 0	X = 0	Y = -1	Z = 0
Positie 5	 	X = -1	Y = 1	Z = 0	X = 0	Y = 1	Z = 0



Figure 48: Positie 1 en 2



Figure 49: Positie 3 en 4



Figure 50: Positie 5



#### 6.4.4 Druksensoren

In de peilbuizen, het open water meetpunt en in de waterspanningsmeters zijn drukopnemers geïnstalleerd. Door de sensoren in een pvc buis gevuld met water te installeren wordt de meetwaarde op verschillende niveaus vergeleken met de waterstand in de pvc buis. De meetwaarden moet overeenkomen met de waterstand in de buis.



Figure 51: [Insert Caption]

#### 6.4.5 Weerstation

Het weerstation meet; windrichting, windsnelheid, neerslag en de temperatuur. Om deze functies te controleren worden er een aantal testen uitgevoerd.

De windrichting wordt met een windvaan gemeten. Met een gradenboog wordt de vaan in de vier windrichtingen gezet. De onderlinge hoek moet daarbij 90 graden zijn.

De windsnelheid wordt gecontroleerd door het schoepenrad met de vaste snelheid van een de accuboormachine rond te draaien. De meetresultaten van drie snelheidsmeters wordt onderling vergeleken.

Neerslag wordt gecontroleerd door met de een bekende hoeveelheid water in de trechter te gieten. De gemeten hoeveelheid neerslag zal hiermee overeen moeten komen.

Temperatuur de temperatuurmeting wordt gecontroleerd door de meetwaarde te vergelijk met een losse thermometer tijdens deze test wordt de temperatuur met 10 graden verhoogd.

## 6.5 Kalibratierapporten

Voor de kalibraties worden zo veel mogelijk fabriekskalibraties gehanteerd. Een uitzondering hierop zijn de druksensoren, deze worden op het kantoor van Fugro opnieuw gekalibreerd met behulp van een geijkte kalibrator. De kalibratierapporten van de verschillende sensoren worden per locatie verstrekt. In tabel 21 staat een overzicht weergegeven van welke type sensoren welke kalibratiewaarden worden gebruikt (fabrieks of Fugro). Een voorbeeld van de kalibratiefactoren is gegeven in Appendix D

Tabel 219: Gebruikte kalibraties

Type sensor	Type kalibratie
Tiltsensoren	Fabriekskalibratie
accelerometers	Fabriekskalibratie
Dynamische tiltsensor	Fabriekskalibratie
Lily tiltsensor	Fabriekskalibratie
druksensoren	Fugro kalibratie
weerstation	Fabriekskalibratie

## 7. Site Acceptance Test (SAT)

### 7.1 Inbedrijfstelling (SAT)

#### 7.1.1 Algemeen

De SAT is een test waarbij de werking van het geïnstalleerde meetsysteem wordt gecontroleerd. Ook wordt de werking van het meetsysteem onder een aantal "worst case" scenario's gecontroleerd. De test heeft als doel een betrouwbaar en goedwerkend meetsysteem garanderen.

De ingebruiknametest (SAT) bestaat uit een aantal onderdelen:

1. Controle of monitoringssysteem solide en veilig is geïnstalleerd.
2. Controle of de sensoren een betrouwbare meetwaarde weergeven.
3. Controle of monitoringssysteem data verzamelt en / of uitwisselt.
4. Controle of monitoringssysteem werkt na (tijdelijke) stroomuitval.
5. Controle of monitoringssysteem op afstand is te benaderen via beveiligde verbinding.

De ingebruiknametest wordt na de installatie door een medewerker van Fugro uitgevoerd. Desgewenst zal de opdrachtgever bij deze test aanwezig zijn.

### 7.2 Site Acceptance Test procedure

#### 7.2.1 SAT-1: Controle of monitoringssysteem solide en veilig is geïnstalleerd.

De meetopstelling bestaat uit verschillende onderdelen waarbij rondom de woningen en de bijgebouwen o.a. tiltsensoren en accelerometers zijn gemonteerd. Deze sensoren worden door middel van bekabeling onderling verbonden. Alle sensoren zijn gekoppeld aan een meetcomputer. Ook zijn er sensoren op het maaiveld, in de sloot en ondergronds afgewerkt. Het is van belang dat alle bekabeling degelijk is afgewerkt om uitval, overlast en storing te voorkomen. Ook moeten alle sensoren solide zijn gemonteerd.

De sensoren worden gecontroleerd op:

- Juiste montage (solide);
- Correcte afwerking (veilig en voldoende robuust);
- Nette afwerking (zo min mogelijk overlast voor bewoners).

Van elke sensor wordt een foto gemaakt teneinde aan te kunnen tonen dat deze na de installatie correct is gemonteerd.

#### 7.2.2 SAT-2: Controle of de sensoren een betrouwbare meetwaarde weergeven.

Alle sensoren worden gecontroleerd op een goede werking. Na installatie worden verschillende tests voor de verschillende sensoren uitgevoerd om te controleren of hier realistische waarden uit komen.

- Tilt: controle met waterpas;



- Accelerometer: reactie op trilling;
- Weerstation: controle met KNMI;
- Peilbuizen en open waterpeil: handwaarneming;
- Waterspanningsmeters: Vergelijking met peilbuizen (indien mogelijk).

### 7.2.3 SAT-3: Controle of monitoringssysteem data verzamelt en / of uitwisselt.

Deze controle wordt uitgevoerd door in de computer te controleren of de verzamelde data op de goede locatie wordt opgeslagen en periodiek wordt verstuurd naar de cloud en de externe harde schijf.

### 7.2.4 SAT-4: Controle of monitoringssysteem werkt na (tijdelijke) stroomuitval.

Na ingebruikname is er een kans op stroomuitval. Het systeem is voorzien van een backup voeding dat bij een tijdelijke stroomuitval zorgt dat de metingen waarvan de stroomtoevoer is aangesloten op de meetkast niet stoppen. Het versturen van data zal in deze periode niet mogelijk zijn en ook zal de koeling in de kast tijdelijk stoppen. Door de hoofdstroomtoevoer uit te schakelen kan dit systeem worden getest. Na uitschakeling treedt de UPS in werking waardoor de hoofdbestanddelen van het meetsysteem blijven werken.

De laatste test bestaat uit het controleren of het systeem (inclusief juiste configuratie weer opstart na een langdurige stroomuitval. Om deze uitval na te bootsen wordt ook de UPS uitgeschakeld waardoor het volledige meetsysteem wordt uitgeschakeld. Na inschakeling van de stroom wordt gecontroleerd of:

- Het meetsysteem weer opstart;
- Alle sensoren weer meten;
- De juiste configuraties nog staan ingesteld.

Daarnaast wordt er gecontroleerd of de alarmering in de vorm van een sms wordt verstuurd. Deze alarmering door middel van een sms-relais wordt geactiveerd zodra de UPS uitvalt en wanneer deze weer van stroom wordt voorzien. Er wordt dus 2 x een sms verstuurd.

### 7.2.5 SAT-5: Controle of monitoringssysteem op afstand is te benaderen via beveiligde verbinding.

Om de werking van het meetsysteem te controleren kan vanaf kantoor de meetcomputer met een beveiligde verbinding (Fugro Support) worden benaderd. Dit is wenselijk in geval van bijvoorbeeld tijdelijke stroomuitval of controle van een bepaalde sensor.

---

## 8. Datapresentatie

### 8.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven indien bewerkingen op de meetdata worden uitgevoerd om deze te visualiseren en de visualisaties welke zijn opgenomen in de maandrapportages worden toegelicht.

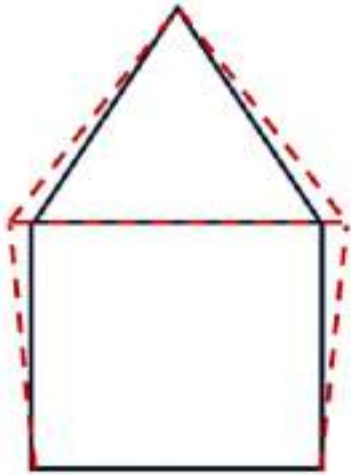
### 8.2 Tiltensoren

#### 8.2.1 Algemeen

Bij de eerste analyses van de tiltensor meetdata is geconstateerd dat de temperatuurcorrectiefactor ingesteld door de leverancier van de sensoren onnauwkeurig is. De onnauwkeurigheid van de temperatuurcorrectiefactor is vastgesteld in Fugro document 1418-0227-010-test.pdf d.d. 12-06-2020 in deze rapportage als Appendix E waarin de resultaten van een testprocedure zijn beschreven waarin diverse mogelijke invloeden op de meetdata zijn onderzocht. In overleg met de leverancier is geconstateerd dat het afleiden van een in-situ temperatuurcorrectie factor en deze toe te passen op de meetdata de hoogste nauwkeurigheid kan worden bereikt. In dit hoofdstuk wordt de procedure beschreven die wordt toegepast om de data te corrigeren.

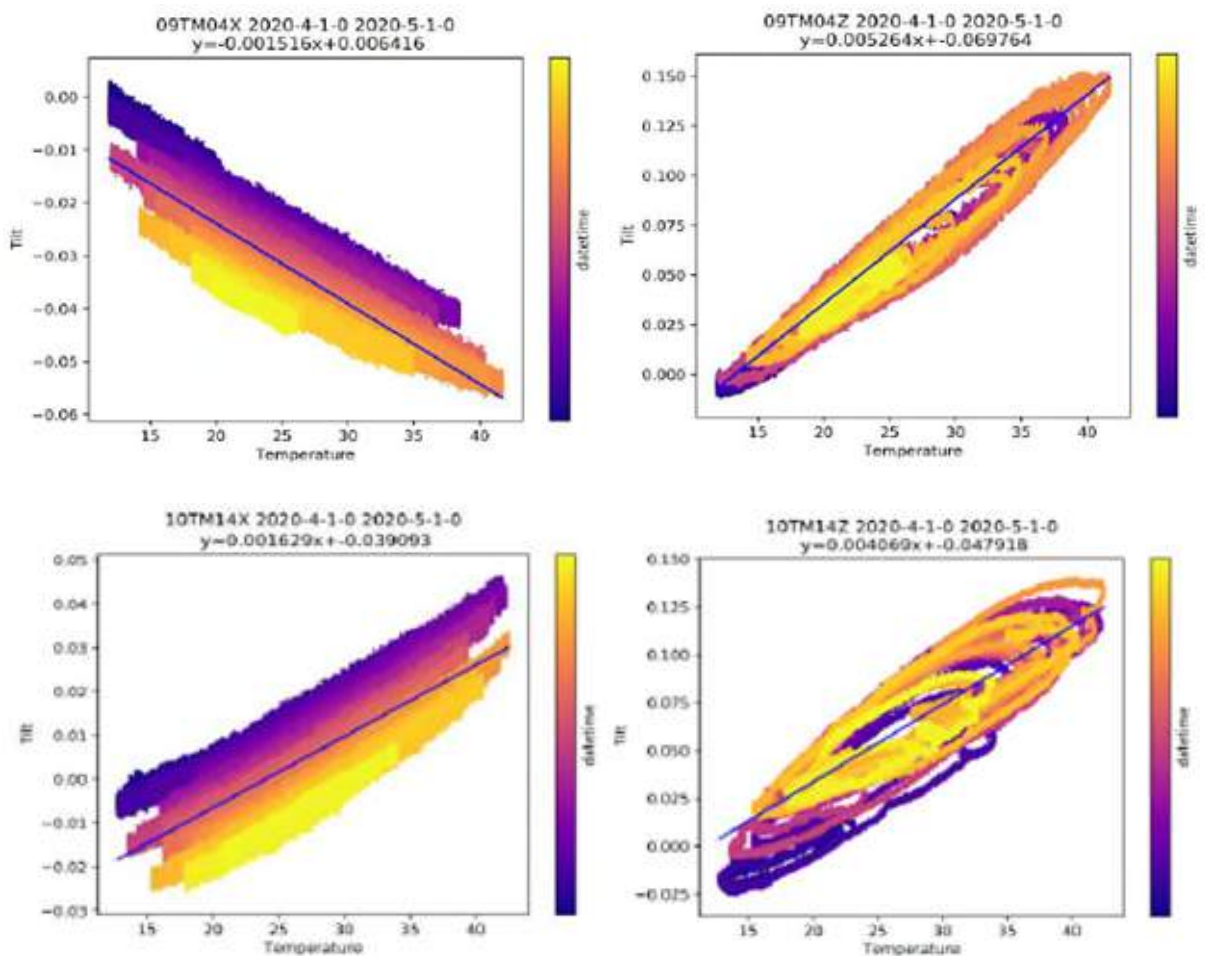
#### 8.2.2 Temperatuurscorrectie en grafieken

De in-situ temperatuurcorrectiefactor is per sensor-as afgeleid door een plot te maken van de temperatuur vs de gemeten tilt over een bepaalde periode. In Figuur 53 is een voorbeeld gegeven van de temperatuur geplot tegen de gemeten tilt. De temperatuurcorrectiefactor wordt afgeleid door een trendlijn van de data af te leiden. De helling van deze trendlijn geeft een indicatie van de temperatuurcorrectiefactor. In Figuur 53 is ter illustratie de meetdata (temperatuur vs tilt) van 1 maand geplot voor 2 sensoren 09TM04 en 10TM14 waarbij met behulp van lineaire regressie een lijn door de punten wolk is afgeleid. Aan de linkerkant is de x-as van de sensor weergegeven welke de rotatie in het vlak weergeeft aan de rechterkant de rotatie uit het vlak (z-as). De uit het vlak beweging (y-as) laat een hysteresise loop zien wat kan worden verklaard door een aanname dat er naast de sensor-output nog een effect van temperatuur op de meting is. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door een beweging van de dakconstructie door een temperatuursverandering welke op zijn beurt een rotatie uit het vlak van de muur veroorzaakt schematisch weergegeven in Figuur 52.

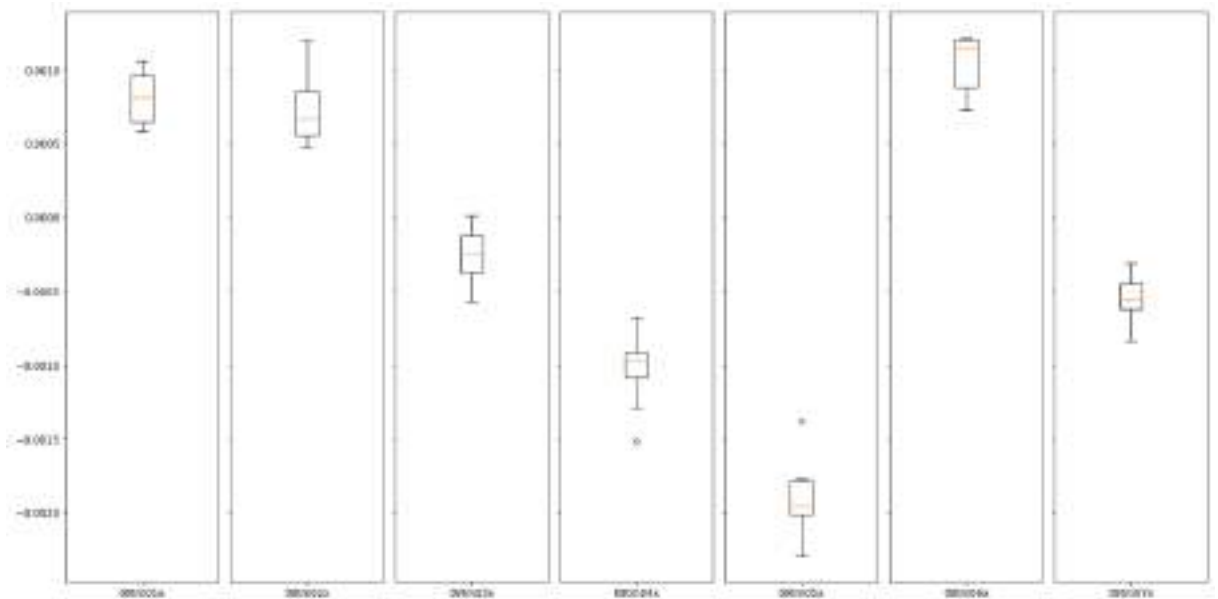


Figuur 52; indicatieve weergave van een mogelijke oorzaak van het ontstaan van een hysteresis loop in de uit het vlak tiltmeting (z-as)

Over het jaar 2020 is voor elke maand en sensor-as een correctiefactor bepaald. Uit deze correctiefactoren is een gemiddelde per sensor-as afgeleid waarbij afwijkende correctiefactoren, welke geen goede fit met de meetdata geven, zijn weggelaten. Om de afgeleide correctiefactoren te visualiseren zijn Boxplots gemaakt, een voorbeeld is weergegeven in Figuur 54,



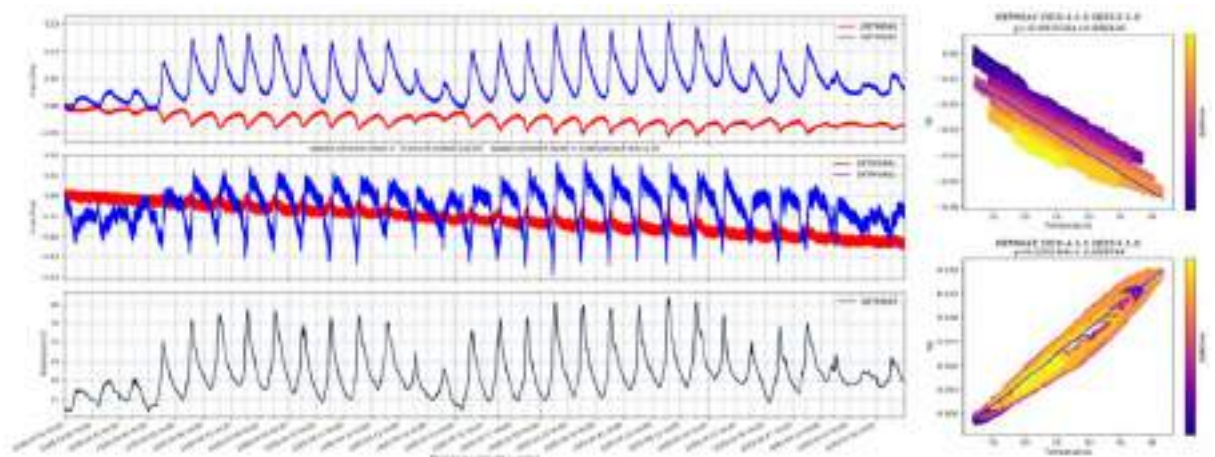
Figuur 53; Voorbeelden van afgeleide correctiefactoren van 2 sensoren voor 1 maand data



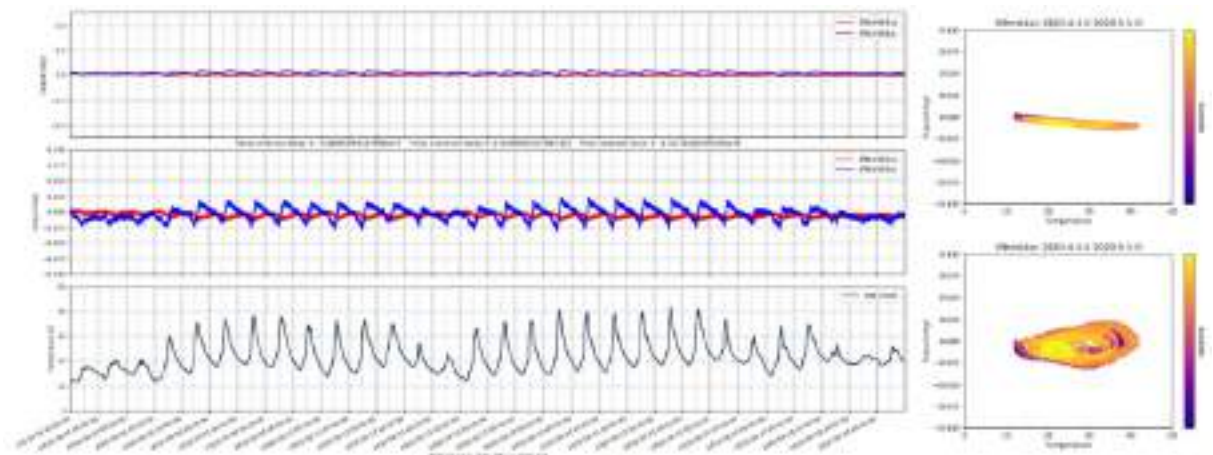
Figuur 54; boxplot van afgeleide correctiefactoren voor meetdata in het jaar 2020

Tijdens de analyse van de temperatuursinvloeden is naast een temperatuursinvloed ook een tijdsinvloed geconstateerd. Alle sensoren laten met toenemende tijd een afnemende sensoroutput zien voor de x-as. Dit is te zien in de linker figuren in Figuur 53, de tijd is hier weergegeven met een kleur. In dit figuur is te zien dat de sensor output aan het begin van de maand (aangegeven met paars) hoger er dan aan het eind van de maand (aangegeven met geel). In overleg met de leverancier is voor deze drift een correctie toegepast door per maand een tijdscorrectiefactor te bepalen op een vergelijkbare manier als voor de temperatuurscorrectie is gedaan.

Ter illustratie van de invloed van de temperatuur- en tijdscorrectiefactoren zijn deze voor sensor 09TM04 weergegeven voor de meetdata van de maand april 2020. In Figuur 55 is de meetdata weergegeven zoals verkregen met de fabriekscorrectiefactoren. In Figuur 56 is de meetdata met de afgeleide correctiefactoren weergegeven.



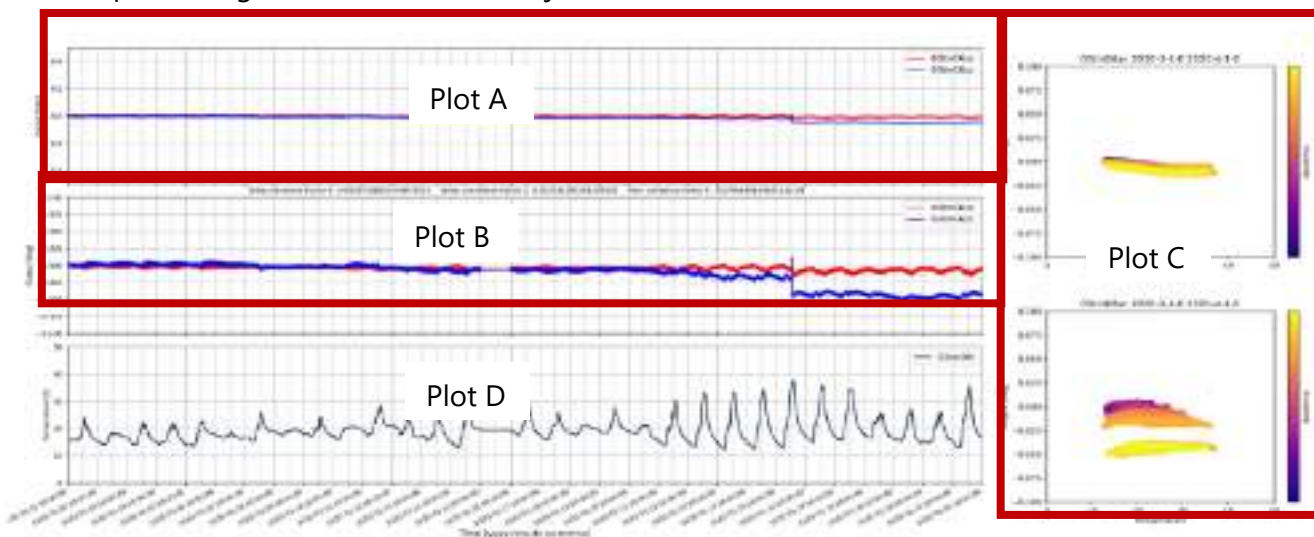
Figuur 55; meetdata van sensor 09TM04 in April 2020 met de fabrieksinstellingen



Figuur 56; meetdata van sensor 09TM04 in April 2020 met de afgeleide correctiefactoren

In de datapresentatie rapporten wordt de gecorrigeerde meetdata weergegeven. In Figuur 57 is een voorbeeld gegeven van de datapresentatie van de tiltsensoren.

- Plot A: overzichtsgrafiek met een asbereik van -0.5 tot +0.5 [°]. Bij start meting op 0 gezet.
- Plot B: Detailgrafiek met een asbereik van -0.1 tot +0.1[°], elke maand op 0 gezet.
- Plot C: temperatuur vs tilt grafieken met een tiltbereik van -0.1 tot +0.1 [°] en een temperatuur bereik van 0 tot 50 [°] waarbij de tijd is aangegeven door een kleurschaal van paars tot geel met toenemende tijd.

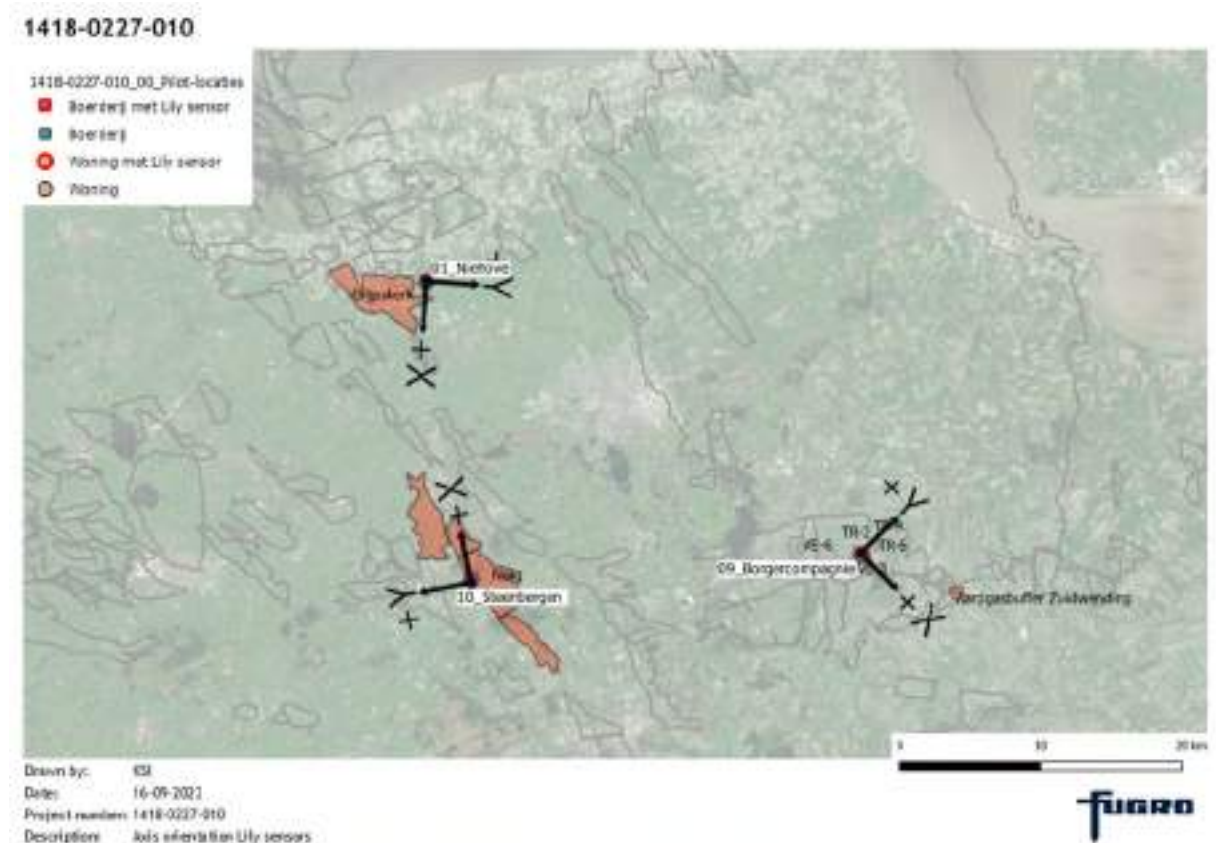


Figuur 57; Voorbeeld van de plots van de meetdata van de tiltsensoren



### 8.3 Lily-sensoren

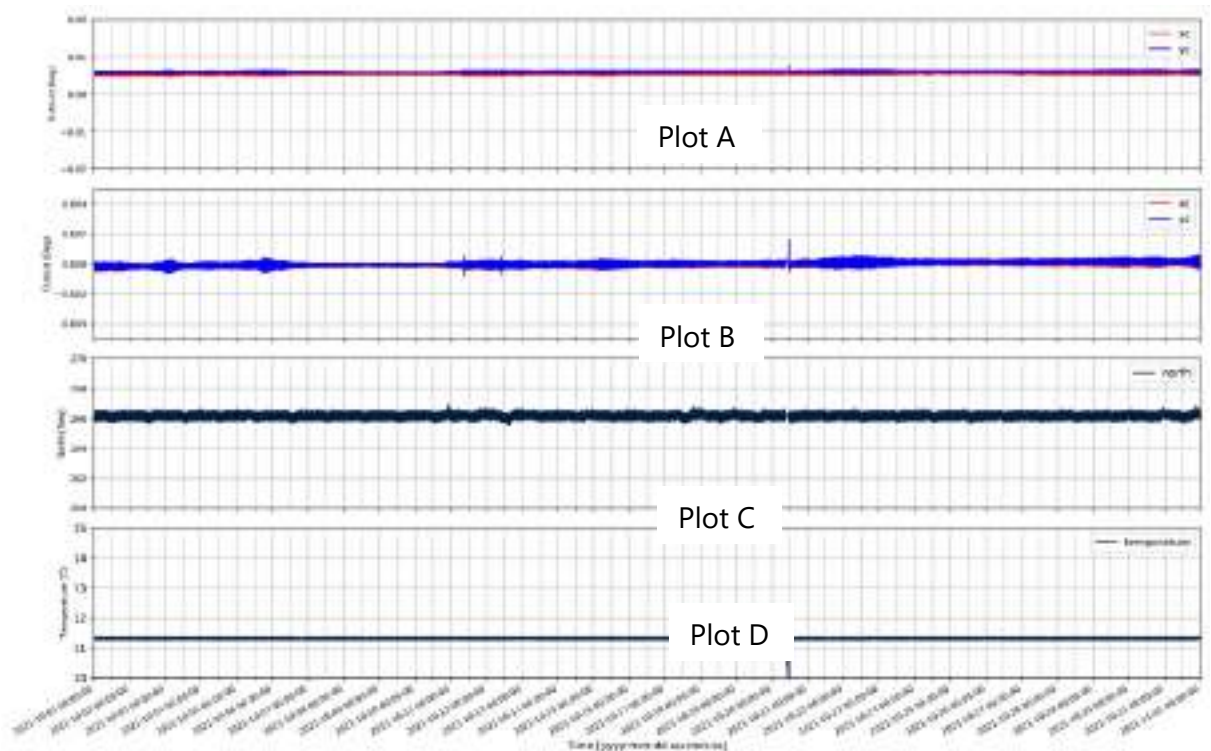
De LILY-sensoren zijn geïnstalleerd in een boorgaat. Tijdens de installatie kan de tiltsensor gaan draaien. Om de oriëntatie van de assen van de sensor te bepalen heeft de sensor een ingebouwd kompas waarmee de oriëntatie van de assen kan worden afgelezen. In Figuur 58 is de locatie van de LILY sensoren en de oriëntatie van de assen weergegeven.



Figuur 58; Locatie en oriëntatie van assen van LILY-sensoren

De meetdata van de LILY-sensor wordt op een vergelijkbare manier gepresenteerd als de Tiltsensoren echter wordt op de LILY-sensor meetdata geen correcties uitgevoerd. In Figuur 59 is een voorbeeld van een maand meetdata weergegeven, de verschillende plots (A-D) worden onderstaand toegelicht.

- Plot A: Overzichtsplot met een grafiekbereik van  $-0.02$  tot  $+0.02$  [°], bij start meting op 0 gezet
- Plot B: Detail plot met een grafiekbereik van  $-0.005$  tot  $+0.005$  [°], elke maand op 0 gezet
- Plot C: Kompasrichting in [°]
- Plot D: Temperatuur in [°] Celsius

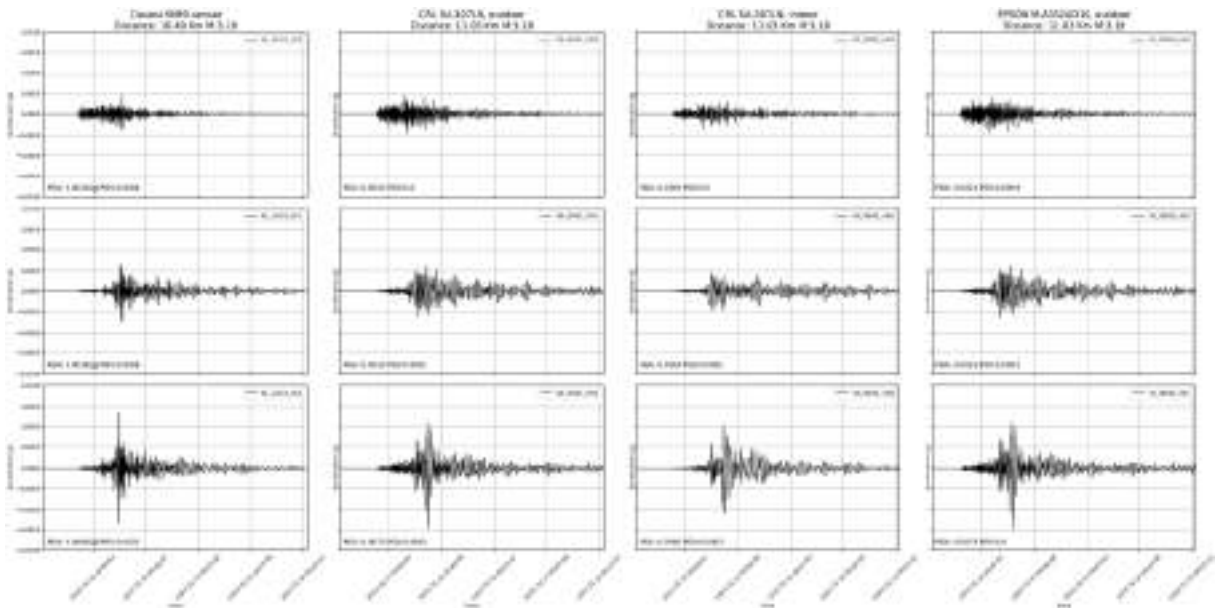


Figuur 59; Voorbeeld grafiek van een maand meetdata van een LILY-sensor

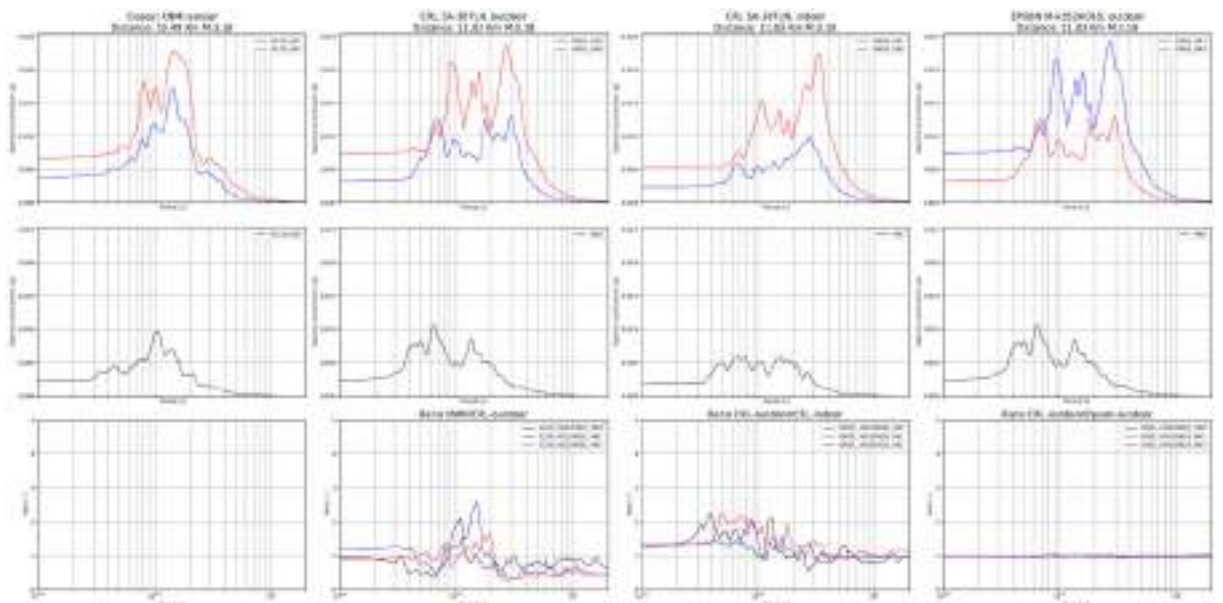
## 8.4 Accelerometers

In Figuur 60 en Figuur 61 is een voorbeeld gegeven van de grafieken waarmee events/aardbevingen in het Groningen gasveld worden weergegeven. In het voorbeeld in Figuur 60 is de gemeten versnelling uitgezet tegen de tijd voor de 2 accelerometers (CRL-sensors) en de digitale tiltsensor (Epson). Ter vergelijking is ook de meetdata van de dichtstbijzijnde accelerometer van G-netwerk van het KNMI-netwerk geplot. In Figuur 61 is het response spectrum met 5% damping weergegeven van de gemeten versnellingen. In de bovenste rij zijn de 2 horizontale assen (x en y) weergegeven. Op de middelste rij is de verticale component weergegeven. Op de onderste rij zijn de verhouding tussen de KNMI-sensor en de accelerometer die buiten het gebouw op een betonnen plaat is gemonteerd. Daarnaast is de verhouding tussen CRL-sensor binnen en buiten geplot en de verhouding tussen de CRL-sensor buiten en de Epson sensor welke op dezelfde betonnen plaat is gemonteerd. De verhouding tussen de KNMI-sensor en de buiten-accelerometer is ter controle van de geregistreeerde meetwaarden. Afhankelijk van de afstand, bodemgesteldheid en directionaliteit van de aardbeving is de verwachting dat er een vergelijkbaar meetbeeld is te zien. De verhouding tussen de accelerometer binnen en buiten het gebouw laat de mate van damping zien die optreedt door de eigenschappen/invloed van het gebouw. De verhouding tussen de CRL-sensor en de Epson sensor zal dicht bij 1 liggen bij correcte werking omdat de sensoren op dezelfde betonplaat zijn gemonteerd. Door verschil in meettechnieken zullen er echter kleine verschillen aanwezig zijn.



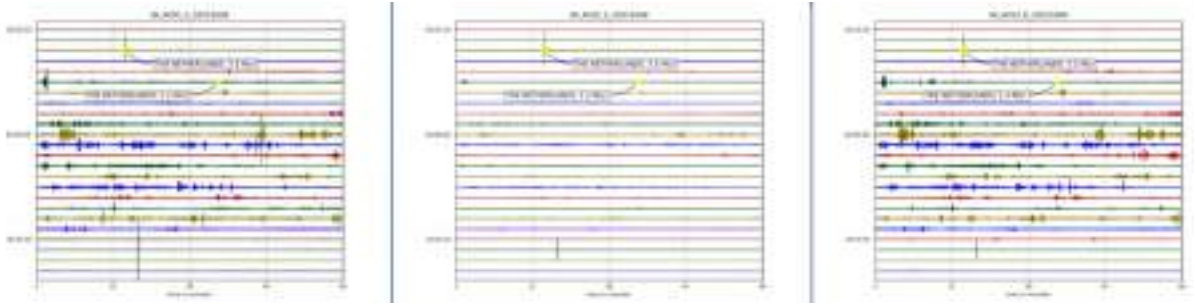


Figuur 60; Voorbeeld van Time History plot van een aardbeving gemeten door de accelerometers. Van links naar rechts 1.) de data gemeten door de meest nabij KNMI-sensor uit het G-netwerk 2.) de data gemeten door de CRL sensor bevestigd buiten op de meetplaat. 3.) de data gemeten door de CRL-sensor binnen in het gebouw. 4.) de Epson-sensor bevestigd buiten op de meetplaat.



Figuur 61; Voorbeeld van response spectra van de meet data, van boven naar beneden. 1.) respons spectra van de 2 horizontale componenten (x en y). 2.) response spectra van de verticale component. 3.) ratio's tussen de KNMI-sensor en de CRL-buiten sensor, CRL-buiten/CRL-binnen

Naast het plotten van events/aardbevingen geregistreerd door het KNMI zijn ook overzichtsgrafieken beschikbaar waarin de gemeten versnellingen per dag per sensor as worden gepresenteerd. Een voorbeeld van deze meetdata is weergegeven in Figuur 62. Elke horizontale lijn in de grafiek vertegenwoordigd 1 uur aan meetdata, de grafiek laat 1 dag metingen zien (24 lijnen). Indien een aardbevingen nabij het Groningen gasveld heeft plaatsgevonden wordt deze met een gele ster aangeduid.



Figuur 62; Voorbeeld overzichtplot van gemeten versnellingen op 1 dag, van links naar rechts CRL sensor buiten, CRL sensor binnen, Epson sensor buiten

## 8.5 Grondwater en openwater sensoren

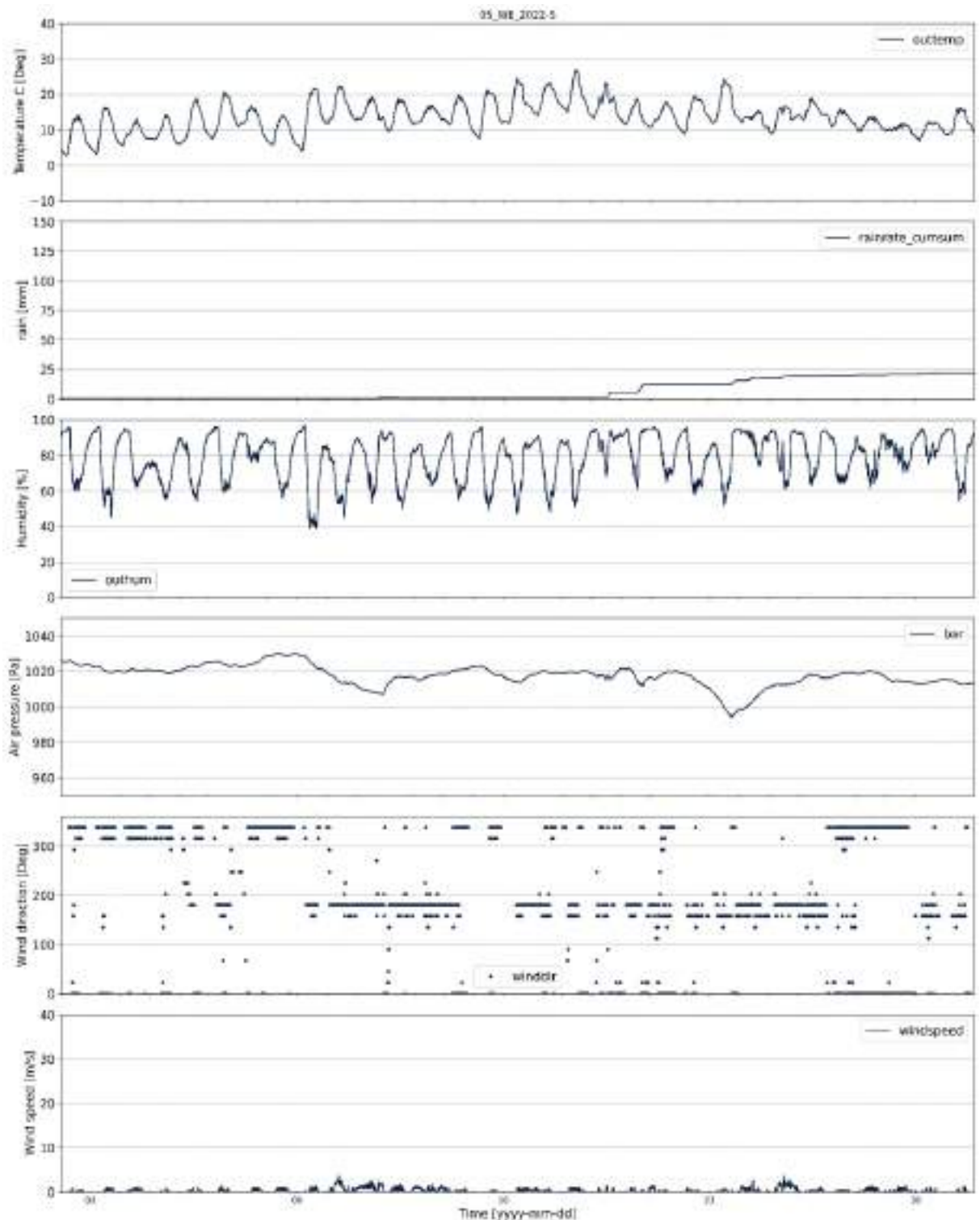
De peilbuizen, waterpanningssensoren en openwatersensoren worden samen weergegeven in één grafiek. De meetdata wordt gepresenteerd t.o.v. [m] NAP een voorbeeld grafiek is gegeven in Figuur 63.



Figuur 63; Voorbeeldgrafiek grondwater en openwater sensoren

## 8.6 Weerstation

De meetdata van het weerstation worden samen weergegeven in één grafiek, zie Figuur 64 voor een voorbeeldgrafiek van de meetdata.



Figuur 64; Voorbeeldgrafiek weerstation meetdata.

---

## 9. Data verwerking

### 9.1 Algemeen

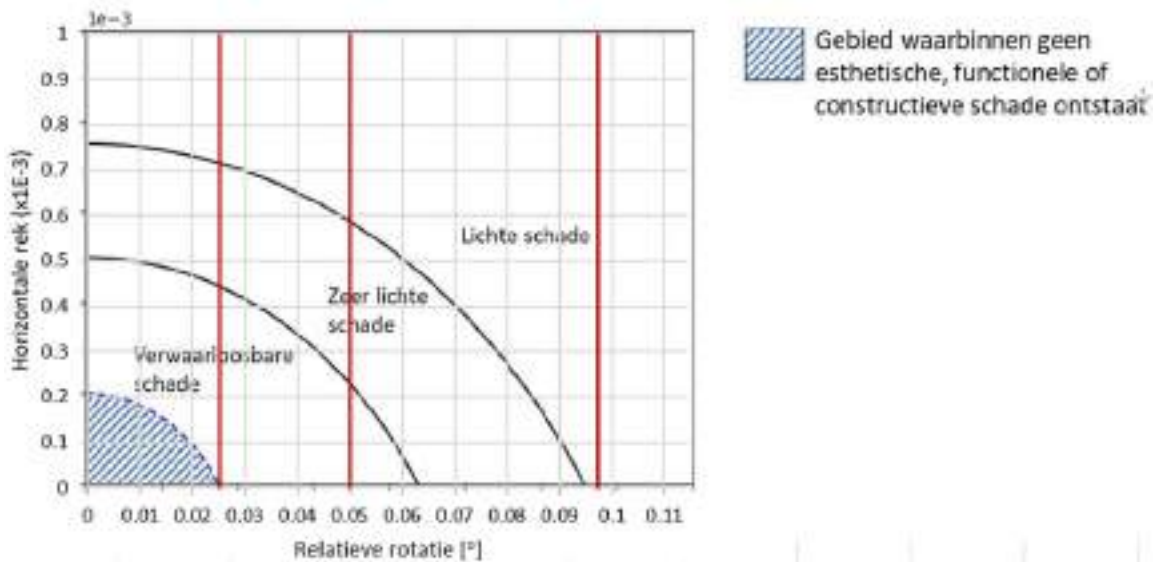
In dit hoofdstuk wordt een algemene beschrijving gegeven van dataverwerking die worden uitgevoerd op de verzamelde meetdata.

### 9.2 Tiltensoren

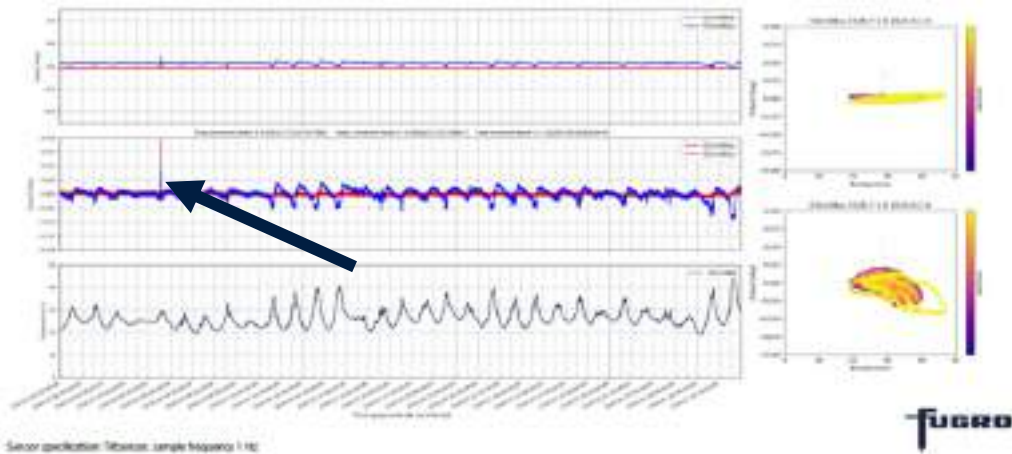
De meetdata van de tiltensoren wordt geanalyseerd op afwijkende meetbeelden welke in een database worden bijgehouden. Op basis van de eerste meetperiode zijn diverse afwijkende meetbeelden gedefinieerd, welke gekoppeld zijn aan een bepaalde grenswaarde. Waarbij de grenswaarde een gekozen meetwaarden van de tilt is om onderscheid te maken in verschillende klassen van de afwijkende meetbeelden. Onderstaand zijn de verschillende meetbeelden opgesomd.

- Afwijkende piek [grenswaarde], meetbeeld terug naar normaal na piekwaarde
- Abrupte sprong [grenswaarde],
- Blijvende verschuiving meetbeeld omhoog of omlaag [grenswaarde],

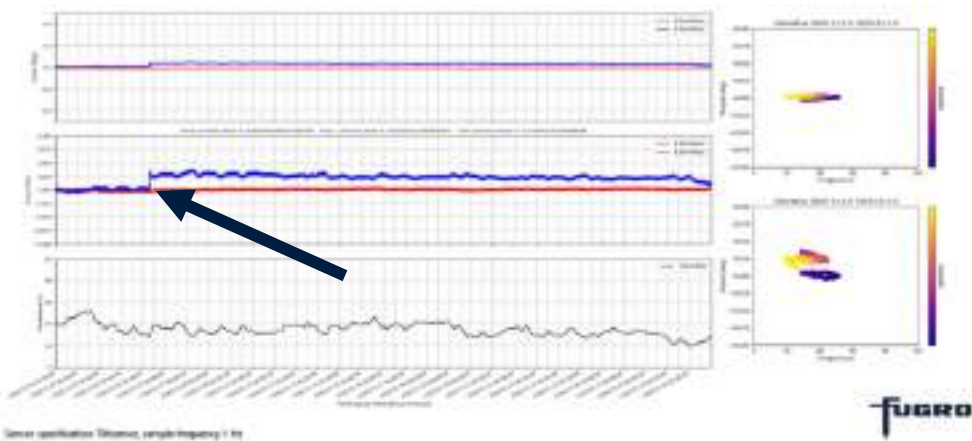
De gekozen grenswaarden zijn  $<0.025[^\circ]$ ,  $<0.05[^\circ]$  en  $>0.1[^\circ]$  wat overeenkomt met respectievelijk  $0.44 \cdot 10^{-3}[\text{rad}]$ ,  $0.87 \cdot 10^{-3}[\text{rad}]$  en  $1.7 \cdot 10^{-3}[\text{rad}]$ . In Figuur 5.2, overgenomen en aangepast uit (Geurts, et al., 2021), zijn de grenswaarden geplot in een grafiek waarin gebieden zijn aangegeven met een beschrijving van schade die mogelijk op kan optreden. Het optreden mogelijke schade wordt is in de figuur afhankelijk van de horizontale rek en de relatieve rotatie. Hoewel de gemeten tilt/hoek/rotatie bij door de tiltensoren niet direct vertaald kan worden naar relatieve rotatie kan de figuur wel worden gebruikt voor het in context plaatsen van de gekozen grenswaarden. De gemeten tilt in de x-richting is een maat voor de rotatie in de langsricting van de buitengevels. Verschillen in tilt in langsricting duiden op relatieve rotatie. De Z-richting geeft de rotatie dwars op het muurvlak aan en het verschil van tilt tussen naastliggende sensoren duidt op relatieve rotatie. Bij hoeken van het gebouw draaien de meetrichtingen om hetgeen moet worden verdisconteerd.



Figuur 9.1: Gehanteerde grenswaarden in schade indicatie grafiek overgenomen en aangepast uit (Geurts, et al., 2021)

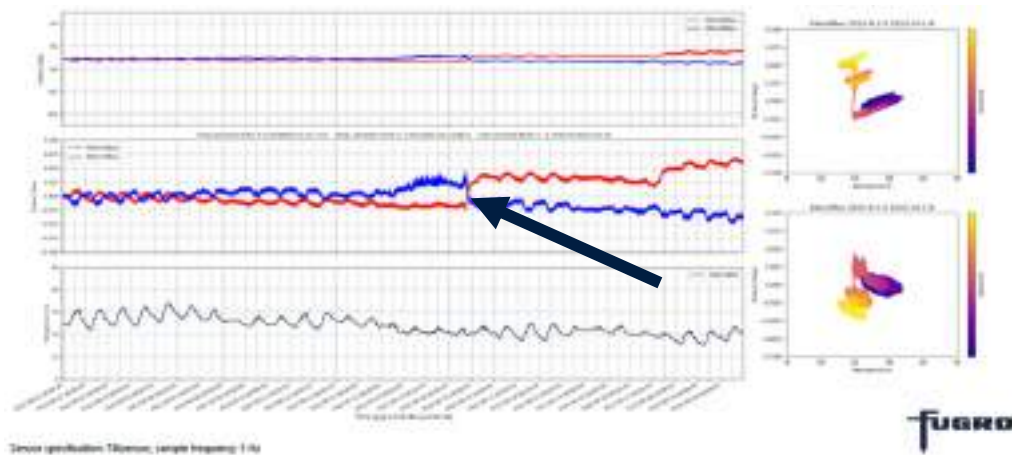


Figuur 9.2: voorbeeld afwijkend meetbeeld "Afwijkende piek > 0.1"



Figuur 9.3: voorbeeld afwijkend meetbeeld "abrupte sprong < 0.05"





Figuur 9.4: voorbeeld afwijkend meetbeeld "Blijvende verschuiving meetbeeld omhoog of omlaag < 0.05"

### 9.3 Accelerometers

Van de gemeten versnellingen tijdens aardbevingen worden per sensor-as een aantal parameters berekend en opgeslagen in een tekstbestand om zo efficiënt analyses te kunnen doen. Van de gehele meetperiode zijn continue meetreeksen beschikbaar van de versnellingen (uitgezonderd bij sensor uitval).

- Event datum
- Sensor-as
- Magnitude
- Epicentrum afstand,
- PGA
- PGV
- Response spectra

---



---

# Appendix A

## Sensor productbladen

---



## A.1 Sensor productbladen

# Linear Accelerometers

## SA-207LN, SA-307LN

Columbia Models SA-207LN and SA-307LN Servo Accelerometers are high-sensitivity, low noise sensors designed for use in seismic and low level, low frequency motion studies. The accelerometers are self-contained and provide high level, low impedance output. No signal conditioning is required in most applications.

Like the single-axis SA-107LN, these multi-axis sensors allow measurements in the low frequency micro-G range. Aside from the traditional DC-coupled zero output, the SA-207LN and SA-307LN Accelerometers provide AC-coupled zero output which eliminates tilt-induced or offset errors facilitating high amplification of the basic output. *Consult the factory for customized versions of this sensor.*

Note: Exports of accelerometers from the United States are subject to the licensing requirements of the Export Administration Regulations (EAR) and/or the International Traffic in Arms Regulations (ITAR).

- \* Seismic Event Sensors
- \* Ultra Low Noise
- \* High Level Output
- \* 2 or 3 Axes



### Specifications

	SA-207LN	SA-307LN
<b>Operational</b>		
Ranges Available	±0.1 G To ±2 G	±0.5 G To ±2 G
Output Voltage	±7.5 Volts into 100K Load	
Excitation	±12 To ±15 VDC <20 mA	±12 To ±15 VDC <30 mA
Output Impedance	<1000 Ohms	
Sensitive Axis Alignment	Better Than 0.25 Deg	
Scale Factor Tolerance	±1%	
Scale Factor Temp Coefficient	0.01% / Deg C Max.	
Zero Output		
A.C. Coupled	<5 mV	
D.C. Coupled	<1 mG	
Null Temp Sensitivity	75 µV./ Deg C	
Natural Frequency	100 To 200 Hz Dependent Upon Range	
Damping	0.7 ±0.1	
Cross Axis Sensitivity	0.002 G/G Exclusive of Sensitive Axis Alignment	
Output Noise	<2.5 µV RMS From 0 To 50 Hz	
Non-Linearity	<±0.1% F.R.	
Hysteresis & Non-Repeatability	<0.5 mG	
Threshold & Resolution	Better Than 1 µG	

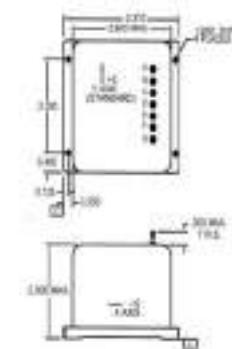
### Environmental

Temperature, Operating	-40 To +80 Deg C
Temperature, Storage	-50 To +90 Deg C
Vibration Survival (2 To 2,000 Hz)	5 G RMS, 0.5" Disp D.A.
Shock Survival	200 G, 5 mSec (1/2 Sine)
Ambient Pressure	0 To 5 Atmospheres
Humidity	95% R.H.

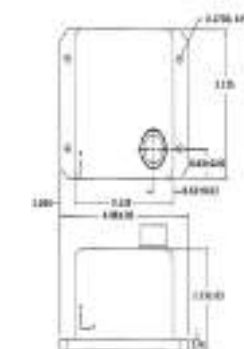
### Physical

	8 Oz (227 Gm)	12 Oz (340 Gm)
Weight	8 Oz (227 Gm)	12 Oz (340 Gm)
Size	3.31 In L x 2.80 In W x 2.00 In H (8.4 cm L x 7.1 cm W x 5.1 cm H)	4.06 In L x 3.13 In W x 2.13 In H (10.3 cm L x 7.9 cm W x 5.4 cm H)
Case Material	Anodized Aluminum	
Sealing	Environmental	
Electrical Interface	7 Terminal Pins	MS3443412-10P or Equiv.
Optional Mating Connector	N/A	PT06A-12-10S(SR)

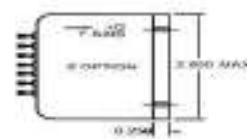
SA-207LN Outline



SA-307LN Outline



Z Option



### I/O Terminal Pin Functions:

SA-207LN		SA-307LN	
Pin	Function	Pin	Function
A	+15 VDC	A	+15 VDC
B	Ground	B	Ground
C	-15 VDC	C	-15 VDC
D	DC Output X	D	DC Output X
E	AC Output X	E	AC Output X
F	DC Output Y	F	DC Output Y
G	AC Output Y	G	AC Output Y
		H	DC Output Z
		J	AC Output Z

### Ordering Information:

SA-207LN (+/- X G)

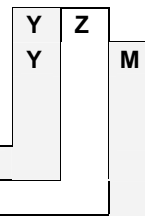
SA-307LN (+/- X G)

Standard Accelerometer  
Range +/- X G (Required)

1G Counterbias Option

Z Option (See Above)

Mating Connector Supplied (Optional)



Columbia Research Laboratories, Inc. 1925 Mac Dade Blvd. Woodlyn, PA 19094

Phone: 1.800.813.8471 / Fax: 610.872.3882 / email: sales@columbiaresearchlab.com



# SENSEBOX7002-TD

DIGITAL HIGH PRECISION BI-AXIAL TILTMETER

Ultra Low Noise  
Performance

Down to 0.001°  
Resolution

Digital Output  
Easy Connectivity

Structural  
Health Monitoring

Settlement  
Analysis

Tilt  
Monitoring

Stability Analysis

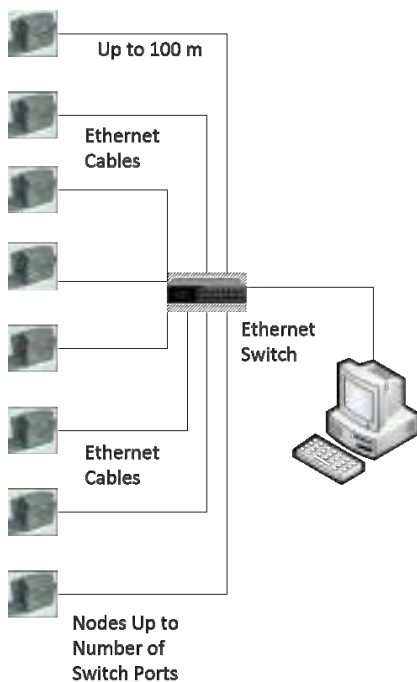
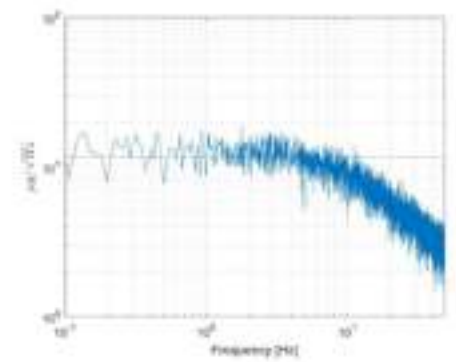
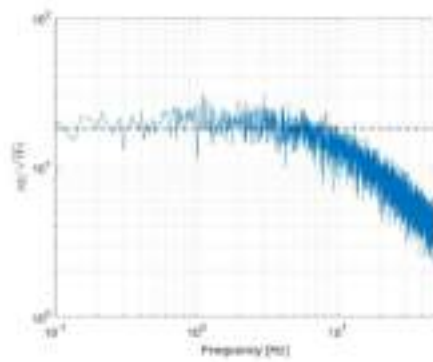
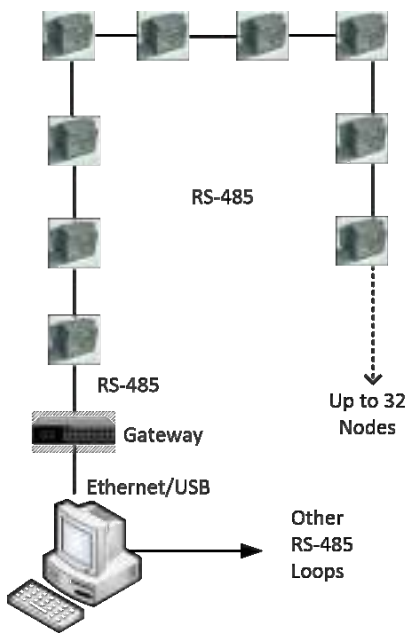
Inclinometer  
Soil Movement

Vehicle  
Safety



### Technical Specifications

<b>Number of Axis</b>	2 (Bi-Axial / Tri-Axial Option)
<b>Measurement Range</b>	$\pm 10^\circ$
<b>Resolution</b>	0.001°@ 1Hz
<b>Bandwidth</b>	0-10 Hz (0-40 / 0-70 Hz Software Selectable)
<b>Sampling Rate</b>	Up to 200 Sps
<b>Temperature Compensation</b>	On Board Sensor
<b>Enclosure</b>	IP67 118 x 82 x 66mm 4.65" x 3.23" x 2.6"
<b>Output</b>	Digital (RS-485 / Ethernet)
<b>Noise Density</b>	0.001°/Root-Hz
<b>Operating Temperature</b>	-40°C to +85°C



# Accelerometer

# M-A352AD10

# TS Data Sheet

## [ Notices ]

Please pay attention to the following important points when using the test sample

- This is a pre-production sample in which some implemented functions may not work as described in this document
- Only simple calibration inspection is performed.
- Please use the following measurement data as a reference value.  
\*Bias temperature characteristics, Bias Initial Error, Miss alignment, Linearity, VRC
- Long-term reliability, EMC testing is not evaluated yet.
- Investigation of environmentally hazardous substances are incomplete
- The content of this document is subject to change without notice

## NOTICE

No part of this material may be reproduced or duplicated in any form or by any means without the written permission of Seiko Epson. Seiko Epson reserves the right to make changes to this material without notice. Seiko Epson does not assume any liability of any kind arising out of any inaccuracies contained in this material or due to its application or use in any product or circuit. This product is not designed to be used in the equipment that demands extremely high reliability and where its failure may threaten human life or property (for example, aerospace equipment, submarine repeater, nuclear power control equipment, life support equipment, medical equipment, transportation control equipment, etc.). Therefore, Seiko Epson Corporation will not be liable for any damages caused by the use of the product for those applications. Moreover, no license to any intellectual property rights is granted by implication or otherwise, and there is no representation or warranty that anything made in accordance with this material will be free from any patent or copyright infringement of a third party. When exporting the products or technology described in this material, you should comply with the applicable export control laws and regulations and follow the procedures required by such laws and regulations. You are requested not to use, to resell, to export and/or to otherwise dispose of the products (and any technical information furnished, if any) for the development and/or manufacture of weapon of mass destruction or for other military purposes.

All brands or product names mentioned herein are trademarks and/or registered trademarks of their respective companies.

©SEIKO EPSON CORPORATION 2018, All rights reserved.

# Table of Contents

1. General Description .....	1
2. Specifications.....	2
2.1 Absolute Maximum Ratings .....	2
2.2 Recommended Operating Condition.....	2
2.3 Performance & Electrical Specifications .....	3
2.4 Timing Specifications .....	5
2.5 Socket PIN Layout And Functions.....	7
3. Mechanical Dimensions .....	8
3.1 Outline Dimensions.....	8
4. Typical Performance Characteristics .....	9
5. Basic Operation .....	10
5.1 Connection To Host.....	10
5.2 Operation Mode .....	11
5.3 Functional Block.....	12
5.4 Data Output Timing .....	13
5.5 Data Ready Signal .....	14
5.6 Sampling Counter.....	14
5.7 Self Test.....	14
5.8 Threshold detection of Accelerometer .....	15
5.9 External Trigger Input .....	15
5.10 Checksum .....	16
5.11 Automatic Start (For UART Auto mode Only) .....	17
5.12 Bias Offset.....	17
5.13 Tilt Output / Combination Output .....	17
5.14 Low Power Measurement Mode.....	18
5.15 FILTER .....	19
5.15.1 FIR Kaiser Filter .....	19
5.15.2 User Defined FIR Filter.....	23
5.15.3 Notes for FIR Filter .....	24
5.15.4 Long Period Filter (HPR, LPF).....	25
6. Digital Interface.....	26
6.1 SPI Interface.....	27
6.1.1 SPI Read Timing (Normal Mode).....	27
6.1.2 SPI Write Timing (Normal Mode).....	28
6.1.3 SPI Read Timing (Burst Mode).....	28
6.2 UART Interface.....	30
6.2.1 UART Read Timing (Normal Mode).....	31
6.2.2 UART Read Timing (Burst Mode).....	32
6.2.3 UART Write Timing.....	32
6.2.4 UART Auto Mode Operation .....	33
6.3 Data Packet Format.....	34
7. User Registers.....	36
7.1 BURST Register (Window 0) .....	39
7.2 MODE_CTRL Register (Window 0) .....	39
7.3 DIAG_STAT Register (Window 0).....	40



7.4	FLAG(ND/EA) Register (Window 0) .....	41
7.5	COUNT Register (Window 0).....	42
7.6	TEMP Register (Window 0).....	43
7.7	ACCL Register (Window 0).....	43
7.8	TILT Register (Window 0) .....	44
7.9	SIG_CTRL Register (Window 1).....	44
7.10	MSC_CTRL Register (Window 1).....	45
7.11	SMPL_CTRL Register (Window 1).....	46
7.12	FILTER_CTRL Register (Window 1).....	47
7.13	UART_CTRL Register (Window 1).....	48
7.14	GLOB_CMD Register (Window 1).....	49
7.15	BURST_CTRL Register (Window 1).....	49
7.16	FIR_UCMD Register (Window 1).....	50
7.17	FIR_UDATA Register (Window 1).....	51
7.18	FIR_UADDR Register (Window 1).....	51
7.19	LONGFILT_CTRL Register (Window 1) .....	52
7.20	LONGFILT_TAP Register (Window 1).....	52
7.21	XA_OFFSET Register (Window 1) .....	53
7.22	YA_OFFSET Register (Window 1).....	53
7.23	ZA_OFFSET Register (Window 1).....	54
7.24	XA_ALARM Register (Window 1).....	54
7.25	YA_ALARM Register (Window 1).....	55
7.26	ZA_ALARM Register (Window 1).....	55
7.27	PROD_ID Register (Window 1).....	56
7.28	VERSION Register (Window 1).....	56
7.29	SERIAL_NUM Register (Window 1) .....	56
7.30	WIN_CTRL Register (Window 0,1).....	57
<b>8.</b>	<b>Sample Program Sequence.....</b>	<b>58</b>
8.1	SPI Sequence.....	58
8.1.1	Power-on sequence (SPI) .....	58
8.1.2	Register read and write (SPI) .....	58
8.1.3	Sampling data (SPI).....	59
8.1.4	Selftest (SPI).....	60
8.1.5	Software Reset (SPI) .....	60
8.1.6	Flash Test (SPI).....	60
8.1.7	Flash Backup (SPI).....	61
8.1.8	Filter setting (SPI).....	61
8.2	UART Sequence.....	61
8.2.1	Power-on sequence (UART) .....	61
8.2.2	Register read and write (UART) .....	62
8.2.3	Sampling data (UART).....	62
8.2.4	Selftest (UART) .....	63
8.2.5	Software Reset (UART) .....	63
8.2.6	Flash Test (UART).....	63
8.2.7	Flash Backup (UART).....	64
8.2.8	Filter setting (UART).....	64
8.2.9	Auto Start (UART only) .....	65
<b>9.</b>	<b>Handling Notes.....</b>	<b>66</b>
9.1	Cautions for use .....	66
9.2	Cautions for storage .....	66

9.3 Other cautions .....	67
9.4 Limited warranty .....	67
10. Part Number / Ordering Info .....	67
11. Evaluation Tools .....	67
Revision History .....	68

Preliminary

## 1. General Description

The M-A352 is a three axis digital output accelerometer featuring ultra-low noise, high stability, and low power consumption using fine processing technology of Quartz. Incorporating both high accuracy and durability, the versatile M-A352 is well suited to a wide-range of challenging applications such as SHM, seismic observation, condition monitoring for industrial equipment, and pose detection for industrial machinery (i.e. construction machinery/attachments, agricultural machinery/ implements, robots).

### Features

- Ultra-low noise :  $0.5\mu\text{G}/\sqrt{\text{Hz}}$  typ.
- Selectable output format: Acceleration / Tilt Angle
- Selectable interface: SPI / UART
- Programmable low-pass digital filters
- Low jitter external trigger function for synchronous sampling
- Solid metallic case (Aluminum, size : 48mm x 24mm x 16mm, weight: 21g)

### Applications

- Structural health monitor
- Seismic measurements
- Vibration control and stabilization
- Motion analysis and control

### Functional Block Diagram

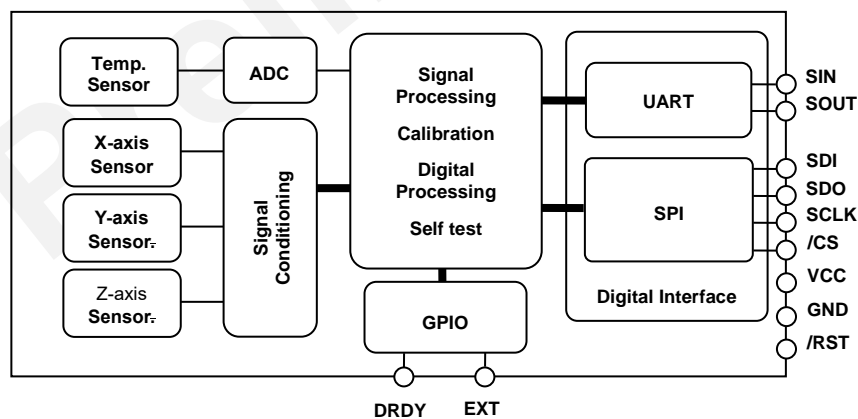


Figure 1.1 Block Diagram

## 2. Specifications

### 2.1 Absolute Maximum Ratings

Table 2.1 Absolute Maximum Rating

Parameter	Min	Typ	Max	Unit
VCC to GND	-0.3		3.6	V
Digital Input Voltage to GND	-0.3		VCC+0.3	V
Digital Output Voltage to GND	-0.3		VCC+0.3	V
Storage Temperature Range	-40		85	°C
Acceleration (Half-sine 0.2msec)			1,200	G

\*1 Precautions concerning ESD.

Electrostatic discharge (ESD) may damage this product.

Please take appropriate measures against electrostatic discharge (ESD) when storing and handling this product.

Damage by electrostatic discharge (ESD) can cause very small performance deterioration, partial malfunction, or complete breakdown.

This is a high precision product and may not conform to specification even with very small performance degradation due to improper usage or handling.

### 2.2 Recommended Operating Condition

Table 2.2 Recommended Operating Conditions

Parameter	Condition	min	Typ	Max	Unit
VCC to GND		3.15	3.3	3.45	V
Digital Input Voltage to GND		GND		VCC	V
Digital Output Voltage to GND		-0.3		VCC +0.3	V
Operating temperature range		-30		85	°C
Start up time	Power-on to start output. (normal mode)		(530)		ms.
	Warm-up period for best performance		(15)		min.

## 2.3 Performance & Electrical Specifications

Table 2.3 Sensor Specification

Condition:  $T_A = -30^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{CC} = 3.15\text{V} \sim 3.45\text{V}$ ,  $\leq \pm 1\text{G}$ , Normal Operation Mode, unless otherwise noted.

Parameter	Test Conditions / Comments	Min	Typ	Max	Unit
<b>ACCELERATION</b>					
Sensitivity					
Output Dynamic Range				$\pm 15$	G
Scale Factor			0.06		$\mu\text{G}/\text{LSB}$
Sensitivity Error	$25^{\circ}\text{C}$ , $\leq 1\text{G}$		$\pm 500$		$\times 10^{-6}$ (ppm)
Nonlinearity	$\leq 1\text{G}$ , Best fit straight line, RT		$\pm 0.03$		% of FS
Cross Axis Sensitivity			$\pm 0.2$		%
Misalignment	$1\sigma$ , Axis-to-axis, $\Delta = 90^{\circ}$ ideal, RT		0.1		Deg
Bias					
Initial Error	$1\sigma$ , $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$			$\pm 2$	mG
Bias Repeatability	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ and $V_{CC} = 3.3\text{V}$ for one year after shipment		3		mG
Bias Temperature Error	$25^{\circ}\text{C}$		$\pm 2$		mG
Temperature sensitivity	Maximum Tilt		$\pm 0.1$		$\text{mG}/^{\circ}\text{C}$
Bias Instability	AVR, Average		0.6		$\mu\text{G}$
Velocity Random Walk	Average		$1.2\text{E}-4$		$(\text{m}/\text{sec})/\sqrt{\text{hr}}$
Noise					
Noise Density	$25^{\circ}\text{C}$ , $f = 0.5\text{ Hz} \sim$		0.5		$\mu\text{G}/\sqrt{\text{Hz}}$ , rms
Cantilever Resonance frequency	$25^{\circ}\text{C}$ , $V_{CC} = 3.3\text{V}$		920		Hz
VRC	at 50Hz $25^{\circ}\text{C}$ , $V_{CC} = 3.3\text{V}$ , Standard Jig300g		$\pm 50$		$\mu\text{G}/\text{G}^2$
Frequency Property					
-6 dB Bandwidth	User selectable	9		460	Hz
<b>TILT ANGLE</b>					
Sensitivity					
Dynamic Range				$\pm 1.0472$ ( $\pm 60$ )	rad (deg)
Scale Factor			0.002		$\mu\text{rad}/\text{LSB}$
Nonlinearity	$25^{\circ}\text{C}$ , $\pm 45\text{deg}$		$\pm 0.03$		% of FS
Misalignment	$1\sigma$ , Axis-to-axis, $\Delta = 90^{\circ}$ ideal		$\pm 1.745$ ( $\pm 0.1$ )		mrad (deg)
Bias					
Bias Repeatability	$25^{\circ}\text{C}$		$\pm 3$ ( $\pm 0.17$ )		mrad (deg)
Bias Temperature Error	$25^{\circ}\text{C}$		$\pm 2$ ( $\pm 0.11$ )		mrad (deg)
Noise					
Noise Density	$25^{\circ}\text{C}$ , $f = 0.5\text{ Hz} \sim$		0.5		$\mu\text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$ , rms
<b>TEMPERATURE SENSOR</b>					
Output Range		-30		85	$^{\circ}\text{C}$
Scale Factor *1	xxxxx at $25^{\circ}\text{C}$		-0.0037918		$^{\circ}\text{C}/\text{LSB}$

\*1 This is a reference value used for the internal temperature correction, and is not guaranteed to accurately output the interior temperature.

Note) The values in the specifications are based on the data calibrated at the factory. The values may change according to the way the product is used.

Note) The Typ values in the specifications are average values or  $1\sigma$  values.

Note) The Max/Min value is the maximum/minimum value of the design or factory shipment examination, unless otherwise specified.

Note) The calibrated standard 1G gravitational acceleration value is  $9.80665\text{ m/s}^2$

Table 2.7 Interface Specification

T<sub>A</sub>=25°C, VCC=3.3V, unless otherwise noted

Parameter	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
<b>LOGIC INPUTS<sup>*1</sup></b>					
Positive Trigger Voltage	Schmitt	1.37		2.29	V
Negative Trigger Voltage	Schmitt	0.69		1.24	V
Hysteresis Voltage	Schmitt	0.53			V
Input Current, I <sub>i</sub>	V <sub>I</sub> =V <sub>CC</sub> or GND		0.5		μA
Input Capacitance, C <sub>i</sub>			(2.5)		pF
RST Low pulse width		100			ms
Pull-up resistor			220		kΩ
Ext.Trigger Input Width		0.1			ms
Ext.Trigger Input Cycle		1		20	ms
Ext.Trigger Jitter	ADC's completion to Ext.Trigger input	0		(5)	μs
Ext.Trigger Delay time <sup>*3</sup>	Ext.Trigger input to DRDY asserted Long-period filter is disable			(720)	μs
<b>DIGITAL OUTPUTS<sup>*1</sup></b>					
Output High Voltage, V <sub>OH</sub>	I <sub>SOURCE</sub> =20μA	VCC-0.1			V
Output Low Voltage, V <sub>OL</sub>	I <sub>SINK</sub> =20μA			0.1	V
<b>FUNCTIONAL TIMES<sup>*2</sup></b>					
Time until data is available					
Power-On Start-Up Time	Normal mode			(530)	ms
	Low Power mode			(650)	ms
Reset Recovery Time	Normal mode			(470)	ms
	Low Power mode			(720)	ms
Flash Test Time				(5)	ms
Flash Backup Time				(310)	ms
Flash Reset Time				(1900)	ms
Self Test Time	ACC Test / TEMP Test / VDD Test			(290)	ms
Filter Setting Time	Buil-In FIR Filter			(4)	ms
	User FIR Filter			(100)	
Sleep Wake-up Time, t <sub>WakeUp</sub>				(16)	ms
OUTPUT DATA RATE		50		1,000	Sps
Clock Accuracy				±0.001	%
POWER SUPPLY	Operating voltage range, VCC	3.15	3.3	3.45	V
Power Supply Current	Normal mode, 200Sps, Average		(16.5)		mA
	Low Power mode, 200Sps, Average		(13.6)		mA
	Sleep mode		(1.2)		mA

Note) These parameters are not included in the factory test items but these characteristics are confirmed.

\*1) Digital I/O signal pins operate at 3.3V inside the unit. All digital I/O signal pins (except RST) can tolerate 5V input.

\*2) These specifications do not include the effect of temperature fluctuation and response time of the internal filter.

\*3) It is not included the group delay of the built-in filter.

2.4 Timing Specifications

Table 2.5 Timing Specification

$T_A=25^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{CC}=3.3\text{V}$ , unless otherwise noted

Parameter	Description	Min	Typ	Max	Unit
<b>NORMAL MODE</b>					
fSCLK		0.01		2.0	MHz
tSTALL	Stall period between data	(20)			$\mu\text{s}$
tWRITERATE	Write rate	(40)			$\mu\text{s}$
tREADRATE	Read rate	(40)			$\mu\text{s}$
<b>BURST MODE</b>					
fSCLK		0.01		2.0	MHz
tSTALL1	Stall period between data	(45)			$\mu\text{s}$
tSTALL2	Stall period between data	(0)			$\mu\text{s}$
tREADRATE2	Read rate	(8)			$\mu\text{s}$
<b>COMMON</b>					
tCS	Chip select to clock edge	10			ns
tDAV	SO valid after SCLK edge			80	ns
tDSU	SI setup time before SCLK rising edge	10			ns
tDHD	SI hold time after SCLK rising edge	10			ns
tSCLKR, tSCLKF	SCLK rise/fall times			20	ns
tDF, tDR	SO rise/fall times			20	ns
tSFS	high after SCLK edge CS	80			ns

Note) These parameters are not included in the factory test items but these characteristics are confirmed.

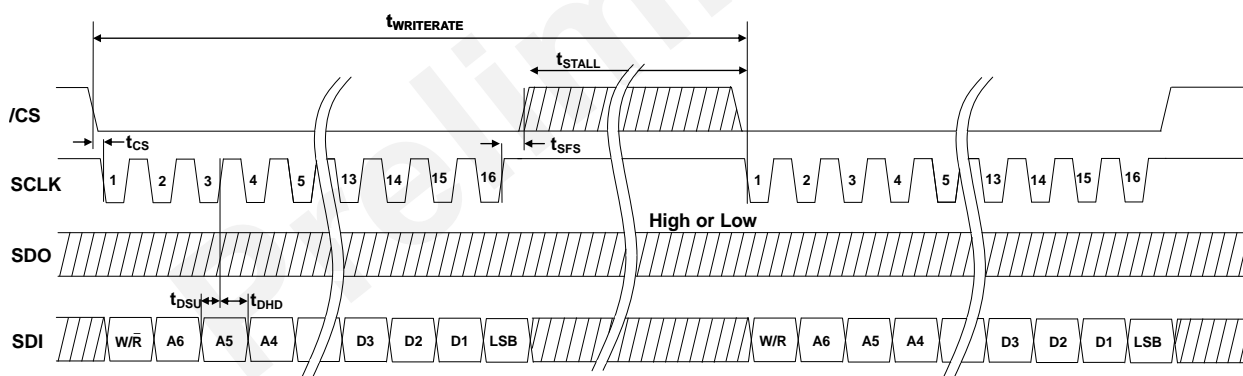


Figure 2.1 SPI write timing and sequence

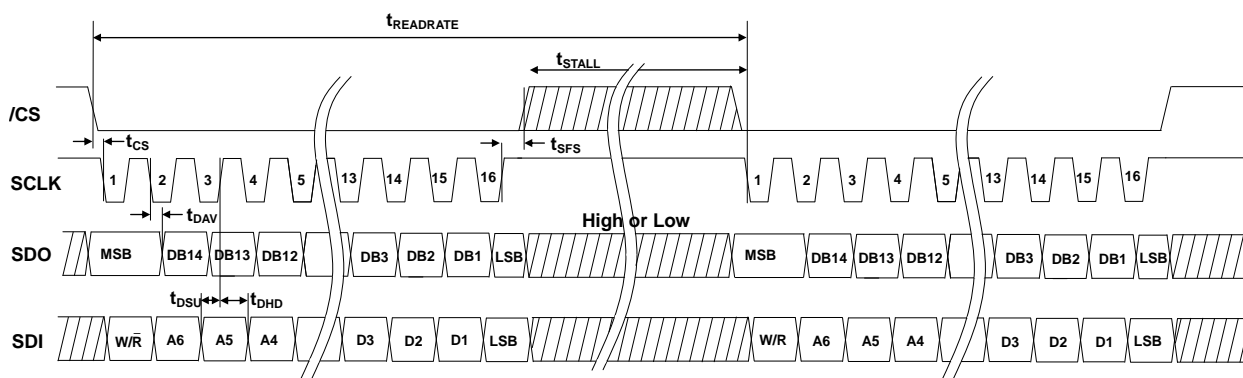


Figure 2.2 SPI read timing and sequence



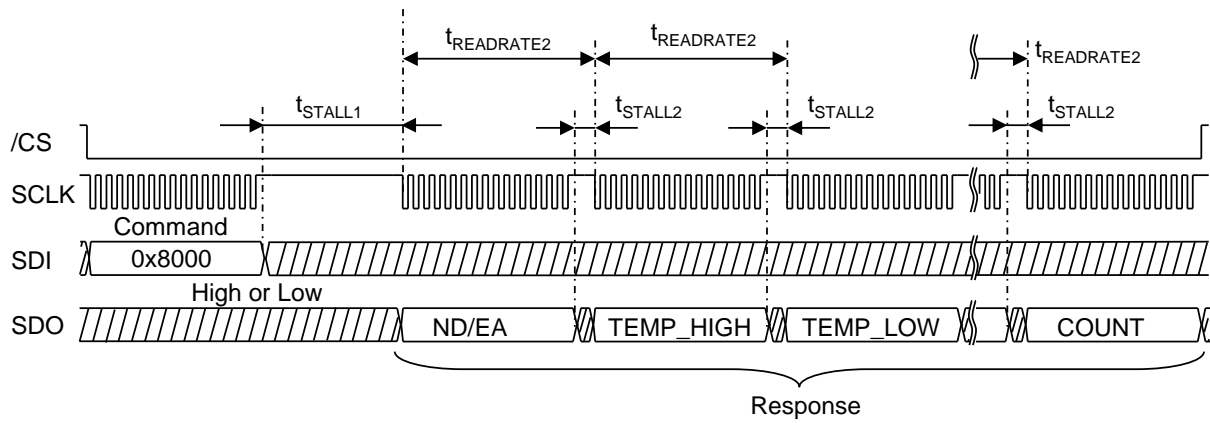


Figure 2.3 SPI read timing and sequence (BURST MODE)

Preliminary

## 2.5 Socket PIN Layout And Functions

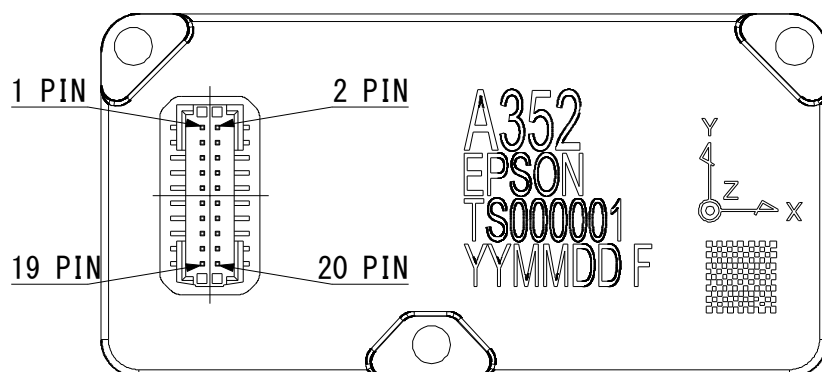


Figure 2.4 PIN Arrangement of Socket

Table2.6 Pin Function Descriptions

Pin No.	Mnemonic	Type <sup>*1</sup>	Description
1	SCLK	I	SPI Serial Clock <sup>*2</sup>
2	SDO	O	SPI Data Output <sup>*2</sup>
5	SDI	I	SPI Data Input <sup>*2</sup>
6	/CS	I	SPI Chip Select <sup>*2</sup>
7	SOUT	O	UART Data Output <sup>*2</sup>
9	SIN	I	UART Data Input <sup>*2</sup>
13	DRDY	O	Data Ready <sup>*3</sup>
14	EXT	I	External Trigger Input <sup>*4</sup> (Sleep Wakeup Input)
16	/RST	I	Reset <sup>*5</sup>
10,11,12	VCC	S	Power Supply 3.3V
3,4,8,15	GND	S	Ground
17,18,19,20	NC	N/A	Do Not Connect

\*1) Pin Type I :Input, O :Output, I/O :Input/Output, S :Supply, N/A :Not Applicable

\*2) Please connect either SPI or UART. Connecting both SPI and UART at the same time may cause malfunction.  
Please connect unused input pins to VCC via a resistor.

\*3) Please refer to DRDY\_ON of register: MSC\_CTRL [0x02 (W1)], bit [2] for pin function selection.

\*4) Please refer to EXT\_SEL of register: MSC\_CTRL [0x02 (W1)], bit [6] for pin function selection.

\*5) When RST pin is not used, fix it to High (VCC) level via a resistor.

Note) All input pins are weak pull-up inside this product.

3. Mechanical Dimensions

3.1 Outline Dimensions

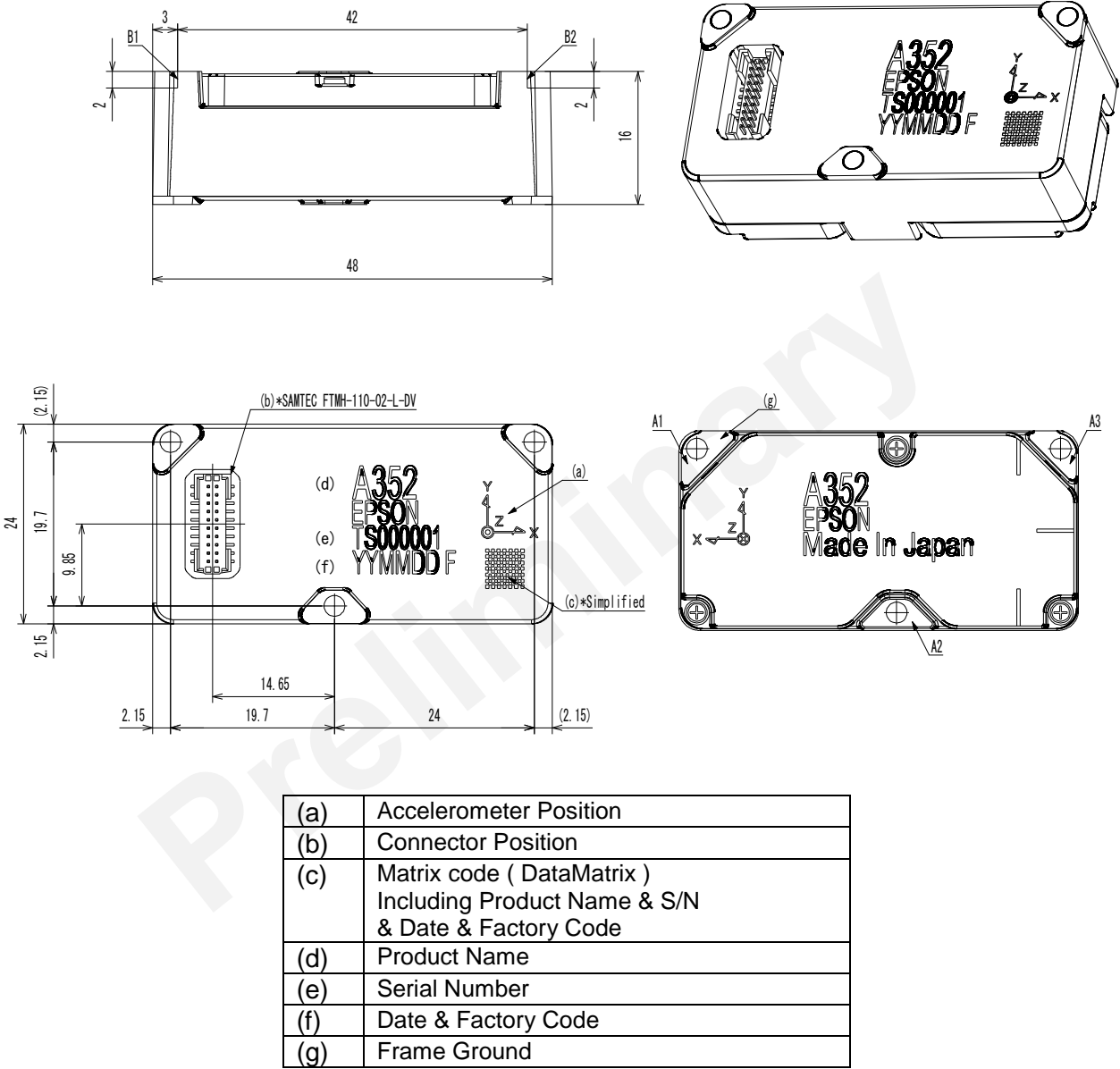


Figure 3.1 Outline Dimensions ( millimeters )

\*1) This product is calibrated based on the surfaces A1, A2, A3, and B1, B2.  
 \*2) In order to demonstrate the performance of the product properly, please fix surfaces A1, A2, A3 to rugged parts with M2 screw.  
 \*3) Recommend using SAMTEC CLM - 110 - 02 - H - D for connection between this product and the host side.  
 When high connection reliability is required, please tighten this product together with the board on which the connector is mounted.

#### 4. Typical Performance Characteristics

TBD

Figure 4.1 Noise Density Characteristic of Accelerometer

TBD

Figure 4.2 Allan Variance Characteristic of Accelerometer

The above graph is a typical example of the product characteristics, and is not guaranteed by the specification.

## 5. Basic Operation

### 5.1 Connection To Host

There are two versions of this device (UART and SPI). The interface type must be specified at the time of order. The example wiring connection is provided below as a reference.

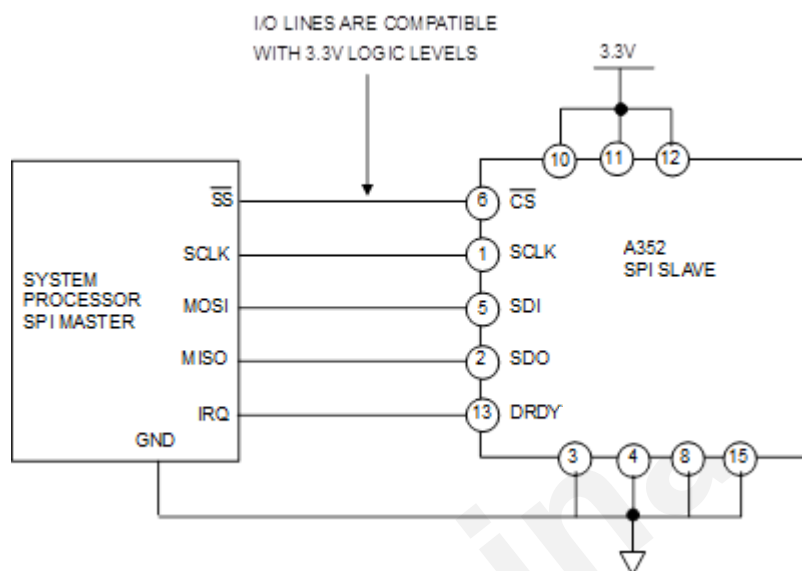


Figure 5.1 SPI Connection

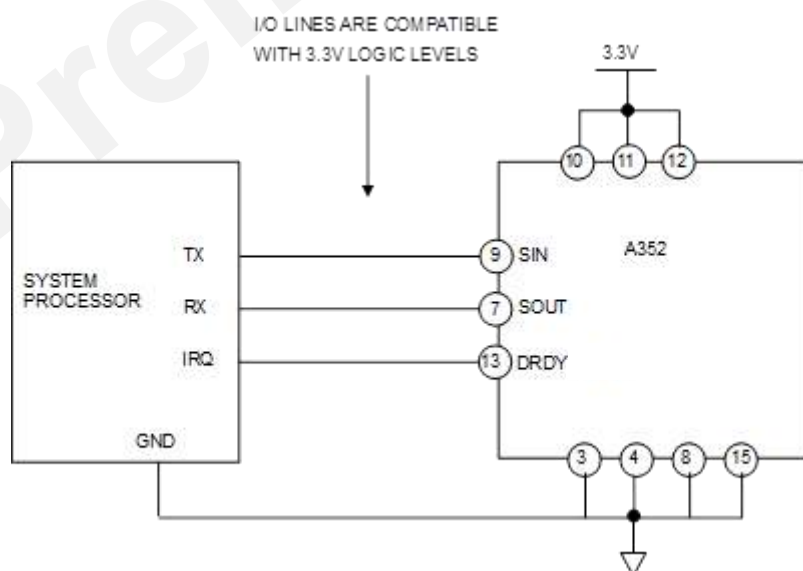


Figure 5.2 UART Connection

The device performance may be affected by signal overshoot or undershoot of the host interface. Care must be taken to minimize signal integrity issues when designing the electrical interface so that the noise level is reduced as much as possible to within the tolerance of the communication timing specification.

## 5.2 Operation Mode

The following three operational modes are available in the device.

In the measurement mode, the device can be in Normal mode or Low power measurement mode.

In the measurement control, the device can be in Manual mode or Auto mode. The device will automatically send the sensor value every sampling period in Auto mode (only available with a UART connection).

(1) Configuration mode

(2) Sampling mode

### Measurement control

- Manual mode
- Auto mode(UART Only)

(3) Sleep mode

### Measurement mode

- Normal mode
- Low power measurement mode

Immediately after a hardware reset or power-on, internal initialization starts. During the internal initialization, all the register values and states of external pins are undefined. After the internal initialization is completed, the device goes into Configuration mode automatically, except for the UART version when **AUTO\_START** and **UART\_AUTO** mode are both enabled (the device then goes into Sampling mode automatically). To change the operation mode, write to **MODE\_CMD** (**MODE\_CTRL**[0x02(W0)] bit[9:8])<sup>(\*1)</sup> and make various changes to the sensor setting in Configuration mode<sup>(\*2)</sup>. After configuration is completed, go to Sampling mode to read out the temperature and acceleration data. When shifting to the sleep mode, the internal circuit operation stops and the current consumption during standby can be reduced. The return time from sleep mode can be shorter than the initialization time from startup. The device can wake up from sleep mode by detecting an edge trigger on the EXT pin.<sup>(\*3)</sup>

By executing software reset (Register: **GLOB\_CMD** [0x0A (W1)], write 1 to **SOFT\_RST** in bit [7]), internal initialization operation is executed regardless of the current operation mode and the system enters Configuration mode.

When the UART interface is used, writing to **UART\_AUTO** (**UART\_CTRL**[0x08(W1)] bit[0]) can switch between the Manual mode and the Auto mode<sup>(\*4)</sup>. When SPI interface is used, Manual mode must be selected. Otherwise, the device does not work properly.

\*1) The following explains register notation used in this document.

For example, **MODE\_CTRL**[0x02(W0)] bit[9:8] refers to:

- **MODE\_CTRL**: Register Name
- [0x02(W0)] : First number is the Register Address, (W0) refers to Window Number "0"
- bit[9:8] : Bits from 9 to 8

\*2) Make sure that the device is in Configuration mode when you write to the registers to configure operational settings. In Sampling mode, writing to registers is ignored **except** the following cases.

- Writing to **MODE\_CMD** (**MODE\_CTRL**[0x02(W0)] bit[9:8])
- Writing to **GPIO\_DATA** (**GPIO**[0x08(W0)] bit[9:8])
- Writing to **SOFT\_RST** (**GLOB\_CMD**[0x0A(W1)] bit[7])
- Writing to **WINDOW\_ID** (**WIN\_CTRL**[0x7E(W0/W1)] bit[7:0])

\*3) Figure 5.3 shows the transition to sleep mode and return sequence.

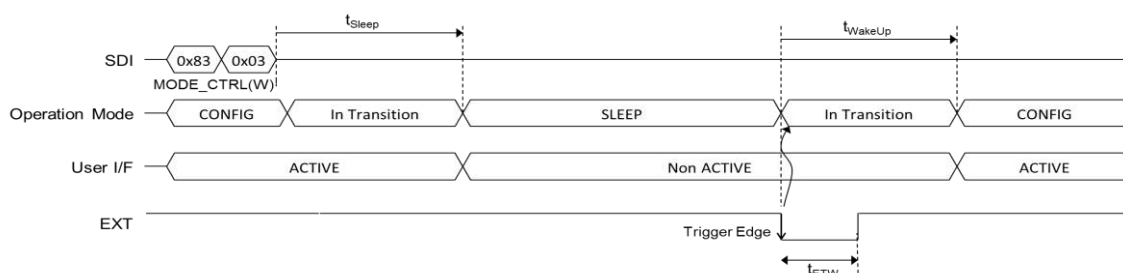


Figure 5.3 Sleep Mode Control

\*4) While the device is in UART Auto mode and sensor sampling is active, register read access is not supported. Otherwise, the sampling data transmitted in the UART Auto mode will be corrupted by the response data from the register read.

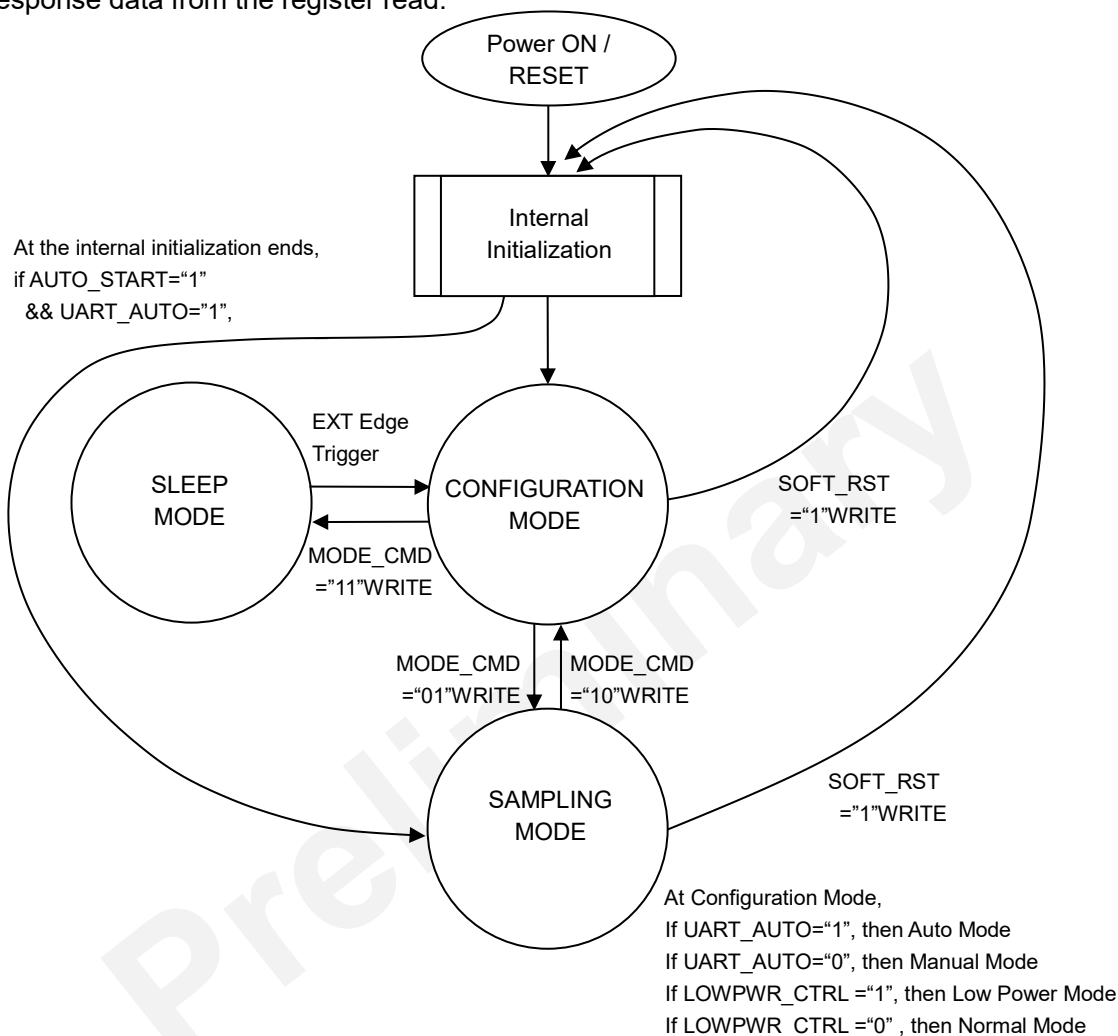


Figure 5.4 Operational State Diagram

### 5.3 Functional Block

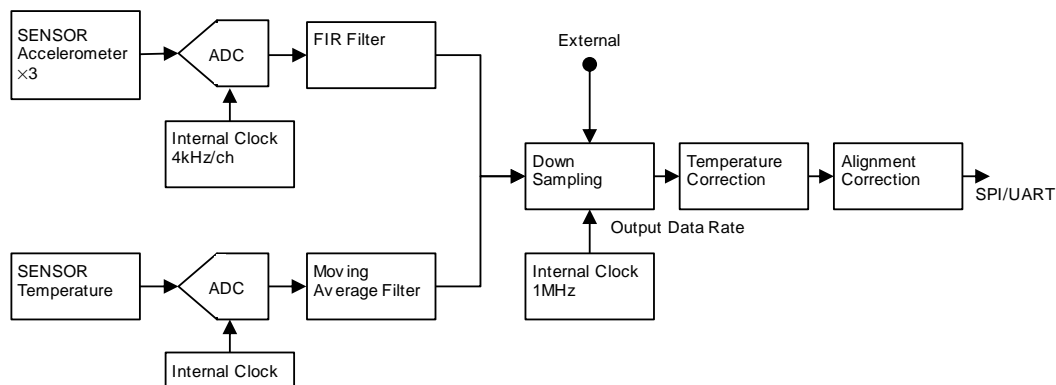


Figure 5.5 Functional Block Diagram



5.4 Data Output Timing

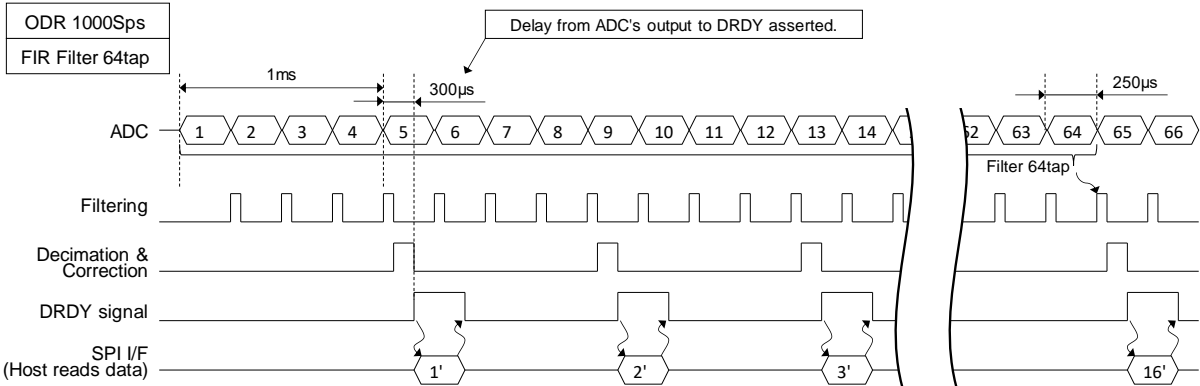


Figure 5.6 Data Output Timing – ODR 1,000 Sps

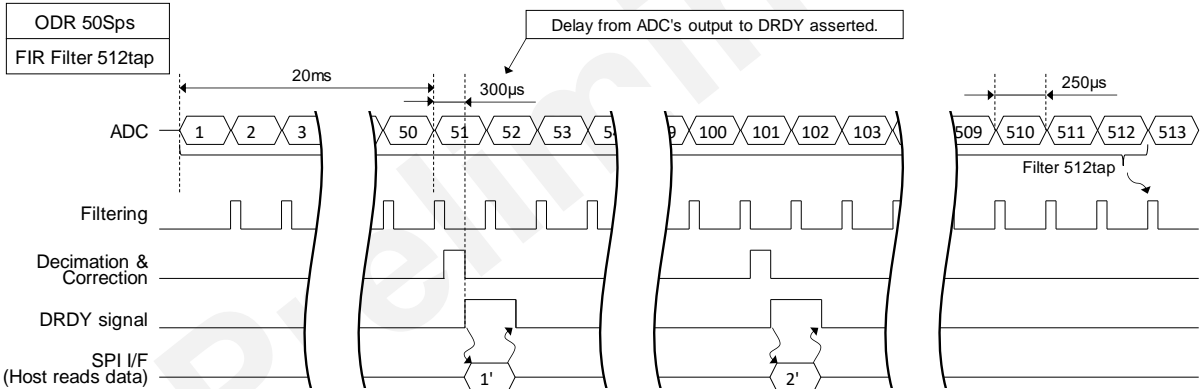


Figure 5.7 Data Output Timing – ODR 50 Sps

## 5.5 Data Ready Signal

The Data Ready Signal is asserted when one sampling cycle completes and registers are updated with new sensor values. When the sensor values are read out, the Data Ready signal becomes negated. In case of UART AUTO mode, the Data Ready signal becomes negated just before data is output.

The Data Ready Signal is output to the DRDY pin when the **DRDY\_ON** (MSC\_CTRL[0x02(W1)] bit[2]) is set to "1". The polarity of the signal can be changed by the **DRDY\_POL** of MSC\_CTRL[0x02(W1)] bit[1] register.

The Data Ready Signal is the logical sum of all the ND flags corresponding to each sensor value. If all the ND flags are disabled in the **ND\_EN** (SIG\_CTRL[0x00(W1)] bit[15:9][7:2]), the Data Ready will not be asserted. On the other hand, if all the sensor values enabled in the **ND\_EN** (SIG\_CTRL[0x00(W1)] bit[15:9]) are not read out, the Data Ready signal is kept asserted and never becomes negated.

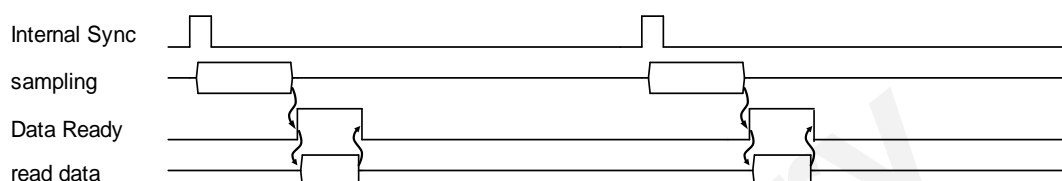


Figure 5.8 Data Ready Signal Timing

## 5.6 Sampling Counter

By reading COUNT[0x0A(W0)] register, the counter value, which is incremented based on the sampling completion timing of the internal A/D converter, can be read. The count interval is 250usec/count and is based on the precision of the internal reference oscillator (crystal).

Additionally, during UART/SPI burst mode or in UART Auto mode, the counter value can be included in the response format by setting the **COUNT\_OUT** (BURST\_CTRL1[0x0C(W1)] bit[1]). For information about the response format, see 6.3 DATA PACKET FORMAT.

## 5.7 Self Test

This product has the following self test functions.

- Acceleration Value

This self test function can be used to check whether the outputs of the accelerometer are within the pre-determined range and operating properly.

The test result is OK if the absolute value of the output as a three dimensional vector is within the gravitational acceleration(0.8G to 1.2G).

When performing the self test, make sure the device does not move during the test and the test is conducted in a place without vibration.

For information about the execution time of the self test, see "Self Test Time" in Table 2.4 Interface Specifications.

To use this function, see the description of the **ACC\_TEST** (MSC\_CTRL[0x02(W1)] bit[10]) and the **ACC\_ERR\_ALL** (DIAG\_STAT[0x04(W0)] bit[1]).

- Temperature Value

Determine whether the temperature sensor is operating properly.

To use this function, execute **TEMP\_TEST** of register: MSC\_CTRL [0x02 (W1)], bit [9], check the **TEMP\_ERR** of register: DIAG\_STAT [0x04 (W0)], bit [9] for diagnostic result.

- Power Supply Voltage Level

Determine whether the power supply voltage is within 3.0V to 3.6V.

To use this function, execute **VDD\_TEST** of register: MSC\_CTRL[0x02(W1)],bit[8], check the **VDD\_ERR** of register: DIAG\_STAT[0x04(W0)],bit[8] for diagnostic result.

- Nonvolatile memory

Determine whether the Nonvolatile memory is operating properly by consistency test of data in nonvolatile memory.

To use this function, execute **FLASH\_TEST** of register: MSC\_CTRL[0x02(W1)],bit[11], check the **FLASH\_ERR** of register: DIAG\_STAT[0x04(W0)],bit[2] for diagnostic result.

## 5.8 Threshold Detection of Accelerometer

When the acceleration value exceeds the preset threshold, an alarm is indicated.

The threshold can be set for each 1G step within the range of 0 to 15 G upper limit and -15 G to 0 G lower limit.

At the time of shipment, the upper limit + 15 G and the lower limit -15 G are set

The alarm threshold is set in the registers: XA\_ALARM [0x47 - 0x46 (W1)], YA\_ALARM [0x49 - 0x48 (W1)], ZA\_ALARM [0x4B - 4A (W1)] and the alarm indication is registered in FLAG [0x06 (W0)], displayed in **\*ALARM\_ERR** of bit [4: 2]. Reading **\*ALARM\_ERR** will reset the alarm display.

## 5.9 External Trigger Input

External Trigger Input function provides control of the sample data output timing by using an externally supplied input pulse signal to EXT pin. By enabling the **EXT\_SEL** (MSC\_CTRL[0x02(W1)] bit[6]), EXT pin can be used as External Trigger Input pin. The polarity of External Trigger Input (Positive Pulse / Negative Pulse) can be selected by **EXT\_POL** (MSC\_CTRL[0x02(W1)] bit[5]).

When this function is active, the operation is as follows:

- For UART Auto Mode:

When External Trigger Input pin is asserted, the latest sampling data is set to each register and sent to Host automatically.

- For all other modes:

When External Trigger Input pin is asserted, the latest sampling data is set to each register and Data Ready signal is asserted. The Host should then read the sampling data synchronized with Data Ready signal.

Note) In case of External Trigger function usage please apply appropriate filter setting (FILTER\_SEL) depending on the External Trigger period. Inappropriate filter setting may affect sensor noise performance.

The External Trigger Input Timing requirements and timing diagrams are shown in Figure 5.8, and Figure 5.9.

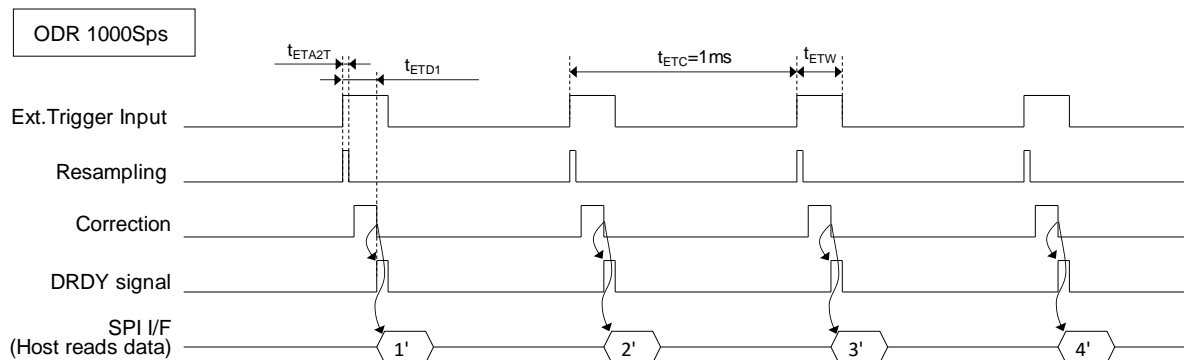


Figure 5.9 External Trigger Input (Auto Mode)

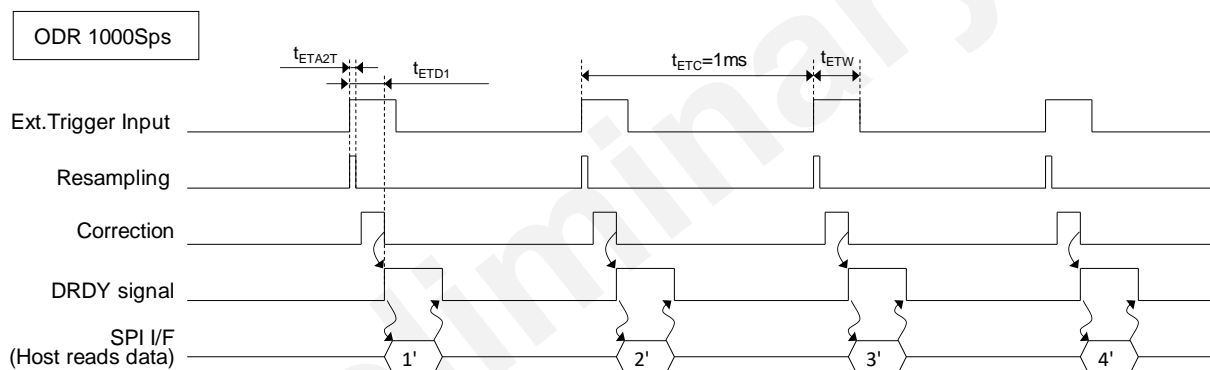


Figure 5.10 External Trigger Input (UART/SPI Manual Mode)

### 5.10 Checksum

A checksum can be appended to the response data during UART/SPI Burst mode or UART Auto mode by enabling this function in **CHKSM\_OUT** (BURST\_CTRL1 [0x0C(W1)] bit 0).

The range of the data content for checksum is after the address byte (AD=0x80) of the response data (Figure 5.11). The checksum is calculated with a simple addition of the data content in units of 16-bit, and the resulting sum is truncated to 16-bits and appended as checksum just before delimiter byte (CR=0x0D).

For example:

Because the sum is "611B4" for the response data stream of "FE01 C455 4000 0052 33C0 0043 7BC8 004A 2608 FD73 3AA0 FF75 4C30 1F53 8FD0 0600 0014", the checksum is "11B4":

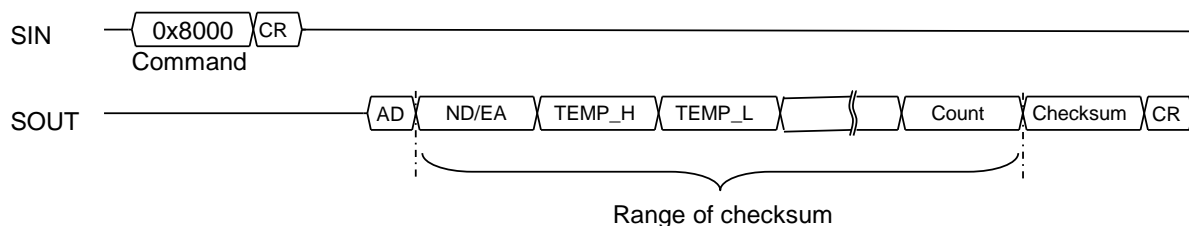


Figure 5.11 Checksum

### 5.11 Automatic Start (For UART Auto mode Only)

Automatic Start function is designed to be used in conjunction with the UART Auto mode. When the power is supplied or the accelerometer is restart/reset, it allows the device to automatically enter Sampling mode after completing internal initialization. Please refer to Figure 5.4 for the state transition.

Follow the procedures below to enable the Automatic Start function:

- Write a "1" to both **UART\_AUTO** (bit [0]) and **AUTO\_START** (bit [1]) of **UART\_CTRL** [0x08(W1)].
- Store the current register settings to non-volatile memory by writing a "1" to **FLASH\_BACKUP** (GLOB\_CMD [0x0A(W1)] bit [3]). After completion of the **FLASH\_BACKUP** command, confirm the results by **FLASH\_BU\_ERR** (DIAG\_STAT [0x04(W0)] bit [0]).
- The Accelerometer will automatically enter Sampling Mode after the power supply is cycled, or a hardware reset, or a software reset command is executed.

Follow the procedures below to disable this function.

- After entering sampling mode with automatic start, write "01" to **MODE\_CMD** of register: **MODE\_CTRL** [0x02 (W0)], bit [9: 8] and enter the configuration mode
- Write "0" to **AUTO\_START** of register: **UART\_CTRL** [0x08 (W1)], bit [1].
- The subsequent steps are the same as above. Please store the register setting to nonvolatile memory and restart or reset the accelerometer.

### 5.12 Bias Offset

This function corrects acceleration bias of X, Y, Z axis. The user specified offset is applied to the measured acceleration value before being sent out the serial interface.

Set the bias offset value to the registers: **XA\_OFFSET** [0x2F - 0x2C (W0)], **YA\_OFFSET** [0x33 - 0x30 (W0)], **ZA\_OFFSET** [0x37 - 0x34 (W0)]. The correction range is -15 G to +15 G. The data format is the same as the output format of register: **ACCL** [0x3B - 0x30 (W0)]. Both the X, Y, and Z axes are set to "0" when shipped.

### 5.13 Tilt Output / Combination Output

The device can be configured to output tilt angle by register setting. The tilt angle is calculated from the measured gravitational acceleration vector. The calculation formulas are as follows.

$$\theta = \text{asin}G[\text{rad}]$$

The device is configurable to select the measurement output type for each axis to be either acceleration or tilt angle. The measurement output type is selected with **OUTPUT\_SEL\_\*** of register: **SIG\_CTRL** [0x00 (W1)], bit [7: 5].

When both acceleration and tilt angle is outputting at the same time, set **OUTPUT\_SEL** to "Tilt angle" and read register: **ACCL** [0x3A - 0x30 (W0)] and register: **TILT** [0x46 - 0x3C (W0)] in normal mode.

### 5.14 Low Power Measurement Mode

The low power consumption measurement mode is enabled by register setting. Follow the procedures below to enable the low power measurement mode.

- Set **LOW\_PWR** of SIG\_CTRL [0x00 (W1)], bit [4] to "1: valid".
- Write "1" to **FLASH\_BACKUP** of Register GLOB\_CMD [0x0A (W1)], bit [3] and save the current register setting in nonvolatile memory. After execution of the **FLASH\_BACKUP** command is completed, confirm the execution result to be "0" with **FLASH\_BU\_ERR** of register: DIAG\_STAT [0x04 (W0)], bit [0].
- Restart the power supply, or execute a hardware/software reset command.

Follow the procedures below to disable this function.

- Set **LOW\_PWR** of SIG\_CTRL [0x00 (W1)] and bit [4] to "0: invalid".
- The subsequent steps are the same as above. Please store the register setting to nonvolatile memory and restart or reset the accelerometer.

Preliminary

## 5.15 FILTER

The device has a programmable internal FIR filter. The intermediate sensor signal at 4k sps is processed by the FIR filter and decimated according to the output timing and sent out the serial interface. The number of TAPs and a cutoff frequency can be set with the FILTER\_CTRL [0x06(W1)] register.

### 5.15.1 FIR Kaiser Filter

Filter parameters correspond to the Kaiser window parameters. The number of TAPs can be set to 64, 128, or 512, and the cutoff frequency  $F_c$  can be selected according to the output sample rate.

Figures 5.12 to 5.15 show the typical characteristic of the filters.

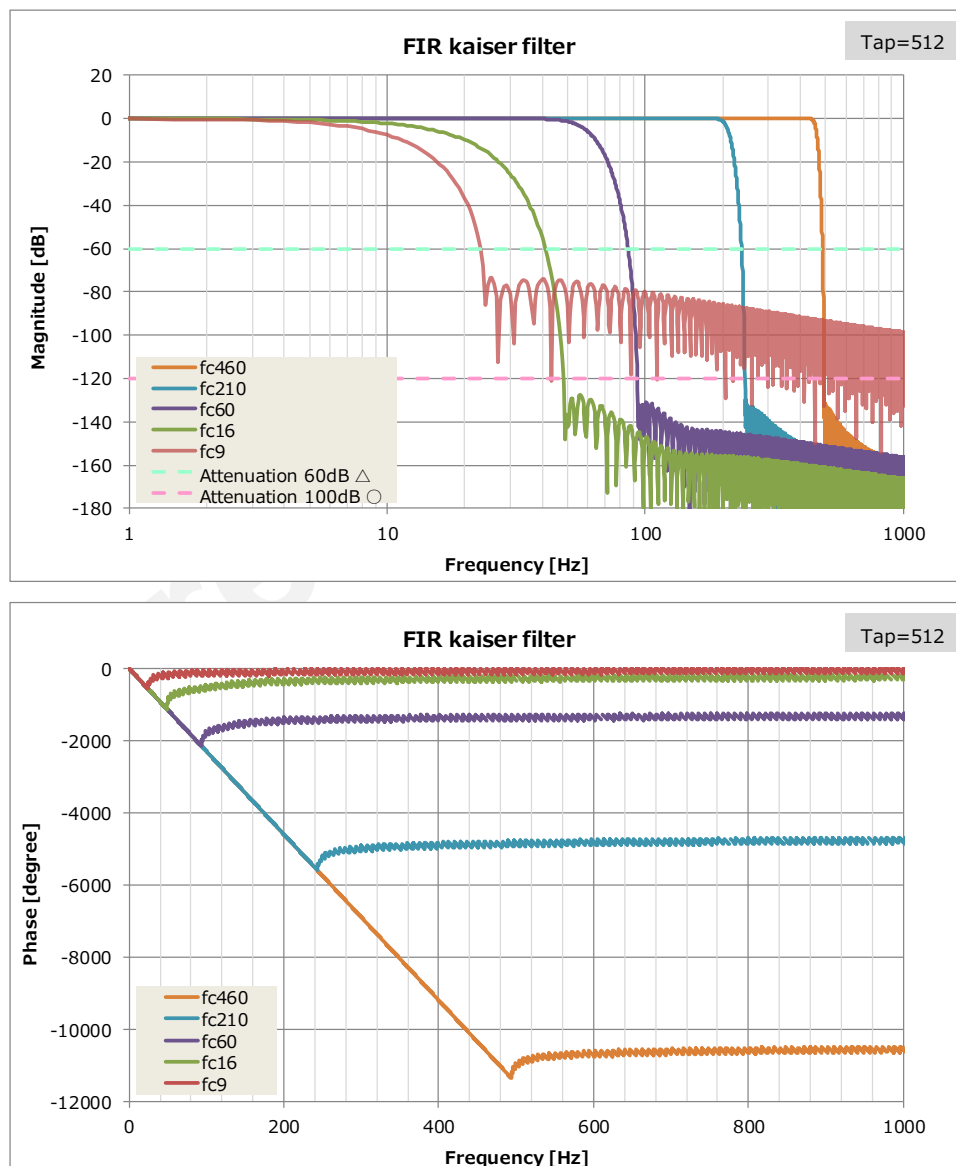


Figure 5.12 FIR Kaiser Filter Characteristic (512 taps)



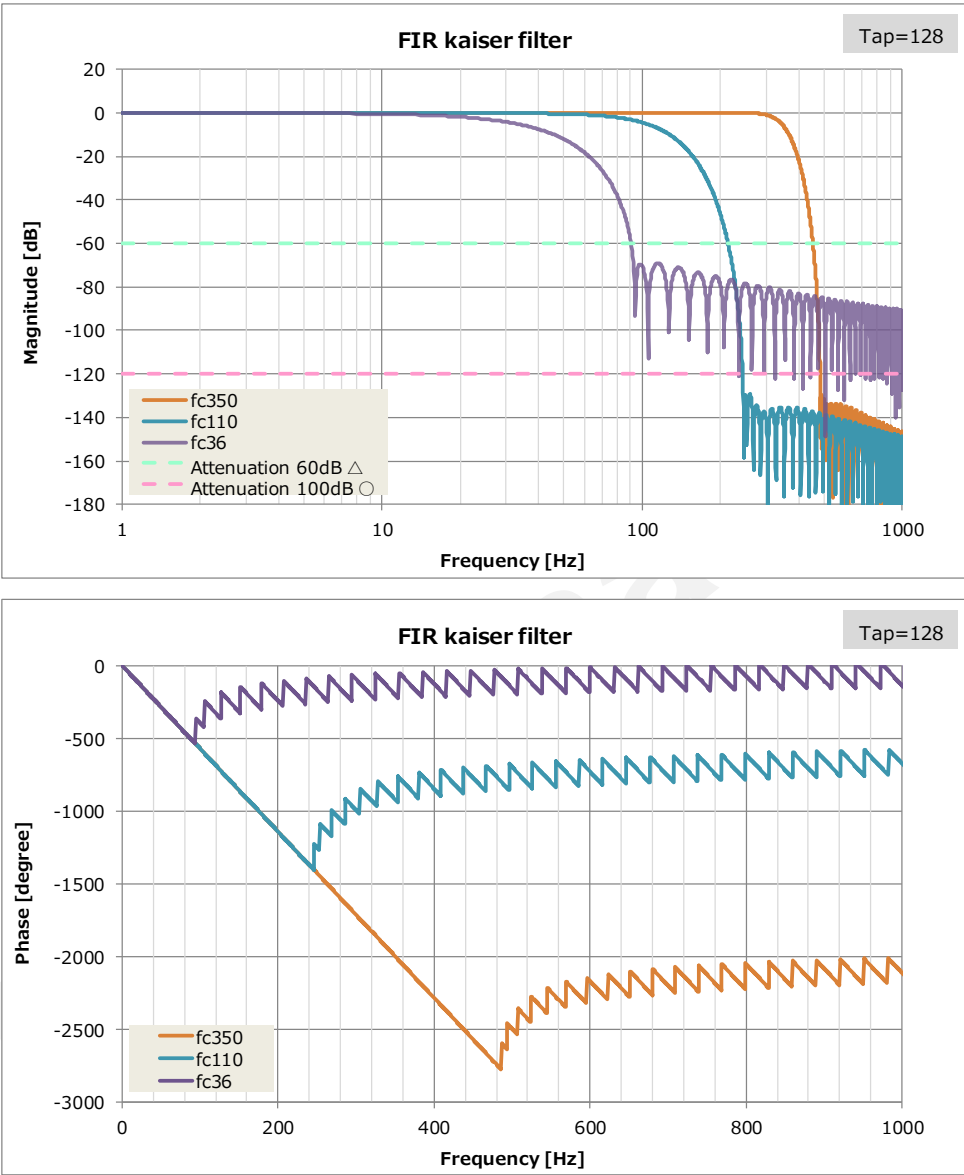


Figure 5.13 FIR Kaiser Filter Characteristic (128 taps)

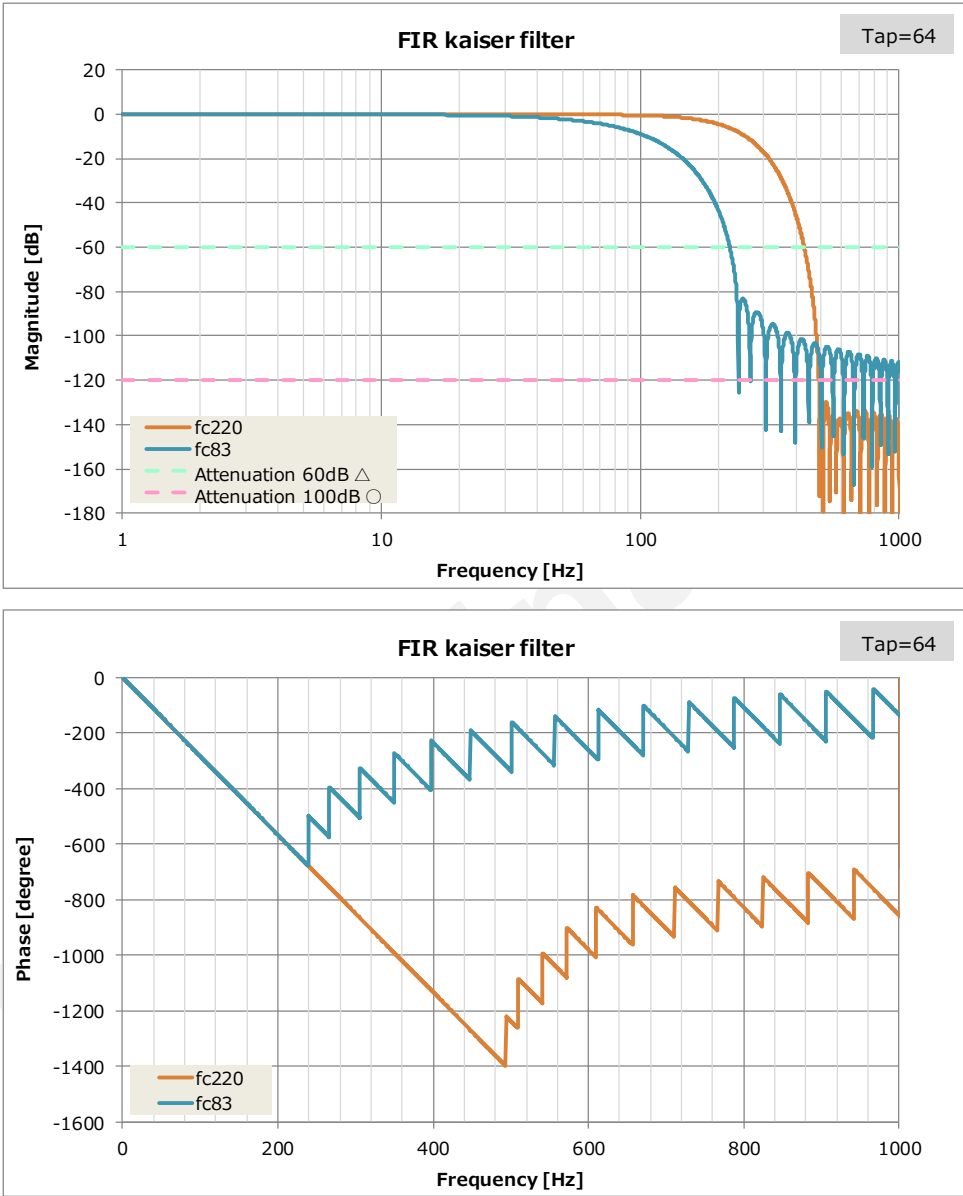


Figure 5.14 FIR Kaiser Filter Characteristic (64 taps)

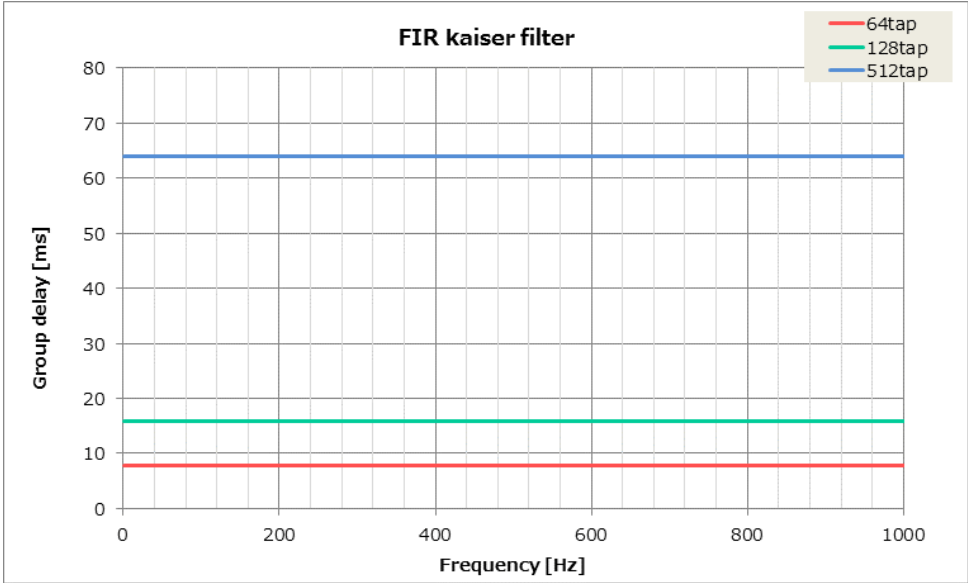


Figure 5.14 FIR Kaiser Filter Characteristic – Group Delay

Preliminary

### 5.15.2 User Defined FIR Filter

Set filter coefficients in the registers: FIR\_UCMD [0x16 (W1)], FIR\_UDATA [0x18 (W1)], FIR\_UADDR [0x1A (W1)], and set **FILTER\_SEL** of register: FILTER\_CTRL [0x06] to "user defined FIR filter", then the FIR filter can arbitrarily be defined.

Follow the procedures below to program the user defined FIR filter.

- Setting Values Preparation

Set the filter coefficient value using signed 32 bit fixed point number with decimal point after bit [31].  
example) Coefficient.\*1Long<<31 = 0.2195378928\*2<sup>31</sup>≐0x1C19D153

Table 5.1 shows the address ranges for the filter coefficients. The start address is common to each tap number and is at 0x0800.

Table 5.1 User Defined FIR Filter Coefficient Address Ranges

Tap	Coefficient Address Range
4	0x0800-0x080F
64	0x0800-0x08FF
128	0x0800-0x09FF
512	0x0800-0x0FFF

- Register Control (Write)

Set the filter coefficient address in register: FIR\_UADDR [0x1B, 0x1A (W1)] and set the filter coefficient value in **FIR\_UDATA** of register: FIR\_UDATA [0x18 (W1)].

Set **FIR\_UCMD** of register: FIR\_UCMD [0x16 (W1)], bit [1: 0] to write the coefficient value.

After the byte has completed writing, the address is automatically incremented by 1, so continuous programming of coefficients are possible without requiring additional address settings.

For the coefficient value, set the upper byte to the upper address and the lower byte to the lower address. Figure 5.16 shows the write sequence.

Please specify the type of filter, TAP setting and cutoff frequency using **FILTER\_SEL** in register: FILTER\_CTRL[0x06 (W1)], bit [3:0]. When selecting the user defined FIR filter, the **FILTER\_SEL** register must reflect the filter coefficient data that are programmed in the device.

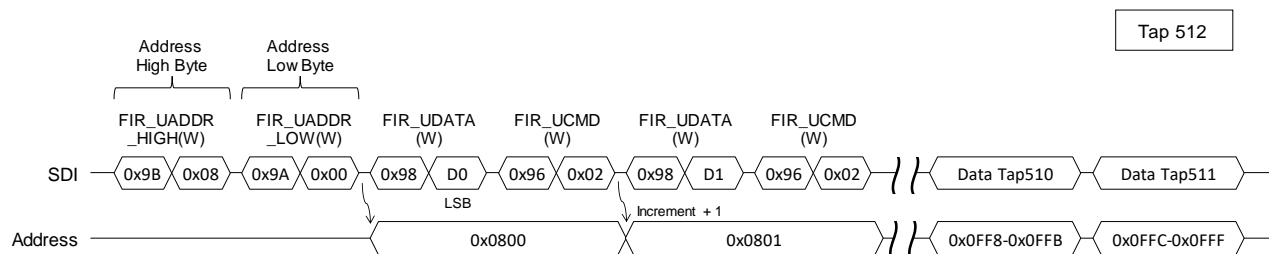


Figure 5.16 User Defined FIR Filter Coefficient Example Write Sequence (512 taps)

- Register Control (Read)

Set the filter coefficient address in register: FIR\_UADDR [0x1B, 0x1A (W1)] and read the coefficient value using FIR\_UCMD in register: FIR\_UCMD [0x16 (W1)], bit [1: 0].

The address is automatically incremented by 1, so continuous execution of read commands is possible without requiring additional address settings. Figure 5.17 shows the read sequence.

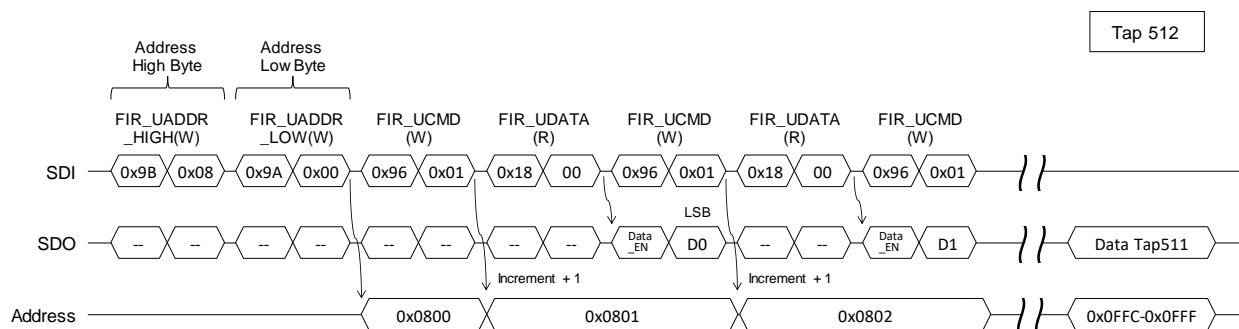


Figure 5.17 User Defined Filter Coefficient Read Sequence (512 taps)

### 5.15.3 Notes For FIR Filter Usage

As shown in Table 5.2, transient response data is generated according to the combination of the tap number and the data output rate when sampling is started.

In the case of internal timer trigger measurement, the acceleration value of register ACCL [0x3A - 0x30] is not updated during this period.

In the case of automatic measurement, the device starts outputting data after the transient response.

Please note when using external trigger measurement, the transient response data is output. Therefore, the host system is responsible to properly manage and discard the transient response data.

Table 5.2 Transient Response Data Based on Output Data Rate and Filter Tap

	64 Taps	128 Taps	512 Taps
1,000sps	15	31	127
500sps	7	15	63
200sps		7	31
100sps			15
50sps			7

The host must set the cutoff frequency of the FIR filter and the output rate in proper combination to avoid aliasing.

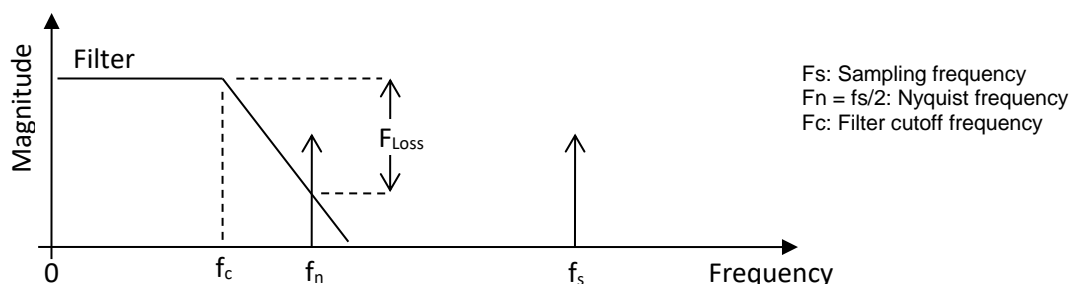


Figure 5.17 Anti-Aliasing Relationship Diagram

Table 5.3 Supported Settings For Output Rate and Filter Cutoff Frequency

Tap	Fc	Group delay	Output Data Rate				
			50 Sps	100 Sps	200 Sps	500 Sps	1,000 Sps
512 taps	460 Hz	63.875 ms	-	-	-	-	OK
	210 Hz		-	-	-	OK	OK
	60 Hz		-	-	OK <sup>*1</sup>	OK	OK
	16 Hz		-	OK	OK	OK	OK
	9 Hz		*	*	*	*	*
128 Taps	350 Hz	15.875 ms	-	-	-	-	OK
	110 Hz		-	-	-	OK	OK
	36 Hz		-	-	*	*	*
64 Taps	220 Hz	7.875 ms	-	-	-	-	OK
	83 Hz		-	-	-	*	*

OK:  $F_{Loss} < -120$  dB Recommended setting

\* :  $F_{Loss} < -60$  dB Although a possible setting, some decrease in measurement quality due to aliasing  
 - :  $F_n < F_c$  Invalid setting. When using internal timer measurement, measurement data returns with error "0x64000000".

\*1) The factory setting is Tap: 512, Fc: 60 Hz, ODR: 200 Hz

#### 5.15.4 Long Period Filter (HPR, LPF)

In addition to the FIR filter, this product has a simple filter for long period measurement. This filter consists of a moving average at an output data rate. The number of taps can be set to a power of 2 in the range 2 to 4096.

LPF is a two-stage configuration with the set number of taps.

HPF consists of a single-stage configuration with the set number of taps and subtracting the moving average from the original data.

When using a long-term filter, set **FILT\_EN** of register: LONGFILT\_CTRL [0x1C (W1)], bit [0] to "1: valid" and select "LPF" or "HPF" in FILT\_SEL.

Set the number of taps to TAP\_SIZE of register: LONGFILT\_TAP [0x1E (W1)].

## 6. Digital Interface

This device has the following two external interfaces.

- (1) SPI interface
- (2) UART interface

The SPI interface and the UART interface have almost the same functions, except for Auto Mode function for the UART interface. No hardware pin configuration is necessary for SPI/UART selection since both interfaces are always active. Connect desired interface pins to SPI or UART interface.

Note) Connecting both SPI and UART at the same time is not supported and may result in malfunction of the device.

The registers inside the device are accessed via the SPI or UART interfaces.

In this document, data sent to the device is called a "Command" and data sent back in response to the command is called a "Response". There are two types of commands: write command and read command. The write command has no response. The write command always writes to the internal register in 8-bit words. The response to the read command, i.e. the data from the internal register, is always read in 16-bit words.

When reading from the registers, there is a burst mode in addition to the normal mode.

When the IMU output data rate is high (i.e. 1000sps), it may exceed the bandwidth of the host interface and cause the data transmission to be incorrect. In this case, the user must balance the transmission data rate and the bandwidth capability of the host interface.

Adjust the following settings accordingly to optimize the host interface bandwidth:

- For the UART, adjust the baud rate in **BAUD\_RATE** (UART\_CTRL [0x08(W1)] bit [8]).
- For the SPI, adjust the host side SPI clock frequency and SPI wait time.

Adjust the following settings accordingly to optimize the transmission data rate:

- The transmission data rate is affected by the data output rate setting in **DOUT\_RATE** (SMPL\_CTRL [0x04(W1)] bits [15:8]).
- The transmission data rate is also affected by the number of output bytes included in burst mode read transfer. The adjustment to the number of output bytes is in registers **BURST\_CTRL1** [0x0C(W1)] and **BURST\_CTRL2** [0x0E(W1)].

Several concrete examples for setting the transmission data rate and host interface bandwidth are shown below:

(1) For UART Output:

- **BAUD\_RATE** = "01" of UART\_CTRL [0x08(W1)] bit [9,8]: 460800 baud
- **UART\_AUTO** = "1" of UART\_CTRL [0x08(W1)] bit [0]: UART Auto Mode
- **DOUT\_RATE** = "0100" of SMPL\_CTRL [0x04(W1)] bit [15:8]: 200Sps
- **BURST\_CTRL** = "0x4702\_" [0x0C(W1)] : TEMP, Acceleration, and COUNT output

(2) For SPI Output:

- SPI Interface Transmission Setting:  $f_{SCLK}=1\text{MHz}$  and  $t_{STALL}=24\mu\text{s}$  for normal mode
- **DOUT\_RATE** = "0100" of SMPL\_CTRL [0x04(W1)] bit [11:8]: 200Sps
- **BURST\_CTRL** = 0x4702\_ [0x0C(W1)] : TEMP, Acceleration, and COUNT output



6.1 SPI Interface

Table 6.1 shows the communication settings of SPI interface and Table 6.2 shows the SPI timing for normal mode.

Table 6.1 SPI Communication Settings

Parameter	Setting
Mode	Slave
Word length	16 bits
Phase	Rising edge
Polarity	Negative logic

Table 6.2 SPI Timing (Normal Mode)

Parameter	Minimum	Maximum	Unit
f <sub>SCLK</sub>	0.01	2.0	MHz
t <sub>STALL</sub>	(20)	-	μs
t <sub>WRITERATE</sub>	(40)	-	μs
t <sub>READRATE</sub>	(40)	-	μs

6.1.1 SPI Read Timing (Normal Mode)

The response data to a read command, i.e. the data from the internal register, is always returned in 16-bit words. The SPI interface supports sending the next command during the same bus cycle as receiving a response to the read command (full-duplex).

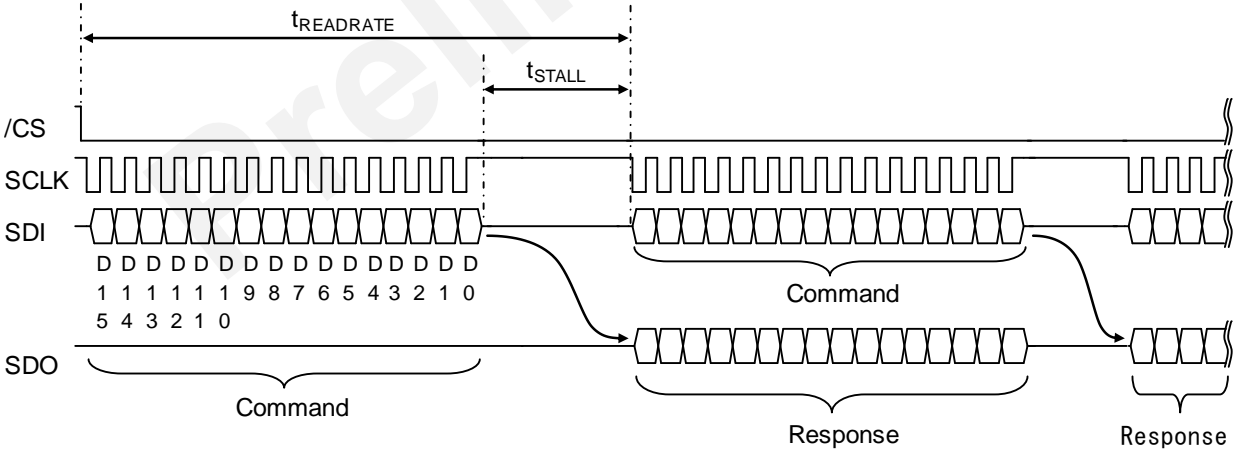


Figure 6.1 SPI Read Timing (Normal Mode)

Table 6.3 Command Format (Read)

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	A[6:0]						XX								

A [6:0] ... Register address (even address)  
 XX ... Don't Care

Table 6.4 Response Format (Read)

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
D[15:8]								D[7:0]							

D[15:8] ··· Register read data (upper byte)

D[7:0] ··· Register read data (lower byte)

### 6.1.2 SPI Write Timing (Normal Mode)

A write command to a register has no response. Unlike register reading, registers are written in 8-bit words.

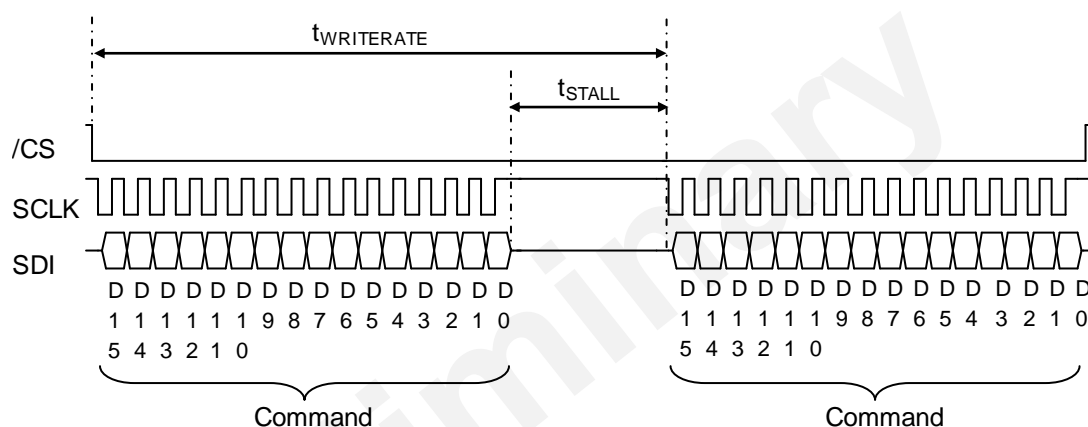


Figure 6.2 SPI Write Timing (Normal Mode)

Table 6.5 Command Format (Write)

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
1		A[6:0]						D[7:0]							

A [6:0] ··· Register address (even or odd number)

D [7:0] ··· Register write data

### 6.1.3 SPI Read Timing (Burst Mode)

Burst mode access of read data is supported using a “Burst Read Command” by writing 0x00 in **BURST\_CMD** (BURST [0x00(W0)] bits[7:0]). In burst mode, ND flag/EA flag, temperature sensor value, 3-axis acceleration sensor value, GPIO, etc. are consecutively sent as a response. The response format for the burst read output data is configured by register setting in BURST\_CTRL1 [0x0C(W1)] and BURST\_CTRL2 [0x0E(W1)]. Please refer to 6.3 Data Packet Format for the response format.

Table 6.6 SPI Timing (Burst Mode)

Parameter	Minimum	Maximum	Unit
f <sub>SCLK</sub>	0.01	2.0	MHz
t <sub>STALL1</sub>	(45)	-	μs
t <sub>STALL2</sub>	(0)	-	μs
t <sub>READRATE2</sub>	(8)	-	μs

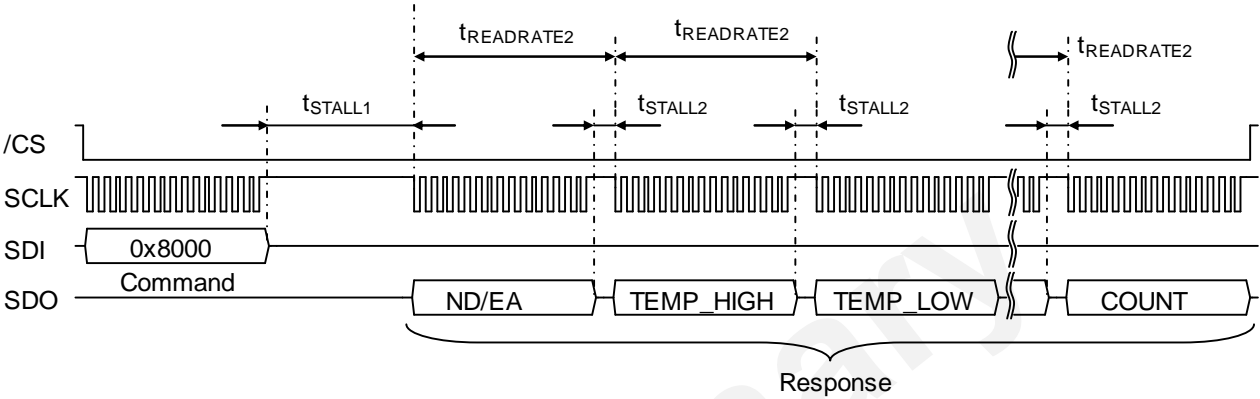


Figure 6.3 SPI Timing (Burst Mode)

## 6.2 UART Interface

Table 6.7 shows the supported UART communication settings and Figure 6.4 shows the UART bit format. Please refer to **BAUD\_RATE** (UART\_CTRL [0x08(W1)] bit 8) for changing the baud rate setting.

Table 6.7 UART Communication Settings

Parameter	Settings
Transfer rate	115.2kbps/ 230.4kbps/ 460.8kbps
Start	1 bit
Data	8 bits
Stop	1 bit
Parity	None
Delimiter	CR(0x0D)

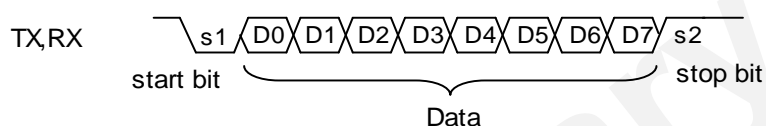


Figure 6.4 UART Bit Format

For the UART interface, a delimiter (1 byte) is placed at the end of each command (by the host) and response (by the IMU). In addition for responses, the address (1 byte) specified by the command is added (by the IMU) to the beginning of the response.

Table 6.8 and Table 6.9 shows the timing of UART.

Table 6.8 UART Timing

Parameter	Manual Mode				Auto Mode		Unit
	Normal Mode		Burst Mode		Minimum	Maximum	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum			
tSTALL(115.2kbps)	-	(25)	-	(45)	-	- <sup>*2</sup>	μs
tSTALL(230.4kbps)	-	(25)	-	(45)	-	- <sup>*2</sup>	μs
tSTALL(460.8kbps)	-	(25)	-	(45)	-	- <sup>*2</sup>	μs
tWRITERATE(115.2kbps)	(660)	-	-	-	(660)	-	μs
tWRITERATE(230.4kbps)	(350)	-	-	-	(350)	-	μs
tWRITERATE(460.8kbps)	(200)	-	-	-	(200)	-	μs
tREADRATE(115.2kbps)	(660)	-	<sup>*1</sup>	-	- <sup>*2</sup>	-	μs
tREADRATE(230.4kbps)	(350)	-	<sup>*1</sup>	-	- <sup>*2</sup>	-	μs
tREADRATE(460.8kbps)	(200)	-	<sup>*1</sup>	-	- <sup>*2</sup>	-	μs

\*1) Please refer to Table 6.9.

\*2) Register reading is not supported while in Sampling Mode with UART Auto Mode enabled.

Table 6.9 UART Timing ( $t_{\text{READRATE}}$  requirements for Burst Mode)

Parameter	Burst Mode (minimum)	Unit
$t_{\text{READRATE}}(115.2\text{kbps})$	$(660 + 86.8 * B)$	$\mu\text{s}$
$t_{\text{READRATE}}(230.4\text{kbps})$	$(300 + 43.4 * B)$	$\mu\text{s}$
$t_{\text{READRATE}}(460.8\text{kbps})$	$(200 + 21.7 * B)$	$\mu\text{s}$

B= Number of receive data bytes (AD: address and CR: delimiter is not included).

Example  $t_{\text{READRATE}}$  Calculation:

BURST\_CTRL[0x0C(W1)]: Set value 0x4702

B=18 byte for the above stated register setting

$t_{\text{READRATE}}(460.8\text{kbps}) = 200 + (21.7 * 18) = 591(\mu\text{s})$

### 6.2.1 UART Read Timing (Normal Mode)

The response to the read command, i.e. the data from the internal register, is always returned 16-bit data at a time. The register address (AD) comes at the beginning of the response, for example, 0x02 for the MODE\_CTRL [0x02(W0)] register.

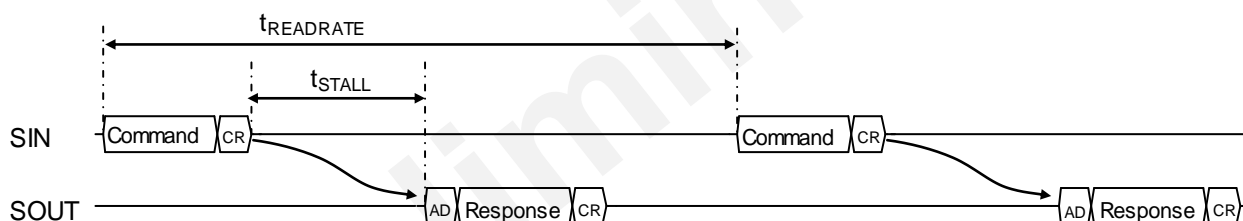


Figure 6.5 UART Read Timing (Normal Mode)

Table 6.10 Command Format (Read)

First byte								Second byte								Third byte							
7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
0	A[6:0]							XX								0x0D							

A[6:0] ... Register address (even address)

XX ... Don't Care

0x0D ... Delimiter

Table 6.11 Response Format (Read)

First byte								Second byte								Third byte								Fourth byte							
7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
0	A[6:0]							D[15:8]								D[7:0]								0x0D							

A[6:0] ... Register address (even address)

D[15:8] ... Register read data (upper byte)

D[7:0] ... Register read data (lower byte)

0x0D ... Delimiter

## 6.2.2 UART Read Timing (Burst Mode)

Burst mode access of read data is supported using a “Burst Read Command” by writing 0x00 in **BURST\_CMD** (BURST [0x00(W0)] bits[7:0]). In Burst Mode, ND flag/EA flag, temperature sensor value, 3-axis acceleration sensor value, GPIO, etc. are consecutively sent as a response. The response format for the burst read output data is configured by register setting in BURST\_CTRL1 [0x0C(W1)] and BURST\_CTRL2 [0x0E(W1)]. Please refer to 6.3 Data Packet Format for the response format.

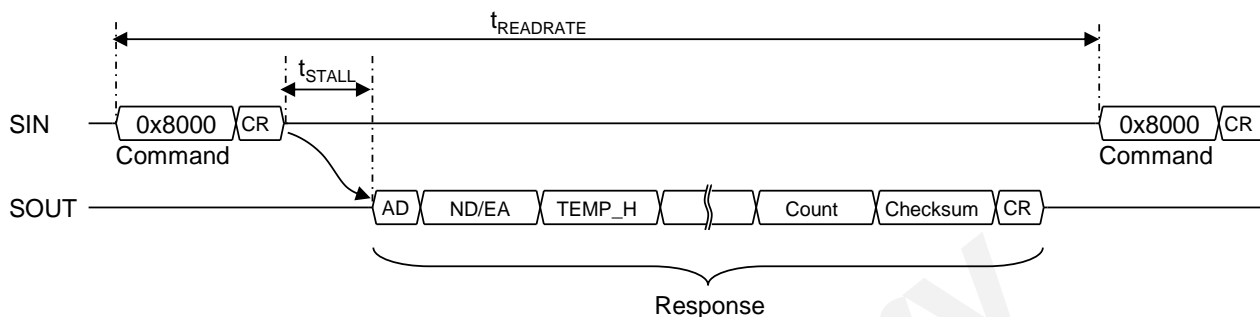


Figure 6.6 UART Read Timing (Burst Mode)

Table 6.12 Command Format (Burst Mode)

First byte								Second byte								Third byte							
7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
0x80								0x00								0x0D							

0x80 ... Burst Command

0x00 ... Burst Data 0x00

0x0D ... Delimiter

## 6.2.3 UART Write Timing

A write command to a register will have no response. Unlike register reading, registers are written in 8-bit words.

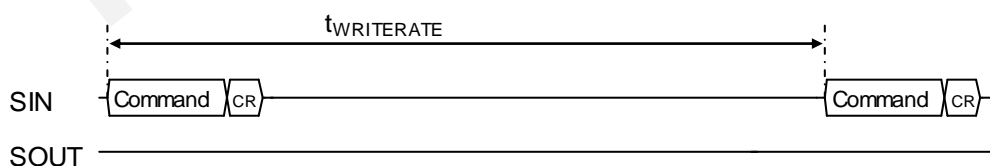


Figure 6.7 UART Write Timing

Table 6.13 Command Format (Write)

First byte								Second byte								Third byte							
7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
1	A[6:0]							D[7:0]								0x0D							

A[6:0] ... Register address (even number or odd number)

D[7:0] ... Register write data

0x0D ... Delimiter

### 6.2.4 UART Auto Mode Operation

When UART Auto Mode is active, all sensor outputs are sent as burst transfer automatically at the programmed output data rate without the request from the Host. For information about the response format, see 6.3 UART Data Packet Format. The response format for the burst read output data is configured by register setting in BURST\_CTRL [0x0C(W1)].

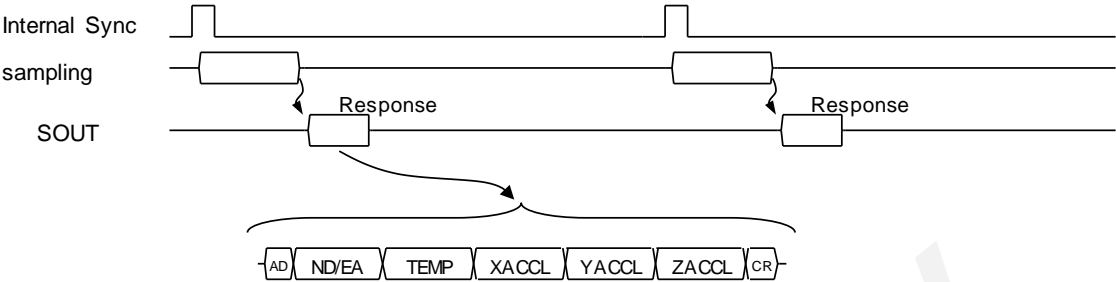


Figure 6.8 UART Auto Mode Operation

Preliminary

### 6.3 Data Packet Format

The following table shows example of the data packet format sent to the host in the UART Burst Mode or UART Auto Mode.

Table 6.14 UART Data Packet Format (UART Burst/Auto Mode) Example.

BURST\_CTRL[0x0C(W1)]=0xC703 (Burst Output, Temp, Acceleration, Counter, Checksum)

SIG\_CTRL[0x00(W1)]=0x8E00 (Output Mode: Acceleration)

Byte No.	Name	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
1	ADDRESS	0x80							
2	ND	ND (Temp)	-	-	-	ND (XACCL)	ND (YACCL)	ND (ZACCL)	-
3	EA	-	-	-	XALARM _ERR	YALARM _ERR	ZALARM _ERR	ALIASI _ERR	EA
4	TEMP_HIGH_H	TEMP_HIGH [15:8]							
5	TEMP_HIGH_L	TEMP_HIGH [7:0]							
6	TEMP_LOW_H	TEMP_LOW [15:8]							
7	TEMP_LOW_L	TEMP_LOW [7:0]							
8	XACCL_HIGH_H	XACCL_HIGH [15:8]							
9	XACCL_HIGH_L	XACCL _HIGH [7:0]							
10	XACCL_LOW_H	XACCL_LOW [15:8]							
11	XACCL_LOW_L	XACCL _LOW [7:0]							
12	YACCL_HIGH_H	YACCL _HIGH [15:8]							
13	YACCL_HIGH_L	YACCL _HIGH [7:0]							
14	YACCL_LOW_H	YACCL _LOW [15:8]							
15	YACCL_LOW_L	YACCL _LOW [7:0]							
16	ZACCL_HIGH_H	ZACCL _HIGH [15:8]							
17	ZACCL_HIGH_L	ZACCL _HIGH [7:0]							
18	ZACCL_LOW_H	ZACCL _LOW [15:8]							
19	ZACCL_LOW_L	ZACCL _LOW [7:0]							
20	COUNT_H	COUNT [15:8]							
21	COUNT_L	COUNT [7:0]							
22	CHECKSUM_H	CHECKSUM [15:8]							
23	CHECKSUM_L	CHECKSUM [7:0]							
24	CR	0x0D							



Table 6.15 Data Packet Format (SPI BURST MODE) Example

BURST\_CTRL[0x0C(W1)]=0xC703 (Burst Output, Temp, Acceleration, Counter, Checksum)

SIG\_CTRL[0x00(W1)]=0x8E00 (Output Mode : Acceleration)

Word No.	Bit15	...	Bit0
1		FLAG(ND/EA)	
2		TEMP_HIGH	
3		TEMP_LOW	
4		XACCL_HIGH	
5		XACCL_LOW	
6		YACCL_HIGH	
7		YACCL_LOW	
8		ZACCL_HIGH	
9		ZACCL_LOW	
10		COUNT	
11		CHECKSUM	

## 7. User Registers

A host device (for example, a microcontroller) can control the Accelerometer by accessing the control registers inside the device.

The registers are accessed in this device using a WINDOW method. The prescribed window number is first written to **WINDOW\_ID** of WIN\_CTRL[0x7E(W0/W1)] bit [7:0], then the desired register address can be accessed. The WIN\_CTRL [0x7E(W0/W1)] register can always be accessed without needing to set the window number.

During the Power-On Start-Up Time or the Reset Recovery time specified in the Table 2.4 Interface Specifications, all the register values are undefined because internal initialization is in progress. Ensure the device registers are only accessed after the Power-On Start-Up Time is over.

For information about the initial values of the control registers after internal initialization is finished, see the "Default" column in the Table 7.1. The control registers with ◦ mark in the "Flash Backup" column can be saved to the non-volatile memory by the user, and the initial values after the power on will be the values read from the non-volatile memory. If the read out from the non-volatile memory fails, the **FLASH\_ERR** (DIAG\_STAT [0x04(W0)] bit[2]) is set to 1 (error).

Please ensure that the device is in the Configuration Mode before writing to registers. In the Sampling Mode, writing to registers is ignored **except** for the following cases.

- MODE\_CTRL [0x02(W0)] bit [9:8] in **MODE\_CMD**
- GLOB\_CMD [0x0A(W1)] bit 7 in **SOFT\_RST**
- WIN\_CTRL [0x7E(W0/W1)] bit [7:0] in **WINDOW\_ID**

While in the UART Auto Mode and Sampling Mode is active, register read access is not supported. Otherwise, the sampling data transmitted in the UART Auto Mode will be corrupted by the response data from the register read.

Each register is 16-bit wide and one address is assigned to every 8 bits. Registers are read in 16-bit words and are written in 8-bit words. The byte order of each 16-bit register is little endian, but the byte order of the 16-bit data transferred over the digital interface is big endian

Table 7.1 shows the register map, and Section 7.1 through Section 7.30 describes the registers in detail.

The "-" sign in the register assignment table in Section 7.1 through Section 7.30 means "reserved".

Write a "0" to reserved bits during a write operation.

During a read operation, a reserved bit can return either 0 or 1 ("don't care").

Writing to a read-only register is prohibited.

NOTE): The explanation of the register notation MODE\_CTRL [0x02(W0)] bit [9:8] is as follows:

- MODE\_CTRL: Register name
- [0x02(W0)]: First number is the Register Address, (W0) means Window Number "0"
- bit[9:8]: Bits 9 to 8

Table 7.1 Register Map

Name	Window ID	Address	(*)Read Command 16bit Read	Write Command 8bitWrite	R/W	Flash Backup	Default	Function
BURST	0	0x00	-	0x80	W	-	-	Burst mode
		0x01		-	-		-	
MODE_CTRL	0	0x02	0x02XX	-	-	-	0x00	Operation mode control
		0x03		0x83	R/W		0x04	
DIAG_STAT	0	0x04	0x04XX	-	R	-	0x00	Diagnostic result
		0x05		-	R		0x00	
FLAG	0	0x06	0x06XX	-	R	-	0x00	ND flag/.EA flag
		0x07		-	R		0x00	
COUNT	0	0x0A	0x0AXX	-	R	-	0x00	Sampling count
		0x0B		-	R		0x00	
TEMP_HIGH	0	0x0E	0x0EXX	-	R	-	0xFF	Temperature sensor value High
		0x0F		-	R		0xFF	
TEMP_LOW	0	0x10	0x10XX	-	R	-	0xFF	Temperature sensor value Low
		0x11		-	R		0xFF	
XACCL_HIGH	0	0x30	0x30XX	-	R	-	0xFF	X acceleration sensor value High
		0x31		-	R		0xFF	
XACCL_LOW	0	0x32	0x32XX	-	R	-	0xFF	X acceleration sensor value Low
		0x33		-	R		0xFF	
YACCL_HIGH	0	0x34	0x34XX	-	R	-	0xFF	Y acceleration sensor value High
		0x35		-	R		0xFF	
YACCL_LOW	0	0x36	0x36XX	-	R	-	0xFF	Y acceleration sensor value Low
		0x37		-	R		0xFF	
ZACCL_HIGH	0	0x38	0x38XX	-	R	-	0xFF	Z acceleration sensor value High
		0x39		-	R		0xFF	
ZACCL_LOW	0	0x3A	0x3AXX	-	R	-	0xFF	Z acceleration sensor value Low
		0x3B		-	R		0xFF	
XTILT_HIGH	0	0x3C	0x3CXX	-	R	-	0xFF	X Tilt sensor Value High
		0x3D		-	R		0xFF	
XTILT_LOW	0	0x3E	0x3EXX	-	R	-	0xFF	X Tilt sensor Value Low
		0x3F		-	R		0xFF	
YTILT_HIGH	0	0x40	0x40XX	-	R	-	0xFF	Y Tilt sensor Value High
		0x41		-	R		0xFF	
YTILT_LOW	0	0x42	0x42XX	-	R	-	0xFF	Y Tilt sensor Value Low
		0x43		-	R		0xFF	
ZTILT_HIGH	0	0x44	0x44XX	-	R	-	0xFF	Z Tilt sensor Value High
		0x45		-	R		0xFF	
ZTILT_LOW	0	0x46	0x46XX	-	R	-	0xFF	Z Tilt sensor Value Low
		0x47		-	R		0xFF	
SIG_CTRL	1	0x00	0x00XX	0x80	R/W	○	0x00	DataReady signal & polarity control
		0x01		0x81	R/W		0x8E	
MSC_CTRL	1	0x02	0x02XX	0x82	R/W	○	0x26	Other control
		0x03		0x83	R/W		0x00	
SMPL_CTRL	1	0x04	0x04XX	-	-	○	0x00	Sampling control
		0x05		0x85	R/W		0x04	
FILTER_CTRL	1	0x06	0x06XX	0x86	R/W	○	0x08	Filter control
		0x07		-	-		0x00	
UART_CTRL	1	0x08	0x08XX	0x88	R/W	○	0x00	UART control
		0x09		0x89	R/W		0x01	
GLOB_CMD	1	0x0A	0x0AXX	0x8A	R/W	-	0x00	System control
		0x0B		-	R		0x00	
BURST_CTRL	1	0x0C	0x0CXX	0x8C	R/W	○	0x02	Burst control
		0x0D		0x8D	R/W		0x47	
FIR_UCMD	1	0x16	0x16XX	0x96	R/W	-	0x00	User FIR Filter control
		0x17		-	-		0x00	
FIR_UDATA	1	0x18	0x18XX	0x98	R/W	-	0x00	User FIR Filter coefficient data
		0x19		-	R		0x00	

## 7. User Registers

FIR_UADDR	1	0x1A	0x1AXX	0x9A	R/W	-	0x00	User FIR Filter coefficient Address
		0x1B		0x9B	R/W		0x08	
LONGFILT_CTRL	1	0x1C	0x1CXX	0x9C	R/W	○	0x00	Long period filter control
		0x1D		-	-		0x00	
LONGFILT_TAP	1	0x1E	0x1EXX	0x9E	R/W	○	0x0A	Long period filter tap number
		0x1F		-	-		0x00	
OFFSET_XA_HIGH	1	0x2C	0x2CXX	0xAC	R/W	○	0x00	X acceleration offset value High
		0x2D		0xAD	R/W		0x00	
OFFSET_XA_LOW	1	0x2E	0x2EXX	0xAE	R/W	○	0x00	X acceleration offset value Low
		0x2F		0xAF	R/W		0x00	
OFFSET_YA_HIGH	1	0x30	0x30XX	0xB0	R/W	○	0x00	Y acceleration offset value High
		0x31		0xB1	R/W		0x00	
OFFSET_YA_LOW	1	0x32	0x32XX	0xB2	R/W	○	0x00	Y acceleration offset value Low
		0x33		0xB3	R/W		0x00	
OFFSET_ZA_HIGH	1	0x34	0x34XX	0xB4	R/W	○	0x00	Z acceleration offset value High
		0x35		0xB5	R/W		0x00	
OFFSET_ZA_LOW	1	0x36	0x36XX	0xB6	R/W	○	0x00	Z acceleration offset value Low
		0x37		0xB7	R/W		0x00	
XALARM	1	0x46	0x46XX	0xC6	R/W	○	0xF1	X acceleration alarm
		0x47		0xC7	R/W		0x0F	
YALARM	1	0x48	0x48XX	0xC8	R/W	○	0xF1	Y acceleration alarm
		0x49		0xC9	R/W		0x0F	
ZALARM	1	0x4A	0x4AXX	0xCA	R/W	○	0xF1	Z acceleration alarm
		0x4B		0xCB	R/W		0x0F	
PROD_ID1	1	0x6A	0x6AXX	-	R	-	0x41	Product ID 1
		0x6B		-	R		0x33	
PROD_ID2	1	0x6C	0x6CXX	-	R	-	0x35	Product ID 2
		0x6D		-	R		0x32	
PROD_ID3	1	0x6E	0x6EXX	-	R	-	0x41	Product ID 3
		0x6F		-	R		0x44	
PROD_ID4	1	0x70	0x70XX	-	R	-	0x31	Product ID 4
		0x71		-	R		0x30	
VERSION	1	0x72	0x72XX	-	R	-	(*1)	Firmware version
		0x73		-	R			
SERIAL_NUM1	1	0x74	0x74XX	-	R	-	(*2)	Serial Number 1
		0x75		-	R			
SERIAL_NUM2	1	0x76	0x76XX	-	R	-		Serial Number 2
		0x77		-	R			
SERIAL_NUM3	1	0x78	0x78XX	-	R	-		Serial Number 3
		0x79		-	R			
SERIAL_NUM4	1	0x7A	0x7AXX	-	R	-		Serial Number 4
		0x7B		-	R			
WIN_CTRL	0,1	0x7E	0x7EXX	0xFE	R/W	-	0x00	Register Window Control
		0x7F		-	-		0x00	

\* 1) It depends on the version of the installed firmware.

\* 2) It is determined by each individual serial number.

\* 3) Lower byte XX: Do not care

### 7.1 BURST Register (Window 0)

Addr (Hex)	Bit15	...	Bit8	R/W
0x01	-			-

Addr (Hex)	Bit7	...	Bit0	R/W
0x00	BURST_CMD			W

#### bit[7:0] BURST\_CMD

A burst mode read operation is initiated by writing 0x00 in **BURST\_CMD** of this register.

NOTE) The data transmission format is described in 6.1.3 SPI Read Timing (Burst Mode) and 6.2.2 UART Read Timing (Burst Mode). Also refer to 6.3 Data Packet Format. The output data can be selected by setting BURST\_CTRL1 [0x0C(W1)] and BURST\_CTRL2 [0x0E(W1)].

### 7.2 MODE\_CTRL Register (Window 0)

Addr (Hex)	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	R/W
0x03	-	-	-	-	MODE_STAT		MODE_CMD		R/W *1

Addr (Hex)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	R/W
0x02	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\*1) MODE\_STAT is read-only.

#### bit[11:10] MODE\_STAT

This read-only status bit shows the current operation mode.

- 00: Sampling Mode
- 01: Configuration mode
- 10: Sleep Mode
- 11: (Not Used)

#### bit[9:8] MODE\_CMD

Executes commands related to the operation mode.

- 00: Execute Complete.
- 01: Go to the Sampling Mode.  
After the mode transition is completed, the bits automatically goes back to "00".
- 10: Go to the Configuration Mode.  
After the mode transition is completed, the bits automatically goes back to "00".
- 11: Go to the Sleep Mode.  
After the mode transition is completed, the bits automatically goes back to "00".

## 7.3 DIAG\_STAT Register (Window 0)

Addr (Hex)	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	R/W
0x05	-	ACC_X_ERR	ACC_Y_ERR	ACC_Z_ERR	ACC_VS_ERR	-	TEMP_ERR	VDD_ERR	R

Addr (Hex)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	R/W
0x04	HARD_ERR			SPI_OVF	UART_OVF	FLASH_ERR	ACC_ERR_ALL	FLASH_BU_ERR	R

Note) When the host reads the diagnosis result, all the results (including the EA flag in the FLAG register) will be cleared to 0.

**bit[14] ACC\_X\_ERR**

Shows the result of X axis acceleration sensor operation check in **ACC\_TEST** of MSC\_CTRL [0x02 (W1)], bit [14].

- 1: Error occurred
- 0: No error

If this error occurs, X axis acceleration sensor has failed (operation stop)

**bit[13] ACC\_Y\_ERR**

Shows the result of Y axis acceleration sensor operation check in **ACC\_TEST** of MSC\_CTRL [0x02 (W1)], bit [13].

- 1: Error occurred
- 0: No error

If this error occurs, Y axis acceleration sensor has failed (operation stop)

**bit[12] ACC\_Z\_ERR**

Shows the result of Z axis acceleration sensor operation check in **ACC\_TEST** of MSC\_CTRL [0x02 (W1)], bit [12].

- 1: Error occurred
- 0: No error

If this error occurs, Z axis acceleration sensor has failed (operation stop)

**bit[11] ACC\_VES\_ERR (ACC VectorSynthesis ERROR)**

Shows the execution result of vector composite value of acceleration three axes in **ACC\_TEST** of MSC\_CTRL [0x02 (W1)], bit [11].

- 1: Error occurred
- 0: No error

If this error occurs, acceleration sensor is faulty.

**bit[9] TEMP\_ERR**

Shows the execution result of **TEMP\_TEST** (Temp Sensor Check) of MSC\_CTRL [0x02 (W1)], bit [9].

- 1: Error occurred
- 0: No error

If this error occurs, temperature sensor is faulty.

**bit[8] VDD\_ERR**

Shows the execution result of **VDD\_TEST** (Power Supply Voltage Check) of MSC\_CTRL [0x02 (W1)], bit [8].

- 1: Error occurred
- 0: No error

If this error occurs, Check whether the power supply voltage level is within the specified range.

**bit[7:5] HARD\_ERR**

Shows the result of the hardware check at startup.

- Other than 00: Error occurred
- 00 : No error

When this error occurs, it indicates the device is faulty.

**bit[4] SPI\_OVF (SPI Over Flow)**

Shows an error occurred if the device received too many commands from the SPI interface in short period of time.

- 1: Error occurred
- 0: No error

When this error occurs, review the SPI command transmission interval and the SPI clock setting.

**bit[3] UART\_OVF (UART Over Flow)**

Shows an error occurred if the data transmission rate is faster than the UART baud rate.

- 1: Error occurred
- 0: No error

When this error occurs, review the settings for the baud rate (register: UART\_CTRL[0x08(W1)], bit[9:8]), data output rate (register: SMPL\_CTRL[0x04(W1)], bit[11:8]), UART Burst/Auto Mode (register: BURST\_CTRL[0x0C(W1)]) in combination.

**bit[2] FLASH\_ERR**

Shows the result of FLASH\_TEST of MSC\_CTRL [0x02(W1)] bit[11].

- 1: Error occurred
- 0: No error

This error indicates a failure occurred when reading data out from the non-volatile memory.

**bit[1] FLASH\_ERR**

Shows the excute result of FLASH\_TEST of logical sum of bit [14:11] of this register.

- 1: Error occurred
- 0: No error

**bit[1] ACC\_ERR\_ALL (ACCTest Error All)**

Shows the logical sum of bit [14:11] of this register.

- 1: Error occurred
- 0: No error

**bit[0] FLASH\_BU\_ERR (FLASH BackUp Error)**

Shows the result of FLASH\_BACKUP of GLOB\_CMD [0x0A(W1)] bit 3.

- 1: Error occurred
- 0: No error

**7.4 FLAG(ND/EA) Register (Window 0)**

Addr (Hex)	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	R/W
0x07	ND (Temp)	-	-	-	ND (XACCL)	ND (YACCL)	ND (ZACCL)	-	R

Addr (Hex)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	R/W
0x06	-	-	-	XALARM_ERR	YALARM_ERR	ZALARM_ERR	ALIASI_ERR	EA	R

Note) ALARM\_ERR flags are cleared to "0" by reading this register.

Note) The EA flag is cleared to "0" by reading the DIAG\_STAT register.

Note) The ALIASI\_ERR flag is updated when writing to the SMPL\_CTRL or FILTER\_CTRL register.

**bit[15] ND(New Data) flag (Temperature)**

When new measurement data is set in temperature register: TEMP\_HIGH [0x0E (W0)], this bit is set to "1". This bit is reset to "0" reading by the temperature register.

**bit[11:9] ND(New Data) flag (Acceleration)**

When new measurement data is set in acceleration register: XACCL\_HIGH[0x30(W0)], YACCL\_HIGH[0x34(W0)], ZACCL\_HIGH[0x38(W0)], this bit is set to "1". This bit is reset to "0" by reading the temperature register.

**bit[4] XALARM\_ERR(XAcc\_ALARM\_ERrOr)**

This bit indicates when the acceleration exceeds the value set in register: XA\_ALARM[0x47-0x46(W1)] in the X axis during measurement.

1: detection

0: no detection

**bit[3] YALARM\_ERR(YAcc\_ALARM\_ERrOr)**

This bit indicates when the acceleration exceeds the value set in register: YA\_ALARM[0x49-0x48(W1)] in the Y axis during measurement.

1: detection

0: no detection

**bit[2] ZALARM\_ERR(ZAcc\_ALARM\_ERrOr)**

This bit indicates when the acceleration exceeds the value set in register: ZA\_ALARM[0x4B-0x4A(W1)] in the Z axis during measurement.

1: detection

0: no detection

**bit[1] ALIASI\_ERR(ALIASIng\_ERrOr)**

This bit indicates the validation check of the combination setting of the output rate and filter cutoff frequency.

1: Abnormal Setting

0: Normal Setting

**bit[0] EA(All Error) flag**

When at least one failure is found in the diagnostic result (DIAG\_STAT [0x04(W0)]), this bit is set to "1"(failure occurred). This bit is reset to "0" by reading the DAIG\_STAT register.

1: Failure occurred

0: No Failure

**7.5 COUNT Register (Window 0)**

Addr (Hex)	Bit15	...	Bit0	R/W
0x0A	COUNT			R

**bit[15:0] COUNT**

This register returns the sampling count value of the internal A/D converter.

Note) The time unit of the sampling counter value represents 250  $\mu$ s/count.

Example: If the data output rate equals 1000Sps, the counter value sequence is 4,8,12, ... , 0xFFFC, 0, 4, ....



## 7.6 TEMP Register (Window 0)

Addr (Hex)	Bit15	...	Bit0	R/W
0x0E	TEMP_HIGH			R
0x10	TEMP_LOW			R

### bit[15:0] Temperature sensor output data

The internal temperature sensor value can be read from this register.  
The output data format is 32-bit two's complement format.

Please refer to the below formula for conversion to temperature in centigrade. Please refer to Table 2.3 Sensor Specification for the scale factor value.  
The reference value in this register is for the temperature correction. There is no guarantee that the value provides the absolute value of the internal temperature.

$$T [^{\circ}\text{C}] = \text{SF} * a + 34.987$$

SF: Scale Factor  
A: Temperature sensor output data (decimal)

## 7.7 ACCL Register (Window 0)

Addr (Hex)	Bit15	...	Bit0	R/W
0x30	XACCL_HIGH			R
0x32	XACCL_LOW			R
0x34	YACCL_HIGH			R
0x36	YACCL_LOW			R
0x38	ZACCL_HIGH			R
0x3A	ZACCL_LOW			R

### bit[15:0] Acceleration sensor output data

These registers contain the 3-axis acceleration data for X, Y, and Z.

Register: SIG\_CTRL [0x00 (W1)] provides the output mode selection OUTPUT\_SEL of bit [7: 5] to specify the acceleration data as either "acceleration" or "Tilt angle".

The output data format

Unit [ G ]

32-bit two's complement format

bit31 : sign

bit30~24 : integer

bit23~0 : decimal

Note) When the combination of output rate and filter cutoff frequency is "abnormal setting", reading acceleration sensor value or tilt angle sensor value responds with error code "0x64000000"

## 7.8 TILT Register (Window 0)

Addr (Hex)	Bit15	...	Bit0	R/W
0x3C	XTILT_HIGH			R
0x3E	XTILT_LOW			R
0x40	YTILT_HIGH			R
0x42	YTILT_LOW			R
0x44	ZTILT_HIGH			R
0x46	ZTILT_LOW			R

**bit[15:0] Tilt Sensor output data**

These registers contain the 3-axis Tilt angle data for X, Y, and Z.

Register: SIG\_CTRL [0x00 (W1)] The tilt angle is output only when the output mode selection OUTPUT\_SEL of bit [7: 5] is set to "tilt angle".

The output data format

Unit [ radian ]

32-bit two's complement format

bit31 : sign

bit30~29 : integer

bit28~0 : decimal

Note) When the combination of output rate and filter cutoff frequency is "abnormal setting", reading acceleration sensor value or tilt angle sensor value responds with error code "0x64000000"

## 7.9 SIG\_CTRL Register (Window 1)

Addr (Hex)	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	R/W
0x01	ND_EN (Temp)	-	-	-	ND_EN (XACCL)	ND_EN (YACCL)	ND_EN (ZACCL)	-	R/W

Addr (Hex)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	R/W
0x00	OUTPUT_SEL_X	OUTPUT_SEL_Y	OUTPUT_SEL_Z	LOWPWR_SEL	-	-	-	-	R/W

Note) ND\_EN setting is invalid in UART automatic mode.

**bit[15] ND\_EN (Temp)**

Enables or disables the temperature sensor ND flags in FLAG [0x06(W0)] bit [15:9].

1: Enable

0: Disable

**bit[11] ND\_EN (X Acceleration sensor)**

Enables or disables the X Acceleration sensor ND flags in FLAG [0x06(W0)] bit [11].

1: Enable

0: Disable

**bit[10] ND\_EN (Y Acceleration sensor)**

Enables or disables the Y Acceleration sensor ND flags in FLAG [0x06(W0)] bit [10].

1: Enable

0: Disable

**bit[9] ND\_EN (Z Acceleration sensor)**

Enables or disables the Z Acceleration sensor ND flags in FLAG [0x06(W0)] bit [9].

1: Enable

0: Disable

**bit[7] OUTPUT\_SEL\_X**

Sets the output mode on the X axis.

1: Tilt angle

0: Acceleration

**bit[6] OUTPUT\_SEL\_Y**

Sets the output mode on the Y axis.

1: Tilt angle

0: Acceleration

**bit[5] OUTPUT\_SEL\_Z**

Sets the output mode on the Z axis.

1: Tilt angle

0: Acceleration

**bit[4] LOWPWR\_SEL**

Enable / disable low consumption measurement mode.

1: Enable

0: Disable

When LOWPWR\_SEL is enabled, the device enters low consumption mode and sends after completing internal initialization after powered on or a reset.

Write a "1" to this LOWPWR\_SEL bit. Then execute FLASH\_BACKUP of GLOB\_CMD [0x0A(W1)] bit [3] to preserve the current register settings. Read the LOWPWR\_STAT of register: GLOB\_CMD[0x0A (W1)],bit[12] to check the current power mode.

### 7.10 MSC\_CTRL Register (Window 1)

Addr (Hex)	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	R/W
0x03	-	-	-	-	FLASH_TEST	ACC_TEST	TEMP_TEST	VDD_TEST	R/W

Addr (Hex)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	R/W
0x02	-	EXT_SEL	EXT_POL	-	-	DRDY_ON	DRDY_POL	-	R/W

Note): Although ACC\_TEST, TEMP\_TEST, and VDD\_TEST can be executed at the same time, FLASH\_TEST cannot be executed at the same time with other tests

When executing them in succession, confirm the execution of the previous command is finished by waiting until the bit changes from "1" to "0" and then execute the next command.

**bit[11] FLASH\_TEST**

Write "1" to execute the data consistency test for the non-volatile memory. The read value of the bit is "1" during the test and "0" after the test is completed. After writing "1" to this bit, wait until this bit goes back to "0" and then read the FLASH\_ERR of DIAG\_STAT [0x04(W0)] bit 2 to check the result.

**bit[10] ACC\_TEST**

Write "1" to execute the self test to check if the accelerometer is working properly. The read value of the bit is "1" during the test and "0" after the test is completed. After writing "1" to this bit, wait until this bit goes back to "0" and then read the ACC\_ERR\_ALL of DIAG\_STAT [0x04(W0)] bit [1] to check the results.

**bit[8] VDD\_TEST**

Write "1" to execute the self test to check if power supply voltage level is working properly. The read value of the bit is "1" during the test and "0" after the test is completed. After writing "1" to

this bit, wait until this bit goes back to “0” and then read the **VDD\_ERR** of **DIAG\_STAT** [0x04(W0)] bit [8] to check the results.

**bit[6] EXT\_SEL**

Select the function of the EXT terminal. To use the internal timer trigger, select “0”.

1: External trigger input is enabled

0: External trigger input is disabled (internal timer trigger is enabled)

**bit[5] EXT\_POL**

Selects the polarity of the External Counter Reset Input or External Trigger Input function.

1: Negative logic (falling edge)

0: Positive logic (rising edge)

**bit[2] DRDY\_ON**

Selects the function of the DRDY terminal, when set to “1”, Data Ready signal is output.

1: Data Ready Signal is enabled

0: Data Ready Signal is disabled

**bit[1] DRDY\_POL**

Selects the polarity of the Data Ready signal when selected in **DRDY\_ON** above.

1: Active High

0: Active Low

**7.11 SMPL\_CTRL Register (Window 1)**

Addr (Hex)	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	R/W
0x05	-	-	-	-	DOUT_RATE				R/W

Addr (Hex)	Bit7	...	Bit0	R/W
0x04	-			-

**bit[11:8] DOUT\_RATE**

Specifies the data output rate. To avoid aliasing, refer to Table 5.3 Measurable output rate and cutoff frequency combination for output rate setting.

0x0: Reserved

0x1: Reserved

0x2: 1,000Sps

0x3: 500Sps

0x4: 200Sps

0x5: 100Sps

0x6: 50Sps

0x7-F: not used

## 7.12 FILTER\_CTRL Register (Window 1)

Addr (Hex)	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	R/W
0x07	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Addr (Hex)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	R/W
0x06	-	-	FILTER_STAT	-	FILTER_SEL				R/W *1

\*1) Only FILTER\_STAT is read-only.

**bit[5] FILTER\_STAT**

This read-only status bit shows the status of the filter setting

1: Filter setting is busy

0: Filter setting is completed

**bit[3:0] FILTER\_SEL**

Specifies the type of filter, TAP setting and cutoff frequency.

For the FIR Kaiser filter, these bits also selects the cutoff frequency. When using user defined FIR filter, please program the filter coefficient data

0000: Reserved

0001: FIR Kaiser Filter TAP=64, fc=83

0010: FIR Kaiser Filter TAP=64, fc=220

0011: FIR Kaiser Filter TAP=128, fc=36

0100: FIR Kaiser Filter TAP=128, fc=110

0101: FIR Kaiser Filter TAP=128, fc=350

0110: FIR Kaiser Filter TAP=512, fc=9

0111: FIR Kaiser Filter TAP=512, fc=16

1000: FIR Kaiser Filter TAP=512, fc=60

1001: FIR Kaiser Filter TAP=512, fc=210

1010: FIR Kaiser Filter TAP=512, fc=460

1011: User Defined FIR Filter TAP=4

1100: User Defined FIR Filter TAP=64

1101: User Defined FIR Filter TAP=128

1110: User Defined FIR Filter TAP=512

1111: not used

After writing to this bit, FILTER\_STAT changes to 1 (during execution).

Confirm the completion of the filter setting process by confirming that the FILTER\_STAT bit returns to "0".

Note) For the combination of output rate and cutoff frequency considering avoidance of aliasing and transient response at sampling start, refer to 5.17.3 Notes on FIR filter.

Note) The factory settings are Tap: 512, Fc: 60 Hz, ODR: 200 Sps

## 7.13 UART\_CTRL Register (Window 1)

Addr (Hex)	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	R/W
0x09	-						BAUD_RATE		R/W

Addr (Hex)	Bit7	...	Bit2	Bit1	Bit0	R/W
0x08	-			AUTO_START	UART_AUTO	R/W

**bit[9:8] BAUD\_RATE**

Note) The baud rate change using these **BAUD\_RATE** bits become effective immediately after write access completes.

These bits specifies the Baud Rate of UART interface.

- 0: Reserved
- 1: 460.8kbps
- 2: 230.4kbps
- 3: 115.2kbps

**bit[1] AUTO\_START (Only valid for UART Auto Mode)**

Enables or disables the Auto Start function.

- 1: Automatic Start is enabled
- 0: Automatic Start is disabled

When Auto Start is enabled, the device enters sampling mode and sends sampling data automatically after completing internal initialization after powered on.

Write a "1" to this **AUTO\_START** bit and **UART\_AUTO** bit of this register to enable this function. Then execute **FLASH\_BACKUP** of GLOB\_CMD [0x0A(W1)] bit [3] to preserve the current register settings.

**bit[0] UART\_AUTO**

NOTE: This register bit must be set to 0 when using the SPI interface.

Enables or disables the UART Auto mode function.

- 1: UART automatic mode is selected
- 0: UART manual mode is selected

If UART automatic mode is active, register values such as FLAG, temperature, and accelerations (XACCL, YACCL, ZACCL) are continuously transmitted automatically according to the data output rate set by SMPL\_CTRL [0x04(W1)] register.

In UART manual mode, register data is transmitted as a response to a register read command.

Note) For more info on UART Auto Mode refer to 6.2.4 UART Auto Mode Operation and 6.3 Data Packet Format. The burst output data is configured by register setting in BURST\_CTRL [0x0C(W1)].

## 7.14 GLOB\_CMD Register (Window 1)

Addr (Hex)	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	R/W
0x0B	-	-	-	LOWPWR_STAT	-	NOT_READY	-	-	R

Addr (Hex)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	R/W
0x0A	SOFT_RST	-	-	-	FLASH_BACKUP	FLASH_RST	-	-	R/W

**bit[12] LOWPWR\_STAT**

This read-only status bit shows the status of the measurement operation.

1: Low power measurement mode

0: Normal measurement mode

**bit[10] NOT\_READY**

Indicates whether this product currently ready. Immediately after power on, this bit is "1" and becomes "0" when the product is ready. After the power on, wait until the Power-On Start-Up Time has elapsed and then wait until this bit becomes "0" before starting sensor measurement. This bit is read-only.

1: Not ready

0: Ready

**bit[7] SOFT\_RST**

Write "1" to execute software reset. After the software reset is completed, the bit automatically goes back to "0".

**bit[3] FLASH\_BACKUP**

Write "1" to save the current values of the control registers with the  $\bigcirc$  mark in the "Flash Backup" column of Table 7.1 to the non-volatile memory. After the execution is completed, the bit automatically goes back to "0". After confirming this bit goes back to "0" and then check the result in **FLASH\_BU\_ERR** of **DIAG\_STAT** [0x04(W0)] bit 0.

**bit[2] FLASH\_RST**

Write "1" to resets the setting value saved in the nonvolatile memory to the factory default state. After completion of execution, it will automatically return to "0".

## 7.15 BURST\_CTRL Register (Window 1)

Addr (Hex)	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	R/W
0x0D	FLAG_OUT	TEMP_OUT	-	-	-	ACCX_OUT	ACCY_OUT	ACCZ_OUT	R/W

Addr (Hex)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	R/W
0x0C	-	-	-	-	-	-	COUNT_OUT	CHKSM_OUT	R/W

These bits enable/disable the content in the output data for burst mode and UART Auto mode.

**bit[15] FLAG\_OUT**

Controls the output of FLAG status.

1: Enables output.

0: Disables output.

**bit[10] ACCX\_OUT**

Controls the output of X axis acceleration / tilt angle. The output mode is selected by OUTPUT\_SEL of register: SIG\_CTRL [0x00 (W1)], bit [7:5].

1: Enables output.

0: Disables output.

**bit[9] ACCY\_OUT**

Controls the output of Y axis acceleration / tilt angle. The output mode is selected by OUTPUT\_SEL of register: SIG\_CTRL [0x00 (W1)], bit [7:5].

1: Enables output.

0: Disables output.

**bit[8] ACCZ\_OUT**

Controls the output of Z axis acceleration / tilt angle. The output mode is selected by OUTPUT\_SEL of register: SIG\_CTRL [0x00 (W1)], bit [7:5].

1: Enables output.

0: Disables output.

**bit[1] COUNT\_OUT**

Controls the output of counter value.

1: Enables output.

0: Disables output.

**bit[0] CHKSM\_OUT**

Controls the output of checksum.

1: Enables output.

0: Disables output.

### 7.16 FIR\_UCMD Register (Window 1)

Addr (Hex)	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	R/W
0x17	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Addr (Hex)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	R/W
0x16	-	-	-	-	-	-	FIR_UCMD		R/W

**bit[1:0] FIR\_UCMD (FIR Filter User CoMmand)**

These bits set the control command for setting the coefficient data of the user defined FIR filter.

00: execution complete	WRITE
01: reading in progress	do not execute
10: writing in progress	read
11: not used	write
	not used



## 7.17 FIR\_UDATA Register (Window 1)

Addr (Hex)	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	R/W
0x19	DATA_ERR	-	-	-	-	-	-	-	R

Addr (Hex)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	R/W
0x18	FIR_UDATA								R/W

**bit[15] DATA\_ERR**

This bit shows the state of the read error on the coefficient data of the user defined FIR filter.

1: Read error

0: Normal operation

**bit[7:0] FIR\_UDATA(FIR Filter User DATA)**

Set the coefficient data (binary) of the user defined FIR filter.

## 7.18 FIR\_UADDR Register (Window 1)

Addr (Hex)	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	R/W
0x1B	FIR_UADDR_HIGH								R/W

Addr (Hex)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	R/W
0x1A	FIR_UADDR_LOW								R/W

**bit[15:8] FIR\_UADDR\_HIGH**

Upper address of the coefficient data of the user FIR filter.

**bit[7:0] FIR\_UADDR\_LOW**

Lower address of the coefficient data of the user FIR filter.

Note) This address is automatically incremented after the read / write command is executed.

Note) The setting range is from 0x0800 to 0x0FFF. It cannot be set outside the range.

## 7.19 LONGFILT\_CTRL Register (Window 1)

Addr (Hex)	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	R/W
0x1D	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Addr (Hex)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	R/W
0x1C	-	-	-	-	-	-	FILT_SEL	FILT_EN	R/W <sup>1</sup>

**bit[1]    FILT\_SEL**

This bit selects the type of long period filter.

1: HPF

0: LPF

**bit[0]    FILT\_EN**

This bit enable / disable long-period filter.

1: Enable

0: Disable

## 7.20 LONGFILT\_TAP Register (Window 1)

Addr (Hex)	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	R/W
0x1F	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Addr (Hex)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	R/W
0x1E	-	-	-	-	TAP_SIZE				R/W

**bit[3:0]    TAP\_SIZE\_LOW**

These bits set the tap size of the long period filter.

0001: tap2

0010: tap4

0011: tap8

0100: tap16

0101: tap32

0110: tap64

0111: tap128

1000: tap256

1001: tap512

1010: tap1024

1011: tap2048

1100: tap4096

1101~1111: not used

## 7.21 XA\_OFFSET Register (Window 1)

Addr (Hex)	Bit15	...	Bit8	R/W
0x2D	XOFFSET_HIGH_H			R/W

Addr (Hex)	Bit7	...	Bit0	R/W
0x2C	XOFFSET_HIGH_L			R/W

**bit[15:0] XOFFSET\_HIGH**

Sets the X-axis acceleration offset value upper word.

Addr (Hex)	Bit15	...	Bit8	R/W
0x2F	XOFFSET_LOW_H			R/W

Addr (Hex)	Bit7	...	Bit0	R/W
0x2E	XOFFSET_LOW_L			R/W

**bit[15:0] XOFFSET\_LOW**

Sets the X-axis acceleration offset value lower word.

## 7.22 YA\_OFFSET Register (Window 1)

Addr (Hex)	Bit15	...	Bit8	R/W
0x31	YOFFSET_HIGH_H			R/W

Addr (Hex)	Bit7	...	Bit0	R/W
0x30	YOFFSET_HIGH_L			R/W

**bit[15:0] YOFFSET\_HIGH**

Sets the Y-axis acceleration offset value upper word.

Addr (Hex)	Bit15	...	Bit8	R/W
0x33	YOFFSET_LOW_H			R/W

Addr (Hex)	Bit7	...	Bit0	R/W
0x32	YOFFSET_LOW_L			R/W

**bit[15:0] YOFFSET\_LOW**

Sets the Y-axis acceleration offset value lower word.

## 7.23 ZA\_OFFSET Register (Window 1)

Addr (Hex)	Bit15	...	Bit8	R/W
0x35	ZOFFSET_HIGH_H			R/W

Addr (Hex)	Bit7	...	Bit0	R/W
0x34	ZOFFSET_HIGH_L			R/W

**bit[15:0] ZOFFSET\_HIGH**

Sets the Z-axis acceleration offset value upper word.

Addr (Hex)	Bit15	...	Bit8	R/W
0x37	ZOFFSET_LOW_H			R/W

Addr (Hex)	Bit7	...	Bit0	R/W
0x36	ZOFFSET_LOW_L			R/W

**bit[15:0] ZOFFSET\_LOW**

Sets the Z-axis acceleration offset value upper word.

## 7.24 XA\_ALARM Register (Window 1)

Addr (Hex)	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	R/W
0x47	XALARM_UP								R/W

Addr (Hex)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	R/W
0x46	XALARM_LO								R/W

**bit[15:8] XALARM\_UP**

Sets the acceleration upper limit value to be determined by XALARM\_ERR of register:FLAG [0x06 (W0)], bit [4].

Data format : 8bit, two's complement format

Setting Unit : G

Setting range : -15 to +15 (can not be set to a value outside the range)

**bit[7:0] XALARM\_LO**

Sets the acceleration lower limit value to be determined by XALARM\_ERR of register:FLAG [0x06 (W0)], bit [4]

The setting specification is the same as XALARM\_UP

## 7.25 YA\_ALARM Register (Window 1)

Addr (Hex)	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	R/W
0x49	YALARM_UP								R/W

Addr (Hex)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	R/W
0x48	YALARM_LO								R/W

**bit[15:8] YALARM\_UP**

Sets the acceleration upper limit value to be determined by YALARM\_ERR of register:FLAG [0x06 (W0)], bit [3]

Data format : 8bit, two's complement format

Setting Unit : G

Setting range : -15 to +15 (can not be set to a value outside the range)

**bit[7:0] YALARM\_LO**

Sets the acceleration lower limit value to be determined by XALARM\_ERR of register:FLAG [0x06 (W0)], bit [3]

The setting specification is the same as YALARM\_UP

## 7.26 ZA\_ALARM Register (Window 1)

Addr (Hex)	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	R/W
0x4B	ZALARM_UP								R/W

Addr (Hex)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	R/W
0x4A	ZALARM_LO								R/W

**bit[15:8] ZALARM\_UP**

Sets the acceleration upper limit value to be determined by YALARM\_ERR of register:FLAG [0x06 (W0)], bit [2]

Data format : 8bit, two's complement format

Setting Unit : G

Setting range : -15 to +15 (can not be set to a value outside the range)

**bit[7:0] ZALARM\_LO**

Sets the acceleration lower limit value to be determined by XALARM\_ERR of register:FLAG [0x06 (W0)], bit [2]

The setting specification is the same as ZALARM\_UP

## 7.27 PROD\_ID Register (Window 1)

Addr (Hex)	Bit15	...	Bit0	R/W
0x6A	PROD_ID1			R
0x6C	PROD_ID2			R
0x6E	PROD_ID3			R
0x70	PROD_ID4			R

**bit[15:0] Product ID**

Note) These registers return the product model number represented in ASCII code.

Product ID return value is A352AD10

PROD\_ID1: 0x3341

PROD\_ID2: 0x3235

PROD\_ID3: 0x4441

PROD\_ID4: 0x3031

## 7.28 VERSION Register (Window 1)

Addr (Hex)	Bit15	...	Bit0	R/W
0x72	VERSION			R

**bit[15:0] Version**

This register returns the Firmware Version

## 7.29 SERIAL\_NUM Register (Window 1)

Addr (Hex)	Bit15	...	Bit0	R/W
0x74	SERIAL_NUM1			R
0x76	SERIAL_NUM2			R
0x78	SERIAL_NUM3			R
0x7A	SERIAL_NUM4			R

**bit[15:0] Serial Number**

Note) These registers return the serial number represented in ASCII code.

For example, if the Serial Number is 01234567 then the return value is:

SERIAL\_NUM1: 0x3130

SERIAL\_NUM2: 0x3332

SERIAL\_NUM3: 0x3534

SERIAL\_NUM4: 0x3736

## 7.30 WIN\_CTRL Register (Window 0,1)

Addr (Hex)	Bit15	...	Bit8	R/W
0x7F				-

Addr (Hex)	Bit7	...	Bit0	R/W
0x7E	WINDOW_ID			R/W

**bit[7:0] WINDOW\_ID**

Selects the desired register window by writing the window number to this register.

0x00 :Window 0

0x01 :Window 1

0x02-0xFF: Unused

## 8. Sample Program Sequence

The following describes the recommended procedures for operating this device.

### 8.1 SPI Sequence

#### 8.1.1 Power-on sequence (SPI)

Power-on sequence is as follows.

(a) Power-on.

(b) Wait Power-On Start-Up Time.

(c) Wait until NOT\_READY bit goes to 0. NOT\_READY is GLOB\_CMD[0x0A(W1)]'s bit[10].

```
TXdata={0xFE01}/ RXdata={0x----}.          /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=1) */
```

```
TXdata={0x0A00}/ RXdata={0x----}.          /* GLOB_CMD read command */
```

```
TXdata={0x----}/ RXdata={GLOB_CMD}.        /* get response */
```

Confirm NOT\_READY bit.

When NOT\_READY becomes 0, it ends. Otherwise, please repeat (c).

(d) Confirm HARD\_ERR bits. HARD\_ERR is DIAG\_STAT[0x04(W0)]'s bit[7:5].

```
TXdata={0xFE00}/ RXdata={0x----}.          /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=0) */
```

```
TXdata={0x0400}/ RXdata={0x----}.          /* DIAG_STAT read command */
```

```
TXdata={0x----}/ RXdata={DIAG_STAT}.       /* get response */
```

Confirm HARD\_ERR is 000.

If HARD\_ERR is 000, the Accelerometer is OK. Otherwise, the Accelerometer is faulty.

-.don't care

#### 8.1.2 Register read and write (SPI)

[Read Example]

To read a 16bit-data from a register(addr=0x02 / WINDOW=0).

```
TXdata={0xFE00}/ RXdata={0x----}.          /* WINDOW_ID write command.(WINDOW=0) */
```

```
TXdata={0x0200}/ RXdata={0x----}.          /* MODE_CTRL read command */
```

```
TXdata={0x----}/ RXdata={0x0400}.          /* get response*/
```

-.don't care

0x04 in high byte of RXdata is Configuration mode.

0x00 in low byte of RXdata is Reserved.

Please note that read data unit is 16bit, and Most Significant Bit first in 16bit SPI.

[Write Example]

To write a 8bit-data into a register(addr=0x03 / WINDOW=0).

```
TXdata={0xFE00}/ RXdata={0x----}.          /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=0) */
```

```
TXdata={0x8301}/ RXdata={0x----}.          /* MODE_CTRL(H) write command.(move to Sampling mode) */
```

There is no response at Write.

-.don't care

By sending this command, the Accelerometer moves to Sampling mode.

Please note that write data unit is 8bit.



### 8.1.3 Sampling data (SPI)

[Sample Flow 1 (SPI normal mode)]

Power-on sequence. Please refer to Chapter 8.1.1.

Filter setting sequence. Please refer to Chapter 8.1.8.

```
TXdata={0xFE01}/ RXdata={0x----}. /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=1) */
TXdata={0x8504}/ RXdata={0x----}. /* SMPL_CTRL(H) write command.(200Sps) */
TXdata={0x8800}/ RXdata={0x----}. /* UART_CTRL(L) write command.(disable UART auto mode) */
TXdata={0xFE00}/ RXdata={0x----}. /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=0) */
TXdata={0x8301}/ RXdata={0x----}. /* MODE_CTRL(H) write command.(move to Sampling mode) */
```

receive sampling data.

(a) Wait until Data Ready signal is asserted.

(b)

```
TXdata={0x0E00}/ RXdata={----}. /* TEMP_HIGH read command */
TXdata={0x1000}/ RXdata={TEMP_HIGH}. /* TEMP_LOW read command */
TXdata={0x3000}/ RXdata={TEMP_LOW}. /* XACCL_HIGH read command */
TXdata={0x3200}/ RXdata={XACCL_HIGH}. /* XACCL_LOW read command */
TXdata={0x3400}/ RXdata={XACCL_LOW}. /* YACCL_HIGH read command */
TXdata={0x3600}/ RXdata={YACCL_HIGH}. /* YACCL_LOW read command */
TXdata={0x3800}/ RXdata={YACCL_LOW}. /* ZACCL_HIGH read command */
TXdata={0x3A00}/ RXdata={ZACCL_HIGH}. /* ZACCL_LOW read command */
TXdata={0x0A00}/ RXdata={ZACCL_LOW}. /* COUNT read command */
TXdata={0x----}/ RXdata={COUNT}.
```

repeat from (a) to (b).

```
TXdata={0x8302}/ RXdata={0x----}. /* MODE_CTRL(H) write command.(return to Configuration mode) */
-:don't care
```

Note) Please remember to wait until Data Ready signal is asserted.

-----  
[Sample Flow 2 (SPI burst mode)]

Power-on sequence. Please refer to Chapter 8.1.1.

Filter setting sequence. Please refer to Chapter 8.1.8.

```
TXdata={0xFE01}/ RXdata={0x----}. /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=1) */
TXdata={0x8504}/ RXdata={0x----}. /* SMPL_CTRL(H) write command.(200Sps) */
TXdata={0x8800}/ RXdata={0x----}. /* UART_CTRL(L) write command.(disable UART auto mode) */
TXdata={0x8C02}/ RXdata={0x----}. /* BURST_CTRL(L) write command.(COUNT=on) */
TXdata={0x8D47}/ RXdata={0x----}. /* BURST_CTRL(H) write command.(TEMP=on, ACC_XYZ=on) */
TXdata={0xFE00}/ RXdata={0x----}. /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=0) */
TXdata={0x8301}/ RXdata={0x----}. /* MODE_CTRL(H) write command.(move to Sampling mode) */
```

receive sampling data.

(a) Wait until Data Ready signal is asserted.

(b)

```
TXdata={0x8000}/ RXdata={0x----}. /* BURST(L) write command */
TXdata={0x----}/ RXdata={TEMP_HIGH}.
TXdata={0x----}/ RXdata={TEMP_LOW}.
TXdata={0x----}/ RXdata={XACCL_HIGH}.
TXdata={0x----}/ RXdata={XACCL_LOW}.
TXdata={0x----}/ RXdata={YACCL_HIGH}.
TXdata={0x----}/ RXdata={YACCL_LOW}.
TXdata={0x----}/ RXdata={ZACCL_HIGH}.
TXdata={0x----}/ RXdata={ZACCL_LOW}.
TXdata={0x----}/ RXdata={COUNT}.
```

repeat from (a) to (b).

```
TXdata={0x8302}/ RXdata={0x----}. /* MODE_CTRL(H) write command.(return to Configuration mode) */
-:don't care
```

Note) Please remember to wait until Data Ready signal is asserted.

**8.1.4 Selftest (SPI)**

Selftest is as follows.

Power-on sequence. Please refer to Chapter 8.1.1.

(a) Send self test command.

```
TXdata={0xFE01}/ RXdata={0x----}.          /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=1) */
TXdata={0x8304}/ RXdata={0x----}.          /* MSC_CTRL(H) write command.(Acc Test) */
```

(b) Wait until selftest has finished.

Wait until ACC\_TEST bit goes to 0. ACC\_TEST is MSC\_CTRL[0x02(W1)]'s bit[10].

```
TXdata={0x0200}/ RXdata={0x----}.          /* MSC_CTRL read command */
TXdata={0x----}/ RXdata={MSC_CTRL}.        /* get response */
```

Confirm ACC\_TEST bit.

When ACC\_TEST becomes 0, it ends. Otherwise , please repeat (b).

(c) Confirm the result.

Confirm ACC\_ERR bits. ACC\_ERR is DIAG\_STAT[0x04(W0)]'s bit[14:11].

```
TXdata={0xFE00}/ RXdata={0x----}.          /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=0) */
TXdata={0x0400}/ RXdata={0x----}.          /* DIAG_STAT read command */
TXdata={0x----}/ RXdata={DIAG_STAT}.        /* get response */
```

Confirm each ACC\_ERR is 0.

If each ACC\_ERR is 0, the result is OK. Otherwise, the result is NG.

-.don't care

**8.1.5 Software Reset (SPI)**

Software reset is as follows.

Power-on sequence. Please refer to Chapter 8.1.1.

(a) Send software reset command.

```
TXdata={0xFE01}/ RXdata={0x----}.          /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=1) */
TXdata={0x8A80}/ RXdata={0x----}.          /* GLOB_CMD(L) write command.(Software reset) */
```

(b) Wait Power-On Start-Up Time.

-.don't care

**8.1.6 Flash Test (SPI)**

Flash test is as follows.

Power-on sequence. Please refer to Chapter 8.1.1.

(a) Send flash test command.

```
TXdata={0xFE01}/ RXdata={0x----}.          /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=1) */
TXdata={0x8308}/ RXdata={0x----}.          /* MSC_CTRL(H) write command.(Flash Test) */
```

(b) Wait until flash test has finished.

Wait until FLASH\_TEST bit goes to 0. FLASH\_TEST is MSC\_CTRL[0x02(W1)]'s bit[11].

```
TXdata={0x0200}/ RXdata={0x----}.          /* MSC_CTRL read command */
TXdata={0x----}/ RXdata={MSC_CTRL}.        /* get response */
```

Confirm FLASH\_TEST bit.

When FLASH\_TEST becomes 0, it ends. Otherwise , please repeat (b).

(c) Confirm the result.

Confirm FLASH\_ERR bits. FLASH\_ERR is DIAG\_STAT[0x04(W0)]'s bit[2].

```
TXdata={0xFE00}/ RXdata={0x----}.          /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=0) */
TXdata={0x0400}/ RXdata={0x----}.          /* DIAG_STAT read command */
TXdata={0x----}/ RXdata={DIAG_STAT}.        /* get response */
```

Confirm FLASH\_ERR is 0.

If FLASH\_ERR is 0, the result is OK. Otherwise, the result is NG.

-.don't care

### 8.1.7 Flash Backup (SPI)

Flash backup is as follows.

Power-on sequence. Please refer to Chapter 8.1.1.

(a) Send flash backup command.

```
TXdata={0xFE01}/ RXdata={0x----}.          /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=1) */
TXdata={0x8A08}/ RXdata={0x----}.          /* GLOB_CMD(L) write command.(Flash backup) */
```

(b) Wait until flash backup has finished.

Wait until FLASH\_BACKUP bit goes to 0. FLASH\_BACKUP is GLOB\_CMD[0x0A(W1)]'s bit[3].

```
TXdata={0x0A00}/ RXdata={0x----}.          /* GLOB_CMD read command */
TXdata={0x----}/ RXdata={GLOB_CMD}.        /* get response */
```

Confirm FLASH\_BACKUP bit.

When FLASH\_BACKUP becomes 0, it ends. Otherwise, please repeat (b).

(c) Confirm the result.

```
TXdata={0xFE00}/ RXdata={0x----}.          /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=0) */
```

Confirm FLASH\_BU\_ERR bits. FLASH\_BU\_ERR is DIAG\_STAT[0x04(W0)]'s bit[0].

```
TXdata={0x0400}/ RXdata={0x----}.          /* DIAG_STAT read command */
TXdata={0x----}/ RXdata={DIAG_STAT}.        /* get response */
```

Confirm FLASH\_BU\_ERR is 0.

If FLASH\_BU\_ERR is 0, the result is OK. Otherwise, the result is NG.

-:don't care

### 8.1.8 Filter setting (SPI)

Filter setting is as follows.

Power-on sequence. Please refer to Chapter 8.1.1.

(a) Send filter setting command for FIR kaiser filter (TAP512, fc60).

```
TXdata={0xFE01}/ RXdata={0x----}.          /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=1) */
TXdata={0x8608}/ RXdata={0x----}.          /* FILTER_CTRL(L) write command.(Filter setting) */
```

(b) Wait until filter setting has finished.

Wait until FILTER\_STAT bit goes to 0. FILTER\_STAT is FILTER\_CTRL[0x06(W1)]'s bit[5].

```
TXdata={0x0600}/ RXdata={0x----}.          /* FILTER_CTRL read command */
TXdata={0x----}/ RXdata={FILTER_CTRL}.     /* get response */
```

Confirm FILTER\_STAT bit.

When FILTER\_STAT becomes 0, it ends. Otherwise, please repeat (b).

## 8.2 UART Sequence

### 8.2.1 Power-on sequence (UART)

Power-on sequence is as follows.

(a) power-on.

(b) Wait Power-On Start-Up Time.

(c) Wait until NOT\_READY bit goes to 0. NOT\_READY is GLOB\_CMD[0x0A(W1)]'s bit[10].

```
TXdata={0xFE,0x01,0x0d}.                  /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=1) */
TXdata={0x0A,0x00,0x0d}.                  /* GLOB_CMD read command */
TXdata={0x0A,MSByte,LSByte,0x0d}.         /* get response */
```

Confirm NOT\_READY bit.

When NOT\_READY becomes 0, it ends. Otherwise, please repeat (c).

(d) Confirm HARD\_ERR bits. HARD\_ERR is DIAG\_STAT[0x04(W0)]'s bit[7:5].

```
TXdata={0xFE,0x00,0x0d}.                  /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=0) */
TXdata={0x04,0x00,0x0d}.                  /* DIAG_STAT read command */
TXdata={0x04,MSByte,LSByte,0x0d}.         /* get response */
```

Confirm HARD\_ERR is 000.

If HARD\_ERR is 000, the Accelerometer is OK. Otherwise, the Accelerometer is faulty.

### 8.2.2 Register read and write (UART)

#### [Read Example]

To read a 16bit-data from a register(addr=0x02 / WINDOW=0).

```
TXdata={0xFE,0x00,0x0d}.          /* WINDOW_ID write command.(WINDOW=0) */
TXdata={0x02,0x00,0x0d}.          /* MODE_CTRL read command */
RXdata={0x02,0x04,0x00,0x0d}      /* get response*/
```

0x04 in 2nd byte of RXdata is Configuration mode.

0x00 in 3rd byte of RXdata is Reserved.

Please note that read data unit is 16bit, and Most Significant Byte first.

#### [Write Example]

To write a 8bit-data into a register(addr=0x03 / WINDOW=0).

```
TXdata={0xFE,0x00,0x0d}.          /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=0) */
TXdata={0x83,0x01,0x0d}.          /* MODE_CTRL(H) write command.(move to Sampling mode) */
```

There is no response at Write.

By sending this command, the Accelerometer moves to Sampling mode.

Please note that write data unit is 8bit.

### 8.2.3 Sampling data (UART)

#### [Sample Flow 1 (UART auto mode)]

Power-on sequence. Please refer to Chapter 8.2.1.

Filter setting sequence. Please refer to Chapter 8.2.8.

```
TXdata={0xFE,0x01,0x0d}.          /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=1) */
TXdata={0x85,0x04,0x0d}.          /* SMPL_CTRL(H) write command.(200Sps) */
TXdata={0x88,0x01,0x0d}.          /* UART_CTRL(L) write command.(UART Auto mode) */
TXdata={0x8C,0x02,0x0d}.          /* BURST_CTRL(L) write command.(COUNT=on) */
TXdata={0x8D,0x47,0x0d}.          /* BURST_CTRL(H) write command.(TEMP=on, ACC_XYZ=on) */
TXdata={0xFE,0x00,0x0d}.          /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=0) */
TXdata={0x83,0x01,0x0d}.          /* MODE_CTRL(H) write command.(move to Sampling mode) */
```

receive sampling data.

```
(a)RXdata={0x80, TEMP_HIGH_Hi, TEMP_HIGH_Lo, TEMP_LOW_Hi, TEMP_LOW_Lo,
XACCL_HIGH_Hi, XACCL_HIGH_Lo, XACCL_LOW_Hi, XACCL_LOW_Lo,
YACCL_HIGH_Hi, YACCL_HIGH_Lo, YACCL_LOW_Hi, YACCL_LOW_Lo,
ZACCL_HIGH_Hi, ZACCL_HIGH_Lo, ZACCL_LOW_Hi, ZACCL_LOW_Lo,
COUNT_Hi, COUNT_Lo, 0x0d}
```

repeat (a).

```
TXdata={0x83,0x02,0x0d}.          /* MODE_CTRL(H) write command.(return to Configuration mode) */
```

#### [Sample Flow 2(UART burst mode)]

Power-on sequence. Please refer to Chapter 8.2.1.

Filter setting sequence. Please refer to Chapter 8.2.8.

```
TXdata={0xFE,0x01,0x0d}.          /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=1) */
TXdata={0x85,0x04,0x0d}.          /* SMPL_CTRL(H) write command.(200Sps) */
TXdata={0x88,0x00,0x0d}.          /* UART_CTRL(L) write command.(UART Manual mode) */
TXdata={0x8C,0x02,0x0d}.          /* BURST_CTRL(L) write command.(COUNT=on) */
TXdata={0x8D,0x47,0x0d}.          /* BURST_CTRL(H) write command.(TEMP=on, ACC_XYZ=on) */
TXdata={0xFE,0x00,0x0d}.          /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=0) */
TXdata={0x83,0x01,0x0d}.          /* MODE_CTRL(H) write command.(move to Sampling mode) */
```

receive sampling data.

(a)Wait until Data Ready signal is asserted.

```
(b)TXdata={0x80,0x00,0x0d}.          /* BURST(L) write command */
```

```
(c)RXdata={0x80, TEMP_HIGH_Hi, TEMP_HIGH_Lo, TEMP_LOW_Hi, TEMP_LOW_Lo,
```

```
XACCL_HIGH_Hi, XACCL_HIGH_Lo, XACCL_LOW_Hi, XACCL_LOW_Lo,
YACCL_HIGH_Hi, YACCL_HIGH_Lo, YACCL_LOW_Hi, YACCL_LOW_Lo,
ZACCL_HIGH_Hi, ZACCL_HIGH_Lo, ZACCL_LOW_Hi, ZACCL_LOW_Lo,
COUNT_Hi, COUNT_Lo, 0x0d}
```

repeat from (a) to (c).

```
TXdata={0x83,0x02,0x0d}.          /* MODE_CTRL(H) write command.(return to Configuration mode)
*/
```

Note) Please remember to wait until Data Ready signal is asserted.

[Notes]

Please note that read data unit is 16bit, and Most Significant Byte first.

Please note that write data unit is 8bit.

X ACCL\_HIGH\_Hi: means MSByte of ACCL\_HIGH data

X ACCL\_HIGH\_Lo: means LSByte of ACCL\_HIGH data

### 8.2.4 Selftest (UART)

Selftest is as follows.

Power-on sequence. Please refer to Chapter 8.2.1.

(a) Send self test command.

```
TXdata={0xFE,0x01,0x0d}.          /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=1) */
```

```
TXdata={0x83,0x04,0x0d}.          /* MSC_CTRL(H) write command.(Acc Test) */
```

(b) Wait until selftest has finished.

Wait until ACC\_TEST bit goes to 0. ACC\_TEST is MSC\_CTRL[0x02(W1)]'s bit[10].

```
TXdata={0x02,0x00,0x0d}.          /* MSC_CTRL read command */
```

```
RXdata={0x02,MSByte,LSByte,0x0d}. /* get response */
```

Confirm ACC\_TEST bit.

When ACC\_TEST becomes 0, it ends. Otherwise, please repeat (b).

(c) Confirm the result.

Confirm ACC\_ERR bits. ACC\_ERR is DIAG\_STAT[0x04(W0)]'s bit[14:11].

```
TXdata={0xFE,0x00,0x0d}.          /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=0) */
```

```
TXdata={0x04,0x00,0x0d}.          /* DIAG_STAT read command */
```

```
RXdata={0x04,MSByte,LSByte,0x0d}. /* get response */
```

Confirm each ACC\_ERR is 0.

If each ACC\_ERR is 0, the result is OK. Otherwise, the result is NG.

### 8.2.5 Software Reset (UART)

Software reset is as follows.

Power-on sequence. Please refer to Chapter 8.2.1.

(a) Send software reset command.

```
TXdata={0xFE,0x01,0x0d}.          /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=1) */
```

```
TXdata={0x8A,0x80,0x0d}.          /* GLOB_CMD(L) write command.(Software reset) */
```

(b) Wait Power-On Start-Up Time.

### 8.2.6 Flash Test (UART)

Flash test is as follows.

Power-on sequence. Please refer to Chapter 8.2.1.

(a) Send flash test command.

```
TXdata={0xFE,0x01,0x0d}.          /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=1) */
```

```
TXdata={0x83,0x08,0x0d}.          /* MSC_CTRL(H) write command.(Flash Test) */
```

(b) Wait until flash test has finished.

Wait until FLASH\_TEST bit goes to 0. FLASH\_TEST is MSC\_CTRL[0x02(W1)]'s bit[11].

TXdata={0x02,0x00,0x0d}. /\* MSC\_CTRL read command \*/

RXdata={0x02,MSByte,LSByte,0x0d}. /\* get response \*/

Confirm FLASH\_TEST bit.

When FLASH\_TEST becomes 0, it ends. Otherwise, please repeat (b).

(c) Confirm the result.

Confirm FLASH\_ERR bits. FLASH\_ERR is DIAG\_STAT[0x04(W0)]'s bit[2].

TXdata={0xFE,0x00,0x0d}. /\* WINDOW\_ID(L) write command.(WINDOW=0) \*/

TXdata={0x04,0x00,0x0d}. /\* DIAG\_STAT read command \*/

RXdata={0x04,MSByte,LSByte,0x0d}. /\* get response \*/

Confirm FLASH\_ERR is 0.

If FLASH\_ERR is 0, the result is OK. Otherwise, the result is NG.

### 8.2.7 Flash Backup (UART)

Flash backup is as follows.

Power-on sequence. Please refer to Chapter 8.2.1.

(a) Send flash backup command.

TXdata={0xFE,0x01,0x0d}. /\* WINDOW\_ID(L) write command.(WINDOW=1) \*/

TXdata={0x8A,0x08,0x0d}. /\* GLOB\_CMD(L) write command.(Flash backup) \*/

(b) Wait until flash backup has finished.

Wait until FLASH\_BACKUP bit goes to 0. FLASH\_BACKUP is GLOB\_CMD[0x0A(W1)]'s bit[3].

TXdata={0x0A,0x00,0x0d}. /\* GLOB\_CMD read command \*/

RXdata={0x0A,MSByte,LSByte,0x0d}. /\* get response \*/

Confirm FLASH\_BACKUP bit.

When FLASH\_BACKUP becomes 0, it ends. Otherwise, please repeat (b).

(c) Confirm the result.

Confirm FLASH\_BU\_ERR bits. FLASH\_BU\_ERR is DIAG\_STAT[0x04(W0)]'s bit[0].

TXdata={0xFE,0x00,0x0d}. /\* WINDOW\_ID(L) write command.(WINDOW=0) \*/

TXdata={0x04,0x00,0x0d}. /\* DIAG\_STAT read command \*/

RXdata={0x04,MSByte,LSByte,0x0d}. /\* get response \*/

Confirm FLASH\_BU\_ERR is 0.

If FLASH\_BU\_ERR is 0, the result is OK. Otherwise, the result is NG.

### 8.2.8 Filter setting (UART)

Filter setting is as follows.

Power-on sequence. Please refer to Chapter 8.2.1.

(a) Send filter setting command for FIR kaiser filter (TAP512, fc60).

TXdata={0xFE,0x01,0x0d}. /\* WINDOW\_ID(L) write command.(WINDOW=1) \*/

TXdata={0x86,0x08,0x0d}. /\* FILTER\_CTRL(L) write command.(Filter setting) \*/

(b) Wait until filter setting has finished.

Wait until FILTER\_STAT bit goes to 0. FILTER\_STAT is FILTER\_CTRL[0x06(W1)]'s bit[5].

TXdata={0x06,0x00,0x0d}. /\* FILTER\_CTRL read command \*/

RXdata={0x06,MSByte,LSByte,0x0d}. /\* get response \*/

Confirm FILTER\_STAT bit.

When FILTER\_STAT becomes 0, it ends. Otherwise, please repeat (b).

### 8.2.9 Auto Start (UART only)

Auto Start is as follows.

Power-on sequence. Please refer to Chapter 8.2.1.

(a) Set registers.

```
TXdata={0xFE,0x01,0x0d}.      /* WINDOW_ID(L) write command.(WINDOW=1) */
TXdata={0x85,0x04,0x0d}.      /* SMPL_CTRL(H) write command.(200Sps) */
TXdata={0x86,0x08,0x0d}.      /* FILTER_CTRL(L) write command.(Filter setting TAP=512 fc60) */
TXdata={0x88,0x03,0x0d}.      /* UART_CTRL(L) write command.(UART Auto mode, Auto
start=on) */
TXdata={0x8C,0x02,0x0d}.      /* BURST_CTRL(L) write command.(COUNT=on) */
TXdata={0x8D,0x47,0x0d}.      /* BURST_CTRL(H) write command.(TEMP=on, ACC_XYZ=on) */
```

(b) Execute Flash backup. Please refer to Chapter 8.2.7.

(c) power-off.

(d) power-on.

(e) Wait Power-On Start-Up Time.

(f) receive sampling data.

(i) Wait until Data Ready signal is asserted.

```
(ii) RXdata={0x80, TEMP_HIGH_Hi, TEMP_HIGH_Lo, TEMP_LOW_Hi, TEMP_LOW_Lo,
XACCL_HIGH_Hi, XACCL_HIGH_Lo, XACCL_LOW_Hi, XACCL_LOW_Lo,
YACCL_HIGH_Hi, YACCL_HIGH_Lo, YACCL_LOW_Hi, YACCL_LOW_Lo,
ZACCL_HIGH_Hi, ZACCL_HIGH_Lo, ZACCL_LOW_Hi, ZACCL_LOW_Lo,
COUNT_Hi, COUNT_Lo, 0x0d}
```

repeat from (i) to (ii).

(g) If you want to stop sampling,

```
TXdata={0x83,0x02,0x0d}.      /* MODE_CTRL(H) write command.(return to Configuration mode) */
```

---

## 9. Handling Notes

### 9.1 Cautions for use

- When you attach the product to a housing, equipment, jig, or tool, make sure you attach it properly so that no mechanical stress is added to create a distortion such as a warp or twist. In addition, tighten the screws firmly but not too firmly because the mount of the product may break. Use screw locking techniques as necessary.
- When you set up the product, make sure the equipment, jigs, tools, and workers maintain a good ground in order not to generate high voltage leakage. If you add overcurrent or static electricity to the product, the product may be damaged permanently.
- When you install the product, make sure metallic or other conductors do not enter the product. Otherwise, malfunction or damage of the product may result.
- If excessive shock is added to the product when, for example, the product falls, the quality of the product may be degraded. Make sure the product does not fall when you handle it.
- Before you start using the product, test it in the actual equipment under the actual operating environment.
- Since the product has capacitors inside, inrush current will occur during power-on. Evaluate in the actual environment in order to check the effect of the supply voltage drop by inrush current in the system.
- If water enters the product, malfunction or damage of the product may result. If the product can be exposed to water, the system must have a waterproof structure. We do not guarantee the operation of the product when the product is exposed to condensation, dust, oil, corrosive gas (salt, acid, alkaline, or the like), or direct sunlight.
- This product is not designed to be radiation resistant.
- Never use this product if the operating condition is over the absolute maximum rating. If you do, the characteristics of the product may never recover.
- If the product is exposed to excessive exogenous noise or the like, degradation of the precision, malfunction, or damage of the product may result. The system needs to be designed so that the noise itself is suppressed or the system is immune to the noise.
- Mechanical vibration or shock, continuous mechanical stress, rapid temperature change, or the like may cause cracks or disconnections at the various connecting parts.
- Take sufficient safety measure for the equipment this product is built into.
- This product is not intended for general use by the consumer but instead for engineering design. For the customer, please consider it safely with the proper use.
- This product is not designed to be used in the equipment that demands extremely high reliability and where its failure may threaten human life or property (for example, aerospace equipment, submarine repeater, nuclear power control equipment, life support equipment, medical equipment, transportation control equipment, etc.). Therefore, Seiko Epson Corporation will not be liable for any damages caused by the use of the product for those applications.
- Do not alter or disassemble the product.

### 9.2 Cautions for storage

- Do not add shock or vibration to the packing box. Do not spill water over the packing box. Do not store or use the product in the environment where dew condensation occurs due to rapid temperature change.
- To suppress the characteristic change by prolonged storage, it is recommended to maintain the environment at normal temperature and normal humidity. Normal temperature: +5 ~ +35 °C  
Normal humidity: 45%RH ~ 85%DH (JIS Z 8703).
- Do not store the product in a location subject to High Temperature, high humidity, under direct sunlight, corrosive gas or dust.
- Do not put mechanical stress on the product while it is stored.



### 9.3 Other cautions

- When you connect the socket to the header of this product, make sure you do not insert the header in the reverse orientation. If you do, the IMU may be damaged permanently. In addition, if you attach the product to the equipment, etc. using connection harness, connect the connection harness to the product first, and then attach it to the equipment, etc.
- The gloss marks derived from the adhesive material may have appeared on the casing surface of the product, but it does not affect the function and quality of the product.
- The Parting line as a result of die cast manufacturing process may have appeared on the casing surface of the product, but it is not an abnormality.
- Please take care not to tamper with or accidentally disturb the assembly screw on the surface where the serial number is printed when attaching and detaching the product to the system. We do not guarantee the performance and the quality of the product in case the assembly screw is manipulated.

### 9.4 Limited warranty

- The product warranty period is one year from the date of shipment.  
If a defect due to a quality failure of the product is found during the warranty period, we will promptly provide a replacement.

## 10. Part Number / Ordering Info.

The following is the ordering code for the IMU:

- TBD

## 11. Evaluation Tools

Evaluation tools can be provided for the IMU. For details, contact our representatives.

- PCB BOARD
- USB I/F BOARD & Logger Software



## **AMERICA**

---

### **EPSON ELECTRONICS AMERICA, INC.**

214 Devcon Drive,  
San Jose, CA 95112, USA  
Phone: +1-800-228-3964      FAX: +1-408-922-0238

## **JAPAN & Other Countries**

---

### **SEIKO EPSON CORP.**

### **MSM BUSINESS PROJECT**

281, Fujimi, Fujimi-cho, Nagano 399-0293, JAPAN  
Phone: +81-266-61-0614      FAX: +81-266-61-2045

## **EUROPE**

---

### **EPSON EUROPE ELECTRONICS GmbH**

Riesstrasse 15, 80992 Munich,  
GERMANY  
Phone: +49-89-14005-0      FAX: +49-89-14005-110

# LILY Self-Leveling Borehole Tiltmeter

The LILY Self-Leveling Borehole Tiltmeter is a precision, dual axis sensor package designed for specialized applications and research. Applications include volcanic and tectonic research, hydraulic fracture mapping, micro-deformation monitoring, deep ocean geophysics, and more.

Using a high-precision electrolytic tilt sensor, units deliver resolution to 5 nanoradians; dynamic range is  $\pm 330 \mu\text{radians}$ . Units also feature a  $\pm 10$  deg. leveling range for easy installation downhole. Output is RS232 or RS422 (RS485 full duplex) and includes timestamp and compass bearing. Data can be saved to file externally or to LILY's on-board flash memory (75,000 sample max) using fill/stop or cyclic memory modes.

Units are fully submersible to 3000 psi. Titanium is also available for +5000 psi applications. The culmination of over 30 years of tilt sensor experience and expertise, the LILY represents the pinnacle in precision sensor engineering. Contact Jewell Instruments today for more information about this powerful instrument.

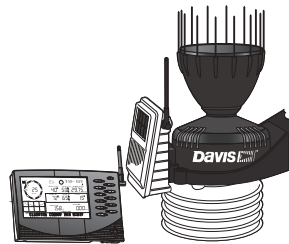


Specifications	
Channels	X tilt, Y tilt, azimuth, temperature
Resolution	< 5 nanoradians
Repeatability	Same as resolution under static conditions
Dynamic Range	$\pm 330 \mu\text{radians}$
Self-Leveling Range	$\pm 10$ degrees
Non-Linearity	0.2% of full span
Frequency Resonse	< 1 Hz
Ks Temp Coefficient (%/°C)	$\pm 0.02\%/^{\circ}\text{C}$
Kz Temp Coefficient (bias/°C)	$\pm 3 \mu\text{radian}/^{\circ}\text{C}$
Azimuth detection	On-board magnetic compass, 0° to 360° output
Output	RS232 and RS422 standard (user selectable)
Baud rate	9600, 19200 (default), 28800, 57600, 115200, 230400
Sample rate	User programmable from 10 samples/sec to 1 sample/day
Output Format	NMEA XDR, Trimble TCM, Ashtech, Simple (Timestamp, X, Y, Temp, Compass, S/N)
On-board Memory	2 Megabytes nonvolatile Flash memory (64,000 samples)
Real-time Clock	Accurate to 10 minutes/year or better
Power	7 to 28 VDC @ 30 mA (< 10 mA sleep); 250 mV ripple max., reverse polarity protected
Environmental	-25°C to +85°C operational, -30°C to +100°C storage. 3000 psi
Weight	4.5 kg (10 lb)
Materials	304 stainless steel, nonmagnetic (6Al-4V Titanium available on request: to +5000 psi)

*Specifications subject to change without notice as the result of ongoing development*

# Wireless Vantage Pro2™ & Vantage Pro2™ Plus Stations

(Including Fan-Aspirated Models)



**6152    6162**  
**6153    6163**

---

## WIRELESS VANTAGE PRO2™

Vantage Pro2™ (6152, 6153) and Vantage Pro2™ Plus (6162, 6163) Wireless Weather Stations include two components: the Integrated Sensor Suite (ISS) which houses and manages the external sensor array, and the console which provides the user interface, data display, and calculations. The ISS and Vantage Pro2 console communicate via an FCC-certified, license-free, spread-spectrum frequency-hopping (FHSS) transmitter and receiver. User-selectable transmitter ID codes allow up to eight stations to coexist in the same geographic area. The frequency hopping spread spectrum technology provides greater communication strength over longer distances and areas of weaker reception. The Wireless Vantage Pro2 Plus weather station includes two additional sensors that are optional on the Vantage Pro2: the UV sensor and the solar radiation sensor.

The console may be powered by batteries or by the included AC-power adapter. The wireless ISS is solar powered with a battery backup. Use WeatherLink® for Vantage Pro2 and Vantage Vue® to let your weather station interface with a computer, to log weather data, and to upload weather information to the internet.

The 6152 and 6162 rely on passive shielding to reduce solar-radiation induced temperature errors in the outside temperature sensor readings. The Fan-aspirated 6153 and 6163 combine passive shielding with a solar-powered fan that draws outside air in over the temperature and humidity sensors, providing a much more accurate temperature reading than that available using passive shielding alone.

## Integrated Sensor Suite (ISS)

(Includes product numbers: 6152, 6153, 6162, 6163, 6322, 6323, 6327 & 6328)

---

Operating Temperature . . . . .	-40° to +150°F (-40° to +65°C)
Non-operating Temperature . . . . .	-40° to +158°F (-40° to +70°C)
Current Draw (ISS SIM only) . . . . .	0.14 mA (average), 30 mA (peak) at 4 to 6 VDC
Solar Power Panel . . . . .	0.5 Watts (ISS SIM), plus 0.75 Watts (Fan-Aspirated)
Battery (ISS SIM /Fan-Aspirated) . . . . .	CR-123 3-Volt Lithium cell / 2 - 1.2 Volt NiMH C-cells
Battery Life (3-Volt Lithium cell) . . . . .	8 months without sunlight - greater than 2 years depending on solar charging
Battery Life (NiMH C-cells, Fan-Aspirated) . . . . .	Up to 2 years
Fan Aspiration Rate (Fan-Aspirated only)	
Intake Flow Rate, full sun . . . . .	190 feet/min. (0.9 m/s)
Intake Flow Rate, battery only . . . . .	80 feet/min. (0.4 m/s)
Sensor Chamber Flow Rate, full sun . . . . .	500 feet/min. (2.5 m/s)
Sensor Chamber Flow Rate, battery only . . . . .	180 feet/min. (0.9 m/s)
Connectors, Sensor . . . . .	Modular RJ-11
Cable Type . . . . .	4-conductor, 26 AWG
Cable Length, Anemometer . . . . .	40 feet (12 m) (included) 240 feet (73 m) (maximum recommended)

---

Note: Maximum displayable wind decreases as the length of cable increases. At 140' (42 m) of cable, the maximum wind speed displayed is 135 mph (60 m/s); at 240' (73 m), the maximum wind speed displayed is 100 mph (34 m/s).

---

Wind Speed Sensor . . . . .	Solid state magnetic sensor
Wind Direction Sensor . . . . .	Wind vane with potentiometer
Rain Collector Type . . . . .	Tipping bucket, 0.01" per tip (0.2 mm with metric rain adapter), 33.2 in <sup>2</sup> (214 cm <sup>2</sup> ) collection area
Temperature Sensor Type . . . . .	PN Junction Silicon Diode
Relative Humidity Sensor Type . . . . .	Film capacitor element
Housing Material . . . . .	UV-resistant ABS, polypropylene

## 2

### Wireless Vantage Pro2™

ISS Dimensions (not including anemometer or bird spikes):

Vantage Pro2 with Standard Rad Shield . . . . .	14.0" x 9.4" x 14.5" (356 mm x 239 mm x 368 mm)
Vantage Pro2 with Fan-Aspirated Rad Shield . . . . .	20.8" x 9.4" x 16.0" (528 mm x 239 mm x 406 mm)
Vantage Pro2 Plus with Standard Rad Shield . . . . .	14.3" x 9.7" x 14.5" (363 mm x 246 mm x 368 mm)
Vantage Pro2 Plus with Fan-Aspirated Rad Shield . . . . .	21.1" x 9.7" x 16.0" (536 mm x 246 mm x 406 mm)

### Console

(Includes product number 6312)

---

Console Operating Temperature . . . . .	+32° to +140°F (0° to +60°C)
Non-Operating (Storage) Temperature . . . . .	+14° to +158°F (-10° to +70°C)
Current Draw . . . . .	0.9 mA average, 30 mA peak, (add 120 mA for display lamps, add 0.125 mA for each optional wireless transmitter received by the console) at 4 - 6 VDC
AC Power Adapter . . . . .	5 VDC, 300 mA, regulated
Batteries . . . . .	3 C-cells
Battery Life . . . . .	up to 9 months
Connectors . . . . .	Modular RJ-11
Housing Material . . . . .	UV-resistant ABS plastic
Console Display Type . . . . .	LCD Transflective
Display Backlight . . . . .	LEDs
Console Dimensions	
Console with antenna down (L x H x D) . . . . .	10.625" x 6.125" x 1.625" (270 mm x 156 mm x 41 mm)
Console with antenna extended up (L x H x D) . . . . .	10.625" x 9.625" x 1.625" (270 mm x 245 mm x 41 mm)
Display (L x H) . . . . .	5.94" x 3.375" (151 mm x 86 mm)
Weight (with batteries) . . . . .	1.88 lbs. (.85 kg)

### Data Displayed on Console

Data display categories are listed with General first, then in alphabetical order.

#### General

Historical Data . . . . .	Includes the past 24 values listed unless otherwise noted; all can be cleared and all totals reset
Daily Data . . . . .	Includes the earliest time of occurrence of highs and lows; period begins/ends at 12:00 am
Monthly Data . . . . .	Period begins/ends at 12:00 am on the first of the month
Yearly Data . . . . .	Period begins/ends at 12:00 am on the first of January unless otherwise noted
Current Display Data . . . . .	Current display data describes the current reading for each weather variable. In most cases, the variable lists the most recently updated reading or calculation. Some current variable displays can be adjusted so there is an offset for the reading
Current Graph Data . . . . .	Current graph data appears in the right-most column in the console graph and represents the latest value within the last period on the graph; totals can be set or reset. Display intervals vary. Examples include: Instant, 15-min., and Hourly Reading; Daily, Monthly, High and Low
Graph Time Interval . . . . .	1 min., 10 min., 15 min., 1 hour, 1 day, 1 month, 1 year (user-selectable, availability depends upon variable selected)
Graph Time Span . . . . .	24 Intervals + Current Interval (see Graph Intervals to determine time span)
Graph Variable Span (Vertical Scale) . . . . .	Automatic (varies depending upon data range); Maximum and Minimum value in range appear in ticker
Alarm Indication . . . . .	Alarms sound for only 2 minutes (time alarm is always 1 minute) if operating on battery power. Alarm message is displayed in ticker as long as threshold is met or exceeded. Alarms can be silenced (but not cleared) by pressing the DONE key.
Transmission Interval . . . . .	Varies with transmitter ID code from 2.25 seconds (#1=shortest), to 3 seconds (#8=longest)
Update Interval . . . . .	Varies with sensor - see individual sensor specs

## Barometric Pressure

Resolution and Units	0.01" Hg, 0.1 mm Hg, 0.1 hPa/mb (user-selectable)
Range	16.00" to 32.50" Hg, 410 to 820 mm Hg, 540 to 1100 hPa/mb
Elevation Range	-999' to +15,000' (-600 m to 4570 m) (Note that console screen limits entry of lower elevation to -999' when using feet as elevation unit.)
Uncorrected Reading Accuracy	±0.03" Hg (±0.8 mm Hg, ±1.0 hPa/mb) (at room temperature)
Sea-Level Reduction Equation Used	United States Method employed prior to use of current "R Factor" method
Equation Source	Smithsonian Meteorological Tables
Equation Accuracy	±0.01" Hg (±0.3 mm Hg, ±0.3 hPa/mb)
Elevation Accuracy Required	±10' (3m) to meet equation accuracy specification
Overall Accuracy	±0.03" Hg (±0.8 mm Hg, ±1.0 hPa/mb)
Trend (change in 3 hours)	Change 0.06" (2 hPa/mb, 1.5 mm Hg) = Rapidly Change 0.02" (0.7hPa/mb, 0.5 mm Hg)= Slowly
Trend Indication	5 position arrow: Rising (rapidly or slowly), Steady, or Falling (rapidly or slowly)
Update Interval	1 minute or when console BAR key is pressed twice
Current Display	Instant
Current Graph Data	Instant, 15-min., and Hourly Reading; Daily, Monthly, High and Low
Historical Graph Data	15-min. and Hourly Reading; Daily, Monthly Highs and Lows
Alarms	High Threshold from Current Trend for Storm Clearing (Rising Trend) Low Threshold from Current Trend for Storm Warning (Falling Trend)
Range for Rising and Falling Trend Alarms	0.01 to 0.25" Hg (0.1 to 6.4 mm Hg, 0.1 to 8.5 hPa/mb)

## Clock

Resolution	1 minute
Units	Time: 12 or 24 hour format (user-selectable)
Date	US or International format (user-selectable)
Accuracy	±8 seconds/month
Adjustments	Time: Automatic Daylight Savings Time (for users in North America and Europe that observe it in AUTO mode, MANUAL setting available for all other areas) Date: Automatic Leap Year
Alarms	Once per day at set time when active

## Dewpoint (calculated)

Resolution and Units	1°F or 1°C (user-selectable) °C is converted from °F rounded to the nearest 1°C
Range	-105° to +130°F (-76° to +54°C)
Accuracy	±2°F (±1°C) (typical)
Update Interval	10 to 12 seconds
Source	World Meteorological Organization (WMO)
Equation Used	WMO Equation with respect to saturation of moist air over water
Variables Used	Instant Outside Temperature and Instant Outside Relative Humidity
Current Display Data	Instant Calculation
Current Graph Data	Instant Calculation; Daily, Monthly High and Low
Historical Graph Data	Hourly Calculations; Daily, Monthly Highs and Lows
Alarms	High and Low Threshold from Instant Calculation

## Evapotranspiration (calculated, requires solar radiation sensor)

Resolution and Units	0.01" or 0.1 mm (user-selectable)
Range	Daily to 32.67" (832.1 mm); Monthly & Yearly to 199.99" (1999.9 mm)
Accuracy	Greater of 0.01" (0.25 mm) or ±5%, Reference: side-by-side comparison against a CIMIS ET weather station
Update Interval	1 hour
Calculation and Source	Modified Penman Equation as implemented by CIMIS (California Irrigation Management Information System) including Net Radiation calculation
Current Display Data	Latest Hourly Total Calculation
Current Graph Data	Latest Hourly Total Calculation, Daily, Monthly, Yearly Total
Historical Graph Data	Hourly, Daily, Monthly, Yearly Totals
Alarm	High Threshold from Latest Daily Total Calculation

**Wireless Vantage Pro2™****Forecast**

Variables Used . . . . .	Barometric Reading & Trend, Wind Speed & Direction, Rainfall, Temperature, Humidity, Latitude & Longitude, Time of Year
Update Interval . . . . .	1 hour
Display Format . . . . .	Icons on top center of display; detailed message in ticker at bottom
Variables Predicted . . . . .	Sky Condition, Precipitation, Temperature Changes, Wind Direction and Speed

**Heat Index (calculated)**

Resolution and Units . . . . .	1°F or 1°C (user-selectable) °C is converted from °F rounded to the nearest 1°C
Range . . . . .	-40° to +165°F (-40° to +74°C)
Accuracy . . . . .	±2°F (±1°C) (typical)
Update Interval . . . . .	10 to 12 seconds
Source . . . . .	United States National Weather Service (NWS)/NOAA
Formulation Used . . . . .	Steadman (1979) modified by US NWS/NOAA and Davis Instruments to increase range of use
Variables Used . . . . .	Instant Outside Temperature and Instant Outside Relative Humidity
Current Display Data . . . . .	Instant Calculation
Current Graph Data . . . . .	Instant Calculation; Daily, Monthly High
Historical Graph Data . . . . .	Hourly Calculations; Daily, Monthly Highs
Alarm . . . . .	High Threshold from Instant Calculation

**Humidity**

## Inside Relative Humidity (sensor located in console)

Resolution and Units . . . . .	1%
Range . . . . .	1 to 100% RH
Accuracy . . . . .	±2%
Update Interval . . . . .	1 minute
Current Display Data . . . . .	Instant (user-adjustable offset available)
Current Graph Data . . . . .	Instant; Hourly Reading; Daily, Monthly High and Low
Historical Graph Data . . . . .	Hourly Readings; Daily, Monthly Highs and Lows
Alarms . . . . .	High and Low Threshold from Instant Reading

## Outside Relative Humidity (sensor located in ISS)

Resolution and Units . . . . .	1%
Range . . . . .	1 to 100% RH
Accuracy . . . . .	±2%
Drift . . . . .	<0.25% per year
Update Interval . . . . .	50 seconds to 1 minute
Current Display Data . . . . .	Instant (user-adjustable offset available)
Current Graph Data . . . . .	Instant; Hourly Reading; Daily, Monthly High and Low
Historical Graph Data . . . . .	Hourly Readings; Daily, Monthly Highs and Lows
Alarms . . . . .	High and Low Threshold from Instant Reading

## Extra Outside Relative Humidity (sensor located inside Temperature/Humidity Station)

Resolution and Units . . . . .	1%
Range . . . . .	1 to 100% RH
Accuracy . . . . .	±2%
Drift . . . . .	<0.25% per year
Update Interval . . . . .	50 seconds to 1 minute
Current Display Data . . . . .	Instant Reading (user adjustable)
Alarms . . . . .	High and Low Threshold from Instant Reading



## Leaf Wetness (requires leaf wetness sensor)

Resolution	1
Range	0 to 15
Dry/Wet Threshold	User-selectable
Accuracy	±0.5
Update Interval	46 to 54 seconds
Current Graph Data	Instant Reading; Daily High and Low; Monthly High
Historical Graph Data	Hourly Readings; Daily Highs and Lows; Monthly Highs
Alarms	High and Low Thresholds from Instant Reading

## Moon Phase

Console Resolution	1/8 (12.5%) of a lunar cycle, 1/4 (25%) of lighted face on console
WeatherLink Resolution	0.09% of a lunar cycle, 0.18% of lighted face maximum (depends on screen resolution)
Range	New Moon, Waxing Crescent, First Quarter, Waxing Gibbous, Full Moon, Waning Gibbous, Last Quarter, Waning Crescent
Accuracy	±38 minutes

## Rainfall

Resolution and Units	0.01" or 0.2 mm (user-selectable) (1 mm at totals ≥ 2000 mm)
Daily/Storm Rainfall Range	0 to 99.99" (0 to 999.8 mm)
Monthly/Yearly/Total Rainfall Range	0 to 199.99" (0 to 6553 mm)
Accuracy	For rain rates up to 4"/hr (100 mm/hr): ±4% of total or ± one tip of the bucket (0.01"/0.2mm), whichever is greater.
Update Interval	20 to 24 seconds
Storm Determination Method	0.02" (0.5 mm) begins a storm event, 24 hours without further accumulation ends a storm event
Current Display Data	Totals for Past 15-min
Current Graph Data	Totals for Past 15-min, Past 24-hour, Daily, Monthly, Yearly (start date user-selectable) and Storm (with begin date); Umbrella is displayed when 15-minute total exceeds zero
Historical Graph Data	Totals for 15-min, Daily, Monthly, Yearly (start date user-selectable) and Storm (with begin and end dates)
Alarms	High Threshold from Latest Flash Flood (15-min. total, default is 0.50", 12.7 mm), 24-Hour Total, Storm Total,
Range for Rain Alarms	0 to 99.99" (0 to 999.7 mm)

## Rain Rate

Resolution and Units	0.01" or 0.1 mm (user-selectable) at typical rates (see Fig. 1 and 2)
Range	0, 0.04"/hr (1 mm/hr) to 82"/hr (0 to 2090 mm/hr)
Accuracy	±5% for rates less than 5" per hour (127 mm/hr)
Update Interval	20 to 24 seconds
Calculation Method	Measures time between successive tips of tipping bucket. Elapsed time greater than 15 minutes or only one tip of the rain collector constitutes a rain rate of zero.
Current Display Data	Instant
Current Graph Data	Instant and 1-min. Reading; Hourly, Daily, Monthly and Yearly High
Historical Graph Data	1-min Reading; Hourly, Daily, Monthly and Yearly Highs
Alarm	High Threshold from Instant Reading

## Soil Moisture (requires soil moisture sensor)

Resolution	1 cb
Range	0 to 200 cb
Update Interval	77 to 90 seconds
Current Graph Data	Instant Reading; Daily and Monthly High and Low
Historical Graph Data	Hourly Readings; Daily and Monthly Highs and Lows
Alarms	High and Low Thresholds from Instant Reading

**Solar Radiation (requires solar radiation sensor)**

Resolution and Units	1 W/m <sup>2</sup>
Range	0 to 1800 W/m <sup>2</sup>
Accuracy	±5% of full scale (Reference: Eppley PSP at 1000 W/m <sup>2</sup> )
Drift	up to ±2% per year
Cosine Response	±3% for angle of incidence from 0° to 75°
Temperature Coefficient	-0.067% per °F (-0.12% per °C); reference temperature = 77°F (25 °C)
Update Interval	50 seconds to 1 minute (5 minutes when dark)
Current Graph Data	Instant Reading and Hourly Average; Daily, Monthly High
Historical Graph Data	Hourly Average, Daily, Monthly Highs
Alarm	High Threshold from Instant Reading

**Sunrise and Sunset**

Resolution	1 minute
Accuracy	±1 minute
Reference	United States Naval Observatory

**Temperature**

## Inside Temperature (sensor located in console)

Resolution and Units	Current Data: 0.1°F or 1°F or 0.1°C or 1°C (user-selectable) °C is converted from °F rounded to the nearest 1°C Historical Data and Alarms: 1°F or 1°C (user-selectable)
Range	+32° to +140°F (0° to +60°C)
Sensor Accuracy	±0.5°F (±0.3°C)
Update Interval	1 minute
Current Display Data	Instant (user-adjustable offset available)
Current Graph Data	Instant Reading; Daily and Monthly High and Low
Historical Graph Data	Hourly Readings; Daily and Monthly Highs and Lows
Alarms	High and Low Thresholds from Instant Reading

## Outside Temperature (sensor located in ISS)

Resolution and Units	Current Data: 0.1°F or 1°F or 0.1°C or 1°C (user-selectable) nominal °C is converted from °F rounded to the nearest 1°C Historical Data and Alarms: 1°F or 1°C (user-selectable)
Range	-40° to +150°F (-40° to +65°C)
Sensor Accuracy	±0.5°F (±0.3°C)
Radiation Induced Error (Passive Shield)	+4°F (2°C) at solar noon (insolation = 1040 W/m <sup>2</sup> , avg. wind speed ≤ 2 mph (1 ms)) (reference: RM Young Model 43408 Fan-Aspirated Radiation Shield)
Radiation Induced Error (Fan-Aspirated Shield)	+0.6°F (0.3°C) at solar noon (insolation = 1040 W/m <sup>2</sup> , avg. wind speed ≤ 2 mph (1 m/s)) (reference: RM Young Model 43408 Fan-Aspirated Radiation Shield)
Update Interval	10 to 12 seconds
Current Display Data	Instant (user-adjustable offset available)
Current Graph Data	Instant Reading; Daily, Monthly, Yearly High and Low
Historical Graph Data	Hourly Readings; Daily, Monthly, Yearly Highs and Lows
Alarms	High and Low Thresholds from Instant Reading

## Extra Temperature Probes

Resolution and Units	Current Data: 1°F or 1°C (user-selectable) °C is converted from °F rounded to the nearest 1°C Historical Data and Alarms: 1°F or 1°C (user-selectable)
Range	-40° to +150°F (-40° to +65°C)
Sensor Accuracy	±1°F (±0.5°C) (typical) See Fig. 3
Update Interval	10 to 12 seconds (77 to 90 seconds for Leaf Wetness/Temperature and Soil Moisture/Temperature Stations)
Current Display Data	Instant Reading (user-adjustable offset available)
Alarms	High and Low Thresholds from Instant Reading

## Temperature Humidity Sun Wind Index (requires solar radiation sensor)

Resolution and Units	1°F or 1°C (user-selectable) °C is converted from °F rounded to the nearest 1°C
Range	-90° to +165°F (-68° to +74°C)
Accuracy	±4°F (±2°C) (typical)
Update Interval	10 to 12 seconds
Sources and Formulation Used	United States National Weather Service (NWS)/NOAA Steadman (1979) modified by US NWS/NOAA and Davis Instruments to increase range of use and allow for cold weather use
Variables Used	Instant Outside Temperature, Instant Outside Relative Humidity, 10-minute Average Wind Speed, 10-minute Average Solar Radiation
Formulation Description	Uses Heat Index as base temperature, affects of wind and solar radiation are either added or subtracted from this base to give an overall effective temperature
Current Graph Data	Instant and Hourly Calculation; Daily, Monthly High
Historical Graph Data	Hourly Calculation; Daily, Monthly Highs
Alarm	High Threshold from Instant Reading

## Ultra Violet (UV) Radiation Dose (requires UV sensor)

Resolution and Units	0.1 MEDs to 19.9 MEDs; 1 MED above 19.9 MEDS
Range	0 to 199 MEDs
Accuracy	±5% of daily total
Drift	up to ±2% per year
Update Interval	50 seconds to 1 minute (5 minutes when dark)
Current Graph Data	Latest Daily Total (user resettable at any time from Current Screen)
Historical Graph Data	Hourly, Daily Totals (user reset from Current Screen does not affect these values)
Alarm	High Threshold from Daily Total
Alarm Range	0 to 19.9 MEDs

## Ultra Violet (UV) Radiation Index (requires UV sensor)

Resolution and Units	0.1 Index
Range	0 to 16 Index
Accuracy	±5% of full scale (Reference: Yankee UVB-1 at UV index 10 (Extremely High))
Cosine Response	±4% FS (0° to 90° zenith angle)
Update Interval	50 seconds to 1 minute (5 minutes when dark)
Current Graph Data	Instant Reading and Hourly Average; Daily, Monthly High
Historical Graph Data	Hourly Average, Daily, Monthly Highs
Alarm	High Threshold from Instant Calculation

**Wind**

## Wind Chill (Calculated)

Resolution and Units	1°F or 1°C (user-selectable) °C is converted from °F rounded to the nearest 1°C
Range	-110° to +135°F (-79° to +57°C)
Accuracy	±2°F (±1°C) (typical)
Update Interval	10 to 12 seconds
Source	United States National Weather Service (NWS)/NOAA
Equation Used	Osczevski (1995) (adopted by US NWS in 2001)
Variables Used	Instant Outside Temperature and 10-min. Avg. Wind Speed
Current Display Data	Instant Calculation
Current Graph Data	Instant Calculation; Hourly, Daily and Monthly Low
Historical Graph Data	Hourly, Daily and Monthly Lows
Alarm	Low Threshold from Instant Calculation

## Wind Direction

Range	1 - 360°
Display Resolution	16 points (22.5°) on compass rose, 1° in numeric display
Accuracy	±3°
Update Interval	2.5 to 3 seconds
Current Display Data	Instant (user-adjustable offset available)
Current Graph Data	Instant; 10-min. Dominant; Hourly, Daily, Monthly Dominant
Historical Graph Data	Past 6 10-min. Dominants on compass rose only; Hourly, Daily, Monthly Dominants

## Wind Speed

Resolution and Units	1 mph, 1 km/h, 0.4 m/s, or 1 knot (user-selectable). Measured in mph, other units are converted from mph and rounded to nearest 1 km/hr, 0.1 m/s, or 1 knot.
Range	0 to 200 mph, 0 to 173 knots, 0 to 89 m/s, 0 to 322 km/h
Update Interval	Instant Reading: 2.5 to 3 seconds, 10-minute Average: 1 minute
Accuracy	±2 mph (2 kts, 3.2 km/h, 0.9 m/s) or ±5%, whichever is greater
Maximum Cable Length	240 feet (73 m) (See note on page 1)
Current Display Data	Instant
Current Graph Data	Instant; 10-minute and Hourly Average; Hourly High; Daily, Monthly and Yearly High with Direction of High
Historical Graph Data	10-min. and Hourly Averages; Hourly Highs; Daily, Monthly and Yearly Highs with Direction of Highs
Alarms	High Thresholds from Instant Reading and 10-minute Average

**Wireless Communications**

## Transmit/Receive Frequency

US Models	902 - 928 MHz FHSS,
EU Models	868.0 - 868.6 MHz FHSS
Japan Models	928.15 - 929.65 MHz FHSS
NZ Models	921 - 928 MHz FHSS
India Models	865.0 - 867.0 MHz FHSS

ID Codes Available.....8

## Output Power

US Models	902 - 928 MHz FHSS: FCC-certified low power, less than 8 mW, no license required
EU Models	868.0 - 868.6 MHz FHSS. CE-certified, less than 8 mW, no license required.
Japan Models	928.15 - 929.65 MHz FHSS, less than 1 mW, no license required.
NZ Models	921- 928 MHz FHSS, less than 10mW, no license required.
India Models	865.0 - 867.0 MHz, less than 10mW, no license required.

Range: All models except Japan

Line of Sight	up to 1000 feet (300 m)
Through Walls	200 to 400 feet (60 to 120 m)

Range: Japan models

Line of Sight	up to 300 feet (100 m)
Through Walls	50 to 200 feet (15 to 60m)

## Sensor Inputs

RF Filtering	RC low-pass filter on each signal line
--------------	--

## Sensor Charts

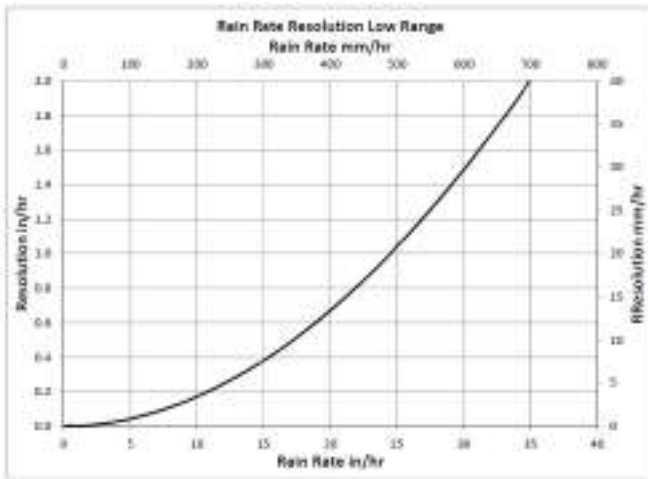


Figure 1. Low Range Rain Rate Resolution

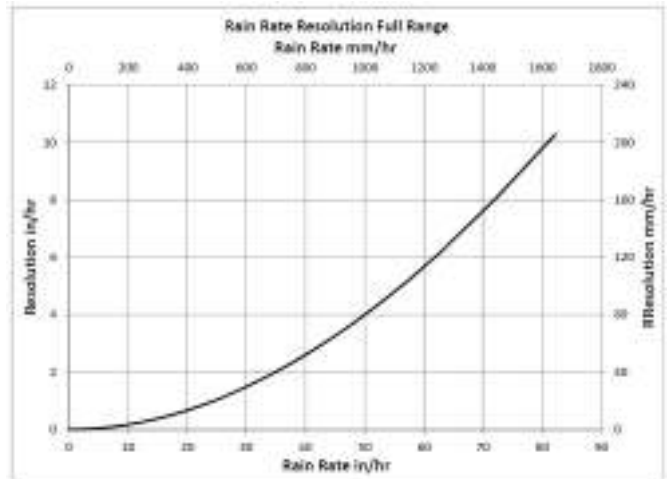


Figure 2: Full Range Rain Rate Resolution

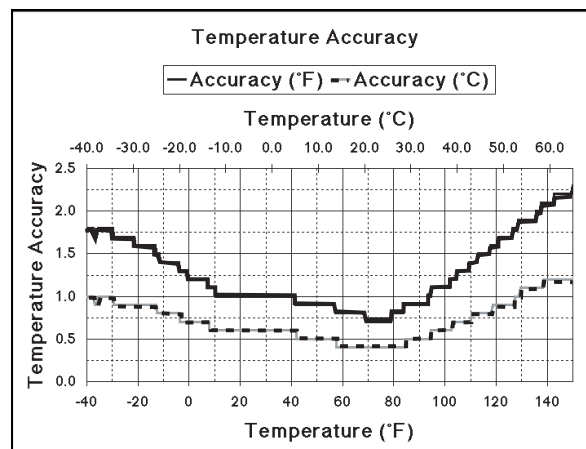


Figure 3. External Temperature Probe Accuracy

## Package Dimensions

Product #	Package Dimensions (Length x Width x Height)	Package Weight	UPC Codes
6152 6152EU 6152UK	17.50" x 10.4" x 16.0" (445 mm x 264 mm x 406 mm)	11 lbs. 13 oz. (5.4 kg)	011698 00229 0 011698 00347 1 011698 00348 8
6162 6162EU 6162UK		11 lbs. 15 oz. (5.4 kg)	011698 00306 8 011698 00307 5 001698 00308 2
6153 6153EU 6153UK	14.9 x 12.9" x 23.4" (378 mm x 327 mm x 594 mm)	16 lbs. 11 oz. (7.6 kg)	011698 00335 8 011698 00336 5 001698 00337 2
6163 6163EU 6163UK		17 lbs. 5 oz. (7.9 kg)	011698 00341 9 011698 00342 6 001698 00342 3
6322 6322OV	17.50" x 10.4" x 16.0" (445 mm x 264 mm x 406 mm)	9 lbs.. 1 oz. (4.1 kg)	011698 00776 9 011698 00778 3
6327 6327OV		11 lbs. 1 oz. (5.0 kg)	011698 00781 3 011698 00783 7
6323 6323OV	14.9" x 12.9" x 23.4" (378 mm x 327 mm x 594 mm)	15 lbs. 15 oz. (7.2 kg)	011698 00779 0 011698 00780 6
6328 6328OV		16 lbs. 8 oz. (7.5 kg)	011698 00784 4 011698 00785 1
6312 6312EU 6312UK	12.6" x 9.3" x 2.5" (320 mm x 235 mm x 64 mm)	2 lbs. 10 oz. (1.2 kg)	011698 00724 0 011698 00766 0 011698 00767 7

## Submersible Transmitter

# ATM/N - Analog Level Transmitter



### CUSTOMER BENEFITS

- Fast customization thanks to configurable product design
- Titanium version with PTFE cable available for use in aggressive media
- Available with overvoltage protection
- Compact design requires minimal space
- Available with overvoltage protection

# Technical Specifications

## PRESSURE MEASURING RANGE (MH2O)

	1 ... 5, (1)	> 5 ... 20	> 20 ... 250
Overpressure	3 bar	3 x FS ( $\geq 3$ bar)	3 x FS
Burst pressure, (2)	> 200 bar	> 200 bar	> 200 bar
Accuracy, (3) ( $\pm$ % FS)	$\leq 0.5 / \leq 0.25$	$\leq 0.5 / \leq 0.25 / \leq 0.1$	$\leq 0.5 / \leq 0.25 / \leq 0.1$
Thermal shift, ( $\pm$ % FS/ $^{\circ}$ C)			
Zero point -5 ... 50 $^{\circ}$ C	$\leq 0.06$	$\leq 0.03$	$\leq 0.015$
Span -5 ... 50 $^{\circ}$ C	$\leq 0.015$	$\leq 0.015$	$\leq 0.015$
Response time, (typ.)	< 1ms / 10 ... 90% FS	< 1ms / 10 ... 90% FS	< 1ms / 10 ... 90% FS
Long term stability, (4)	< 0.5% FS / < 4 mbar	< 0.2% FS / < 4 mbar	< 0.1% FS / < 0.2% FS

(1) 0.5 mH2O on request

(2) Transducer

(3) Zero based accuracy according to DIN-16086, incl. hysteresis and repeatability at ambient temperature

(4) 1 year (typ. / max.), the long term stability can be improved by ageing (burn-in) the sensor

## TEMPERATURE RANGE

Operating temperature	-5 ... 80 $^{\circ}$ C (1)
Process temperature	-5 ... 80 $^{\circ}$ C (1)
Storage temperature	-10 ... 80 $^{\circ}$ C

C

## ELECTRICAL SPECIFICATIONS

	4 ... 20 mA	0 ... 20 mA	0 ... 5 V / 0 ... 10 V
Power supply	9 ... 33 VDC	9 ... 33 VDC	15 ... 30 VDC
Supply influence	< 0.1% FS	< 0.1% FS	< 0.1% FS
Current consumption			3 mA
Circuit diagram			
Load resistance			$R_L > 10k\Omega$
Load influence	< 0.1% FS	< 0.1% FS	< 0.1% FS



## QUALIFICATIONS

	Description	Level	Typical interferences
EN 61000-4-2	Electrostatic discharge	4 kV contact / 8 kV air	
EN 61000-4-3	Irradiated RF	10 V/m (0.08 ... 1 GHz)	Radio sets, wireless phones
EN 61000-4-4	Transients (burst)	2 kV	Motors, valves
EN 61000-4-5, (1)	Surge	10 kA (8 / 20 µs)	Overvoltage
EN 61000-4-6	Conducted RF	10 V (0.15...80 MHz)	Frequency converters

(1) Only with optional overvoltage protection

## PHYSICAL SPECIFICATIONS

Materials	
Transducer	Stainless steel (316L / 1.4435), titanium (Gr. 2)
Housing	Stainless steel (316L / 1.4404), titanium (Gr. 2)
Seals	Viton (Standard), EPDM, Kalrez, NBR
Cable	PUR, FEP, PE, PVC
Weight (1)	108 g

(1) Specification for a ATM/N, closed, without cable

# Equipment

## OVERVIEW

10.00.0091	
10.00.0091	Accessories overview

# Additional documents

## OPERATING AND SAFETY INSTRUCTIONS

Article number	
10.88.0092	DMM029



# Ordering information

	X.	XXXX.	XXXX.	XX.	XXX
<b>Type</b>					
	ATM/N	24			
<b>Pressure type</b>					
	Gauge	1			
	Absolute (vacuum)	2			
<b>Pressure measuring range</b>					
	50 mbar ... < 100 mbar		XX		
	100 mbar ... 25 bar		XX		
	Offset, special adjustment		99		
<b>Process connection</b>					
	Closed, (Fig. 1)		55		
	Closed, (1.4435), for ACS certificate (Fig. 1)		59		
	Open, (Fig. 2)		56		
	G 1/4 M, (Fig. 3)		11		
	G 1/2 M, (Fig. 3)		13		
	Customized connections available		99		
<b>Electrical connection</b>					
	PE cable, IP 68, black (4) (5)		13		
	PUR cable, IP 68, black (4) (6)		15		
	FEP cable, IP 68, black (4)		21		
	PVC cable, blue, IP 68, (4) (7)		14		
	Connectable version, IP 68, M12 (Lumberg RSF4), (Fig. 4), (3)		07		
	Customized		99		
<b>Output signal</b>					
	0 ... 5 VDC		46		
	0 ... 10 VDC		47		
	0 ... 20 mA		00		
	4 ... 20 mA		05		
	4 ... 20 mA with overvoltage protection		08		
	0 ... 10 VDC with overvoltage protection		49		
	0 ... 5 VDC with overvoltage protection		50		
	Customized		99		
<b>Accuracy</b>					
	$\leq \pm 0.5$ % FS			0	
	$\leq \pm 0.25$ % FS			1	
	$\leq \pm 0.1$ % FS			2	
<b>Temperature range</b>					
	-5 ... 50°C compensated process temperature: -5 ... 50°C	(allowed)		4	
	-5 ... 80°C compensated process temperature: -5 ... 80°C	(allowed)		5	
<b>Option 1</b>					
<b>Option 2</b>					
	Electronics packed in gel: Gauge pressure				C
	Electronics packed in gel: Absolute pressure				D

Option 3			
Ballast weight 1.4435			B
Version titanium (without ballast weight)			K
Seals: Viton (standard)			U
Seals: EPDM			S
Seals: Kalrez (Level)			T
Seals: NBR (ACS)			H
Humidity filter element for gauge versions (only for PUR and PE cable)			Z
Separate electronic (2 tube housings)			Y

(3) Connector with required cable has to be ordered separately (KART100)

(4) Please specify the required cable length and medium

(5) Suitable for drinking water (food approved)

(6) For operating temperature > 50°C, PE or FEP cable must be used

# Technical drawings

## Dimensions

Fig. 1: Dosed version

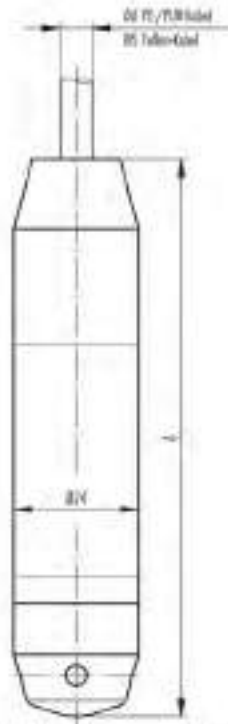


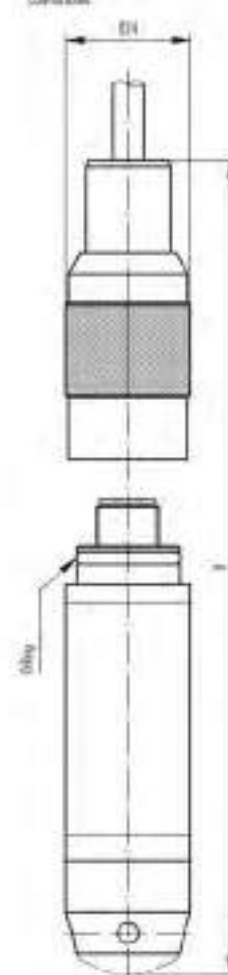
Fig. 2: Open version



Fig. 3: with process connection



Fig. 4: Electrical connector, convertible



Standard	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	Weight (g)
without bolus weight	106	104	on request*	on request*	approx. 160
with bolus weight	195	191	on request*	on request*	approx. 420

\*C: Depending on process connection

\*D: Depending on process connection or version

Version with surge (lighting) protection	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	Weight (g)
without bolus weight	157	153	on request	on request	approx. 200
with bolus weight	244	240	on request	on request	approx. 460

Colour 2-Wire 3-Wire

with +Vin	+Vin
yellow	Psut
brown	Psut

www.stssensors.com | info@stssensors.com

STSSensor Technik GmbH

STSSensor Technik GmbH  
Röntgenstr. 11 | 44139 Dortmund | Germany  
info@stssensors.com | www.stssensors.com

STSS China

STSSensor Technology (Shanghai) Co., Ltd.  
Room 1101-1103 | North Building, Fuzhou's 11th Floor  
Lane 4858 | Jinsh Road | Minhang District | Shanghai | 201114  
info@stssensors.com | www.stssensors.com.cn

STSS France

STSS France  
Rue Steute de la Coler 2 | 21100 Saint-Jean de Coler | France  
info@stssensors.com | www.stssensors.fr

STSS Germany

STSSensor Technology Systems GmbH  
Postfach 1 | 44139 Sauerhagen | Germany  
info-ve@stssensors.com | www.stssensors.de

STSS Great Britain

STSS Great Britain Ltd  
Box 104 | 7 Avenue 4 | Croydon | Surrey | England  
info@stssensors.com | www.stssensors.co.uk

STSS India

STSS India Pvt. Ltd.  
11A, Laxmi Nagar | 201300 Ghaziabad | India  
info@stssensors.com | www.stssensors.in

# Appendix B

Randapparatuur productbladen

## B.1 Randapparatuur productbladen

# CR6 Specifications



Datalogger

Electrical specifications are valid over a -40 to +70 °C, non-condensing environment, unless otherwise specified. Extended electrical specifications (noted as XT in specifications) are valid over a -55 to +85 °C non-condensing environment. Recalibration is recommended every three years. Critical specifications and system configuration should be confirmed with Campbell Scientific before purchase.

System specifications .....	1
Physical specifications .....	1
Power requirements .....	1
Power output specifications .....	2
Analog measurements specifications ..	3
Pulse measurement specifications .....	5
Digital input/output specifications .....	5
Communications specifications .....	6
Standards compliance specifications ...	7
Warranty .....	7
Terminal functions .....	8

## System specifications

**Processor:** Renesas RX63N (32-bit with hardware FPU, running at 100 MHz)

### Memory:

- Total onboard: 128 MB of flash + 4 MB battery-backed SRAM
  - Data storage: 4 MB SRAM + 72 MB flash (extended data storage automatically used for auto-allocated Data Tables not being written to a card)
  - CPU drive: 30 MB flash
  - OS load: 8 MB flash
  - Settings: 1 MB flash
  - Reserved (not accessible): 10 MB flash
- Data storage expansion: Removable microSD flash memory, up to 16 GB

### NOTE:

CR6 dataloggers with serial numbers less than 7502 have the following memory specifications:

**CPU Drive / Programs:** 1 MB flash

**USR Drive / Data:** 4 MB SRAM (battery backed)

**Program Execution Period:** 1 ms to 1 day

### Real-Time Clock:

- Battery backed while external power is disconnected
- **Resolution:** 1 ms
- **Accuracy:** ±3 min. per year, optional GPS correction to ±10 µs; 5.7 ppm

**Wiring Panel Temperature:** Measured using a thermistor, located on the analog board.

## Physical specifications

**Dimensions:** 21.0 x 10.2 x 5.6 cm (8.3 x 4.0 x 2.2 in); additional clearance required for cables, wires, and antennas.

### Weight/Mass:

- CR6: 0.42 kg (0.92 lb)
- CR6-WIFI: 0.50 kg (1.10 lb)
- CR6-RF451: 0.52 kg (1.15 lb)
- CR6-RF407/412/422/427: 0.51 kg (1.13 lb)

**Case Material:** High-impact-resistant polycarbonate and UV-resistant TPE, recycle code 7

**Dust Plug Material:** UV-resistant TPE

## Power requirements

**Protection:** Power inputs are protected against surge, over-voltage, over-current, and reverse power. IEC 61000-4 Class 4 level.

### CHG Terminals:

- **Voltage Input:** 16 to 32 VDC
- **Input Current Limit at 12 VDC:**
  - 1.2 A @ 20 °C maximum

### BAT Terminals:

- 10 to 18 VDC
- 19 VDC sustained voltage limit without damage; transient voltage protected
- 2.5 A max current at 12 VDC at 20° C



## External Batteries:

- Float charge on BAT terminal
- 12 VDC
- Valve-regulated, lead-acid (VRLA)
- 2 to 24 Ah battery typical

**USB Power:** Functions that will be active with USB 5 VDC include sending programs, adjusting data logger settings, and making some measurements. If USB is the only power source, then the CS I/O port and the 12V and SW12 terminals will not be operational.

**Internal Lithium Battery:** AA, 2.4 Ah, 3.6 VDC (Tadiran TL 5903/S) for battery-backed SRAM and clock. 3-year life with no external power source.

## Average Current Drain:

Assumes 12 VDC on BAT terminals — add 2 mA if using CHG terminals.

- **Idle:** <1 mA
- **Active 1 Hz Scan:** 3 mA
- **Active 20 Hz Scan:** 67 mA
- **Serial (RS-232/RS-485):** Active + 25 mA
- **Ethernet Power Requirements:**
  - **Ethernet 1 Minute:** Active + 1 mA
  - **Ethernet Idle:** Active + 4 mA
  - **Ethernet Link:** Active + 47 mA

**Vehicle Power Connection:** When primary power is pulled from the vehicle power system, a second power supply OR charge regulator may be required to overcome the voltage drop at vehicle start-up.

## Wi-Fi Additional Current Contribution at 12 VDC:

Mode	Wi-Fi Option
Client Mode	7 mA idle, 70 mA communicating
Access Point Mode	62 mA idle, 70 mA communicating
Sleep	<1 mA

## RF Average Additional Current Contribution at 12 VDC:

	-RF407, -RF412, -RF427	-RF422	-RF451
Transmit	< 80 mA	20 mA	650 mA, maximum
Idle On	12 mA	9.5 mA	15 mA, maximum
Idle 0.5 s Power Mode	4 mA	3.5 mA	NA
Idle 1 s Power Mode	3 mA	2 mA	NA
Idle 4 s Power Mode	1.5 mA	1.5 mA	NA

## Power output specifications

System power out limits (when powered with 12 VDC)

Temperature (°C)	Current Limit <sup>1</sup> (A)
-40°	3.88
0°	2.98
20°	2.50
50°	1.80
70°	1.35
85°	1.00

<sup>1</sup> Limited by self-resetting thermal fuse

## 12V and SW12V power output terminals

12V, SW12-1, and SW12-2: Provide unregulated 12 VDC power with voltage equal to the Power Input supply voltage. These are disabled when operating on USB power only.

SW12 current limits	
Temperature (°C)	Current Limit <sup>1</sup> (mA)
-40°	1600
0°	1290
20°	1100
50°	830
70°	640
85°	500

<sup>1</sup> Thermal fuse hold current.

## U and C as power output

- C Terminals:
  - **Output Resistance ( $R_o$ ):** 150  $\Omega$
  - **5 V Logic Level Drive Capacity:** 10 mA @ 3.5 VDC
  - **3.3 V Logic Level Drive Capacity:** 10 mA @ 1.8 VDC

- U Terminals:

	U odd terminals	U even terminals
Voltage Excitation Max Current @ $\pm 2500$ mV	$\pm 25$ mA	$\pm 25$ mA
Current Excitation Max Current	$\pm 2500$ $\mu$ A	$\pm 2500$ $\mu$ A
5 V Logic Level Output Resistance ( $R_o$ )	75 $\Omega$	150 $\Omega$
5 V Logic Level Max Current @ 3.5 V	20 mA	10 mA
3.3 V Logic Level Output Resistance ( $R_o$ )	73 $\Omega$	145 $\Omega$
3.3 V Logic Level Max Current @ 1.85 V	20 mA	10 mA
U odd terminals: U1, U3, U5, U7, U9, U11. U even terminals: U2, U4, U6, U8, U10, U12		

## CS I/O pin 1

**5 V Logic Level Max Current:** 200 mA

## Voltage and current excitation specifications

A 12-bit DAC produces voltage and current excitation. When used for resistance measurement, excitation is active only during measurement.

### Voltage excitation

**Terminals:** U1 - U12

**Range:**  $\pm 2500$  mV

**Resolution:** 0.6 mV

### Voltage Excitation Absolute Accuracy:

- 0 to 40 °C:  $\pm(0.1\%$  of setting + 1.2 mV)
- 40 to 70 °C:  $\pm(0.1\%$  of setting + 1.5 mV)
- 55 to 85 °C (XT):  $\pm(0.1\%$  of setting + 1.6 mV)

**Maximum Source or Sink Current:**  $\pm 25$  mA

### Current excitation

**Terminals:** U1 - U12

**Range:**  $\pm 2.5$  mA

**Resolution:** 0.6  $\mu$ A

### Current Excitation Absolute Accuracy:

- 0 to 40 °C:  $\pm(0.11\%$  of setting + 2.0  $\mu$ A)
- 40 to 70 °C:  $\pm(0.12\%$  of setting + 2.5  $\mu$ A)
- 55 to 85 °C (XT):  $\pm(0.13\%$  of setting + 3.0  $\mu$ A)

**Compliance Voltage:**  $\pm 5$  V

## Analog measurements specifications

12 universal (U) terminals individually configurable for voltage, thermocouple, thermistor, current loop, ratiometric, static

vibrating wire, and period average measurements, using a 24-bit ADC. One channel at a time is measured.

## Voltage measurements

### Terminals:

- Differential Configuration (H/L):** U1/U2- U11/U12
- Single-Ended Configuration:** U1 – U12

**Input Resistance:** 20 G $\Omega$  typical

**Input Voltage Limits:**  $\pm 5$  V

**Sustained Input Voltage without Damage:**  $\pm 20$  VDC

### DC Common Mode Rejection:

- > 120 dB with input reversal
- $\geq 86$  dB without input reversal

**Normal Mode Rejection:** > 70 dB @ 60 Hz

**Input Current @ 25 °C:**  $\pm 2$  nA typical

**Filter First Notch Frequency ( $f_{N1}$ ) Range:** 5 Hz to 93 kHz (user specified)

### Analog Range and Resolution:

		Differential with Input Reversal		Single-Ended and Differential without Input Reversal	
Notch Frequency ( $f_{N1}$ ) (Hz)	Range <sup>1</sup> (mV)	RMS ( $\mu$ V)	Bits <sup>2</sup>	RMS ( $\mu$ V)	Bits <sup>2</sup>
15000	$\pm 5000$	20.0	19	30.0	18
	$\pm 1000$	4.0	19	5.5	18
	$\pm 200$	1.6	18	1.8	17
50/60 <sup>3</sup>	$\pm 5000$	1.2	23	5.0	20
	$\pm 1000$	0.24	23	1.1	20
	$\pm 200$	0.10	22	0.24	20
5	$\pm 5000$	0.60	24	4.9	20
	$\pm 1000$	0.12	24	1.0	20
	$\pm 200$	0.05	23	0.22	20

<sup>1</sup> Range overhead of ~5% on all ranges guarantees that full-scale values will not cause over range

<sup>2</sup> Typical effective resolution (ER) in bits; computed from ratio of full-scale range to RMS resolution.

<sup>3</sup> 50/60 corresponds to rejection of 50 and 60 Hz ac power mains noise.

### Accuracy (does not include sensor or measurement noise):

- 0 to 40 °C:  $\pm(0.04\%$  of measurement + offset)
- 40 to 70 °C:  $\pm(0.06\%$  of measurement + offset)
- 55 to 85 °C (XT):  $\pm(0.08\%$  of measurement + offset)

## Voltage Measurement Accuracy Offsets:

Range (mV)	Typical Offset ( $\mu\text{V RMS}$ )	
	Differential with Input Reversal	Single-Ended or Differential without Input Reversal
$\pm 5000$	$\pm 10$	$\pm 40$
$\pm 1000$	$\pm 5$	$\pm 12$
$\pm 200$	$\pm 2$	$\pm 6$

**Measurement Settling Time:** 20  $\mu\text{s}$  to 600 ms; 500  $\mu\text{s}$  default

## Multiplexed Measurement Time:

Measurement time = INT(multiplexed measurement time • (reps+1) + 2ms

	Differential with Input Reversal	Single-Ended or Differential without Input Reversal
<b>Example fN<sup>1</sup> (Hz)</b>	<b>Time<sup>2</sup> (ms)</b>	<b>Time<sup>2</sup> (ms)</b>
15000	2.8	1.4
60	36	18.1
50	42.07	21.3
5	402.7	201.4

<sup>1</sup> Notch frequency (1/integration time).  
<sup>2</sup> Default settling time of 500  $\mu\text{s}$  used.

## Resistance measurements specifications

The data logger makes ratiometric-resistance measurements for four- and six-wire full-bridge circuits and two-, three-, and four-wire half-bridge circuits using voltage excitation or for direct resistance measurements using current excitation. Excitation polarity reversal is available to minimize dc error.

### Accuracy:

Assumes input reversal for differential measurements

**RevDiff** and excitation reversal **RevEx** for excitation voltage <1000 mV and excitation current < 1 mA. Does not include bridge resistor errors or sensor and measurement noise.

- **0 to 40 °C:**  $\pm(0.02\%$  of voltage measurement + offset)
- **-40 to 70 °C:**  $\pm(0.025\%$  of voltage measurement + offset)
- **-55 to 85 °C (XT):**  $\pm(0.03\%$  of voltage measurement + offset)

## Period-averaging measurement specifications

**Terminals:** U terminals 1-12

**Accuracy:**  $\pm(0.01\%$  of measurement + resolution), where resolution is 0.13  $\mu\text{s}$  divided by the number of cycles to be measured

## Ranges:

- Minimum signal centered around specified period average threshold.
- Maximum signal centered around data logger ground.
- Maximum frequency =  $1/(2 * (\text{minimum pulse width}))$  for 50% duty cycle signals

Gain Code Option	Voltage Gain	Minimum Peak to Peak Signal (mV)	Maximum Peak to Peak Signal (V)	Minimum Pulse Width ( $\mu\text{s}$ )	Maximum Frequency (kHz)
0	1	500	10	2.5	200
1	2.5	50	2	10	50
2	12.5	10	2	62	8
3	64	2	2	100	5

## Static vibrating wire measurement specifications

Up to 6 static vibrating wire measurements without thermistor measurements, or up to 3 static vibrating wire measurements with thermistor measurements. A U terminal pair both excites and measures vibrating wire transducers. Logarithmic sine-wave-frequency excitation is adjustable up to  $\pm 6$  V (12 V peak-to-peak), programmable from 100 Hz to 6.5 kHz, then followed by frequency domain measurements, one at a time.

**Terminals:** U1 - U12

**Input Resistance:** 4.75 k $\Omega$

**Measurement Type:** Differential voltage

**Range:**  $\pm 200$  mV

**Accuracy:**  $\pm 0.013\%$  of reading

**Resolution:** 0.001 Hz RMS

**Measurement Speed** (vibrating wire and thermistor combined): < 1 s

## Thermistor measurements specifications

6 U terminal pairs can be configured to measure two-wire thermistors directly using an on-board 5 k $\Omega$  resistor to complete the bridge. The U terminal pair both excites and measures the thermistor.

**Terminals:** U1 - U12

**Input Resistance:** 5 k $\Omega$   $\pm 0.1\%$ , 10 ppm/ $^{\circ}\text{C}$  completion resistor

**Measurement Type:** Single-ended voltage

**Range:**  $\pm 5000$  mV

**Resolution:** 0.001  $\Omega$  RMS

**Accuracy:**  $\pm 0.25\%$  of reading

## Current-loop measurement specifications

The data logger makes current-loop measurements by measuring across a current-sense resistor associated with the RS-485 resistive ground terminal.

**NOTE:**

Resistance to ground input for non-isolated 0-20 mA and 4-20 mA current loop measurements is available in CR6 dataloggers with serial numbers 7502 and greater.

**Terminal:** RG

**Maximum Input Voltage:** ±16 V

**Resistance to Ground:** 101 Ω

**Current Measurement Shunt Resistance:** 10 Ω

**Maximum Current Measurement Range:** ±80 mA

**Absolute Maximum Current:** ±160 mA

**Resolution:** ≤ 20 nA

**Accuracy**

- 0 to 40 °C: ±0.14% of reading
- -40 to 70 °C: ±0.26% of reading

## Pulse measurement specifications

The data logger can measure switch closure or high-frequency pulse signals on C and U terminals. Terminals are configured as pairs with options for pull-up or pull-down. Even-numbered U terminals can be configured as low-level AC inputs. Each terminal has its own independent 32-bit counter. Terminal pairs are U1 and U2, U3 and U4, through U11 and U12.

**NOTE:**

Conflicts can occur when a control port pair is used for different instructions ([TimerInput\(\)](#), [PulseCount\(\)](#), [SDI12Recorder\(\)](#), [WaitDigTrig\(\)](#)). For example, if C1 is used for [SDI12Recorder\(\)](#), C2 cannot be used for [TimerInput\(\)](#), [PulseCount\(\)](#), or [WaitDigTrig\(\)](#).

**Pulse Event:** Transition from logic low to logic high.

Terminal Pair Configuration	Logic Low	Logic High
5 V	≤ 1.5 V	≥ 3.5 V
3.3 V	≤ 0.8 V	≥ 2.0 V

**Maximum Input Voltage:** ±20 VDC

**Maximum Counts Per Channel:** 2<sup>32</sup>

**Maximum Counts Per Scan:** 2<sup>32</sup>

**Input Resistance:** 5 kΩ

**Accuracy:** ±(0.02% of reading + 1/scan)

## Switch closure input

**Terminals:** C1-C4, U1-U12

**Resistance:** Configurable in terminal pairs with 100 kΩ pull-up or pull-down

**Maximum Input Frequency:** 150 Hz

**Minimum Switch Closed Time:** 5 ms

**Minimum Switch Open Time:** 6 ms

**Maximum Bounce Time:** 1 ms open without being counted

**Software Debounce Time:** 3.3 ms

## High-frequency input

**Terminals:** C1-C4, U1-U12

**Resistance:** Configurable in terminal pairs with 100 kΩ pull-up or pull-down

**Typical Wave Form:** 5 or 3.3 VDC square wave

**Maximum Input Frequency:** 1 MHz

## Low-level AC input

**Terminals:** U2, U4, U6, U8, U10, U12

**NOTE:**

When an even numbered U terminal (for example, U2) is used for low-level AC pulse counting, its paired odd numbered terminal (U1 in this example) can be used only for switch-closure or high-frequency pulse counting or in the digital I/O control or state function.

**DC-offset rejection:** Internal AC coupling eliminates DC-offset voltages up to ±0.05 VDC

**Input Hysteresis:** 12 mV at 1 Hz

**Low-Level AC Pulse Input Ranges for U Terminals:**

Sine wave (mV RMS)	Range (Hz)
20	1.0 to 20
200	0.5 to 200
2000	0.3 to 10,000
5000	0.3 to 20,000

## Digital input/output specifications

Terminals configurable for digital input and output (I/O) including status high/low, pulse width modulation, external interrupt, edge timing, switch closure pulse counting, high-frequency pulse counting, UART1, RS-232<sup>2</sup>, RS-485<sup>3</sup>, SDM<sup>4</sup>, SDI-12<sup>5</sup>, I2C<sup>6</sup>, and SPI<sup>7</sup> function. Terminals are configurable in pairs for 5 V or 3.3 V logic for some functions.

<sup>1</sup>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter for asynchronous serial communications.

<sup>2</sup>Recommended Standard 232. A loose standard defining how two computing devices can communicate with each other. The implementation of RS-232 in Campbell Scientific data loggers to computer communications is quite rigid, but transparent to most users. Features in the data logger that implement RS-232 communication with smart sensors are flexible.

<sup>3</sup>Recommended Standard 485. A standard defining how two computing devices can communicate with each other.

<sup>4</sup>Synchronous Device for Measurement. A processor-based peripheral device or sensor that communicates with the data logger via hardware over a short distance using a protocol proprietary to Campbell Scientific.

<sup>5</sup>Serial Data Interface at 1200 baud. Communication protocol for transferring data between the data logger and SDI-12 compatible smart sensors.

<sup>6</sup>Inter-Integrated Circuit is a multi-master, multi-slave, packet switched, single-ended, serial computer bus.

<sup>7</sup>Serial Peripheral Interface - a clocked synchronous interface, used for short distance communications, generally between embedded devices.

**NOTE:**

Conflicts can occur when a control port pair is used for different instructions (`TimerInput()`, `PulseCount()`, `SDI12Recorder()`, `WaitDigTrig()`). For example, if C1 is used for `SDI12Recorder()`, C2 cannot be used for `TimerInput()`, `PulseCount()`, or `WaitDigTrig()`.

**Maximum Input Voltage:** ±20 V

**Logic Levels and Drive Current:**

Terminal Pair Configuration	5 V Source	3.3 V Source
Logic low	≤ 1.5 V	≤ 0.8 V
Logic high	≥ 3.5 V	≥ 2.5 V
C1 - C4	10 mA @ 3.5V	10 mA @ 1.85V
U odd	20 mA @ 3.5V	20 mA @ 1.85V
U even	10 mA @ 3.5V	10 mA @ 1.85V

### Edge timing

**Terminals:** C1-C4, U1-U12

**Maximum Input Frequency:** ≤ 1 kHz

**Resolution:** 520 ns

### Edge counting

**Terminals:** C1-C4, U1-U12

**Maximum Input Frequency:** ≤ 2.2 kHz

### Quadrature input

**Terminals:** C1-C4 and U1-U12 can be configured as digital pairs to monitor the two sensing channels of an encoder.

**Maximum Frequency:** 2.5 kHz

**Resolution:** 31.25 μs or 32 kHz

### Pulse-width modulation

**Modulation Voltage:** Logic high

**Maximum Period:** 128 seconds

**Resolution:**

- **0 to ≤ 5 ms:** 1/12 MHz or 83.33 ns
- **> 5 to ≤ 300 ms:** 187.62 kHz or 5.33 μs
- **> 300 ms:** 1/32 kHz or 31.25 μs

## Communications specifications

**Ethernet Port:** RJ45 jack, 10/100Base Mbps, full and half duplex, Auto-MDIX, magnetic isolation, and TVS surge protection.

**Internet Protocols:** Ethernet, PPP, RNDIS, ICMP/Ping, Auto-IP (APIPA), IPv4, IPv6, UDP, TCP, TLS, DNS, DHCP, SLAAC, Telnet, HTTP(S), FTP(S), POP3/TLS, NTP, SMTP/TLS, SNMPv3, CS I/O IP

**Additional Protocols:** CPI, PakBus, PakBus Encryption, SDM, SDI-12, Modbus RTU / ASCII / TCP, DNP3, custom user definable over serial, UDP, NTCIP, NMEA 0183, I2C, SPI

**USB Device:** Micro-B device for computer connectivity

**CS I/O:** 9-pin D-sub connector to interface with Campbell Scientific CS I/O peripherals.

**0 – 5 V Serial** (U1 to U12, C1 to C4): Eight independent TX/RX pairs

**SDI-12** (C1, C3, U1, U3, U5, U7, U9, U11): Eight independent SDI-12 compliant terminals are individually configured and meet SDI-12 Standard v 1.4.

**RS-485** (C1 to C4): One full duplex or two half duplex

**RS-232/CPI:** Single RJ45 module port that can operate in one of two modes: CPI or RS-232. CPI interfaces with Campbell Scientific CDM measurement peripherals and sensors. RS-232 connects, with an adapter cable, to computer, sensor, or communications devices serially.

**CPI:** One CPI bus. Up to 1 Mbps data rate. Synchronization of devices to 5 μs. Total cable length up to 610 m (2000 ft). Up to 20 devices. CPI is a proprietary interface for communications between Campbell Scientific data loggers and Campbell Scientific CDM peripheral devices. It consists of a physical layer definition and a data protocol.

**Antenna Connection:**

- Wi-Fi
- SS 900 MHz
- 2.4 GHz

**Wireless:** Wi-Fi, VHF, UHF, spread spectrum, ELOS

**Hardwired:** Multi-drop, short haul, RS-232, fiber optic

**Satellite:** GOES, Argos, Inmarsat Hughes, Iridium

### Wi-Fi option specifications

WLAN (Wi-Fi) (CR6-WIFI only)

**Maximum Possible Over-the-Air Data Rates:** <11 Mbps over 802.11b, <54 Mbps over 802.11g, <72 Mbps over 802.11n

**Operating Frequency:** 2.4 GHz, 20 MHz bandwidth

**Antenna Connector:** Reverse Polarity SMA (RPSMA)

**Antenna** (shipped with data logger): Unity gain (0 dBd), 1/2 wave whip, omnidirectional. Features an articulating knuckle joint that can be oriented vertically or at right angles

**Supported Technologies:** 802.11 b/g/n, WPA/WPA2-Personal, WPA/WPA2-Enterprise Security, WEP

**Client Mode:** WPA/WPA2-Personal and Enterprise, WEP

**Access Point Mode:** WPA2-Personal

**Receive Sensitivity:** -97 dBm

### RF radio option specifications

**Antenna Terminal:** Reverse Polarity SMA (RPSMA)

**Radio Type**

- **RF407, RF412, RF427, and RF451:** Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)
- **RF422:** SRD860 Radio with Listen before Talk (LBT) and Automatic Frequency Agility (AFA)

## Frequency

- **RF407:** 902 to 928 MHz (US, Canada)
- **RF412:** 915 to 928 MHz (Australia, New Zealand)
- **RF422:** 863 to 870 MHz (European Union)
- **RF427:** 902 to 907.5 MHz/915 to 928 MHz (Brazil)
- **RF451:** 902 to 928 MHz

## Transmit Power Output (software selectable)

- **RF407** and **RF412:** 5 to 250 mW
- **RF422:** 2 to 25 mW
- **RF427:** 5 to 250 mW
- **RF451:** 10 mW to 1,000 mW

## Channel Capacity

- **RF407:** Eight 25-channel hop sequences sharing 64 available channels.
- **RF412:** Eight 25-channel hop sequences sharing 31 available channels.
- **RF422:** Ten 30-channel hop sequences (default), software configurable to meet local regulations; 10 sequences for reducing interference through channel hop.
- **RF427:** Eight 25-channel hop sequences sharing 43 available channels.
- **RF451:** 50 to 112 user-selectable channels for a given network.

## Receive Sensitivity

- **RF407, RF412, and RF427:** -101 dBm
- **RF422:** -106 dBm
- **RF451:**
  - -108 dBm at 115.2 kbps for  $10^{-4}$  BER
  - -103 dBm at 153.6 kbps for  $10^{-4}$  BER

## RF Data Rate

- **RF407, RF412, and RF427:** 200 kbps
- **RF422:** 10 kbps
- **RF451:** 115.2 or 153.6 kbps

## Standards compliance specifications

View EU Declarations of Conformity at [www.campbellsci.com/cr6](http://www.campbellsci.com/cr6).

**Shock and Vibration:** MIL-STD 810G methods 516.6 and 514.6

**Protection:** IP50

### EMI and ESD protection:

- **Immunity:** Meets or exceeds following standards:
  - **ESD:** per IEC 61000-4-2;  $\pm 15$  kV air,  $\pm 8$  kV contact discharge
  - **Radiated RF:** per IEC 61000-4-3; 10 V/m, 80-1000 MHz
  - **EFT:** per IEC 61000-4-4; 4 kV power, 4 kV I/O
  - **Surge:** per IEC 61000-4-5; 4 kV power, 4kV I/O
  - **Conducted RF:** per IEC 61000-4-6; 10 V power, 10 V I/O
- Emissions and immunity performance criteria available on request.

## RF407 Option

- United States FCC Part 15.247: MCQ-XB900HP
- Industry Canada (IC): 1846A-XB900HP
- Mexico IF: RCPDIXB15-0672-A1

## RF412 Option

- ACMA RCM
- United States FCC Part 15.247:
- MCQ-XB900HP
- Industry Canada (IC): 1846A-XB900HP

**RF422 Option:** View EU Declarations of Conformity at [www.campbellsci.com/cr6](http://www.campbellsci.com/cr6).

**RF427 Option:** Brazil ANATEL standards in Resolution No. 506: 08335-17-10644

## RF451 Option:

- United States FCC ID: KNYAMM0921TT
- Industry Canada (IC): 2329B-AMM0921TT

## WIFI Option

- United States FCC ID: XF6-RS9113SB
- Industry Canada (IC): 8407A-RS9113SB

### NOTE:

The user is responsible for emissions if changing the antenna type or increasing the gain.

## Warranty

**Standard:** Three years against defects in materials and workmanship.

**Extended (optional):** An additional four years. against defects in materials and workmanship, bringing the total to 7 years.

## Terminal functions

Analog input terminal functions													
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	U11	U12	RG
Single-Ended Voltage	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Differential Voltage	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	
Ratiometric/Bridge	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Vibrating Wire (Static, VSPECT®)	✓		✓		✓		✓		✓		✓		
Vibrating Wire with Thermistor	✓			✓			✓			✓			
Thermistor	✓		✓		✓		✓		✓		✓		
Thermocouple	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Current Loop													✓
Period Average	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

Pulse counting terminal functions													
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	U11	U12	C1-C4
Switch-Closure	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
High Frequency	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Low-level Ac		✓		✓		✓		✓		✓		✓	

Analog output terminal functions	
	U1-U12
Switched Voltage Excitation	✓
Switched Current Excitation	✓

Voltage output terminal functions						
	U1-U12	C1-C4	12V	SW12-1	SW12-2	5V
3.3 VDC	✓	✓				
5 VDC	✓	✓				✓
12 VDC			✓	✓	✓	

C and even numbered U terminals have limited drive capacity. Voltage levels are configured in pairs.

Communications terminal functions																	
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	U11	U12	C1	C2	C3	C4	RS-232/ CPI
SDI-12	✓		✓		✓		✓		✓		✓		✓		✓		
GPS Time Sync	PPS	Rx											Tx	Rx	Tx	Rx	
TTL 0-5 V	Tx	Rx	Tx	Rx	Tx	Rx	Tx	Rx	Tx	Rx	Tx	Rx	Tx	Rx	Tx	Rx	
LVTTL 0-3.3 V	Tx	Rx	Tx	Rx	Tx	Rx	Tx	Rx	Tx	Rx	Tx	Rx	Tx	Rx	Tx	Rx	
RS-232													Tx	Rx	Tx	Rx	✓
RS-485 (Half Duplex)													A-	B+	A-	B+	
RS-485 (Full Duplex)													Tx-	Tx+	Rx-	Rx+	
I2C	SCL	SDA	SCL	SDA	SCL	SDA	SCL	SDA	SCL	SDA	SCL	SDA	SCL	SDA	SCL	SDA	
SPI	MOSI	SCLK	MISO		MOSI	SCLK	MISO		MOSI	SCLK	MISO		MOSI	SCLK	MISO		
SDM	Data	Clk	Enabl		Data	Clk	Enabl		Data	Clk	Enabl		Data	Clk	Enabl		
CPI/ CDM																	✓

Digital I/O terminal functions		
	U1-U12	C1-C4
General I/O	✓	✓
Pulse-Width Modulation Output	✓	✓
Timer Input	✓	✓
Interrupt	✓	✓
Quadrature	✓	✓





# Global Sales & Support Network

*A worldwide network to help meet your needs*



## Australia

*Location:* Garbutt, QLD Australia  
*Phone:* 61.7.4401.7700  
*Email:* [info@campbellsci.com.au](mailto:info@campbellsci.com.au)  
*Website:* [www.campbellsci.com.au](http://www.campbellsci.com.au)

## Brazil

*Location:* São Paulo, SP Brazil  
*Phone:* 11.3732.3399  
*Email:* [vendas@campbellsci.com.br](mailto:vendas@campbellsci.com.br)  
*Website:* [www.campbellsci.com.br](http://www.campbellsci.com.br)

## Canada

*Location:* Edmonton, AB Canada  
*Phone:* 780.454.2505  
*Email:* [dataloggers@campbellsci.ca](mailto:dataloggers@campbellsci.ca)  
*Website:* [www.campbellsci.ca](http://www.campbellsci.ca)

## China

*Location:* Beijing, P. R. China  
*Phone:* 86.10.6561.0080  
*Email:* [info@campbellsci.com.cn](mailto:info@campbellsci.com.cn)  
*Website:* [www.campbellsci.com](http://www.campbellsci.com)

## Costa Rica

*Location:* San Pedro, Costa Rica  
*Phone:* 506.2280.1564  
*Email:* [info@campbellsci.cc](mailto:info@campbellsci.cc)  
*Website:* [www.campbellsci.cc](http://www.campbellsci.cc)

## France

*Location:* Vincennes, France  
*Phone:* 0033.0.1.56.45.15.20  
*Email:* [info@campbellsci.fr](mailto:info@campbellsci.fr)  
*Website:* [www.campbellsci.fr](http://www.campbellsci.fr)

## Germany

*Location:* Bremen, Germany  
*Phone:* 49.0.421.460974.0  
*Email:* [info@campbellsci.de](mailto:info@campbellsci.de)  
*Website:* [www.campbellsci.de](http://www.campbellsci.de)

## India

*Location:* New Delhi, DL India  
*Phone:* 91.11.46500481.482  
*Email:* [info@campbellsci.in](mailto:info@campbellsci.in)  
*Website:* [www.campbellsci.in](http://www.campbellsci.in)

## South Africa

*Location:* Stellenbosch, South Africa  
*Phone:* 27.21.8809960  
*Email:* [sales@campbellsci.co.za](mailto:sales@campbellsci.co.za)  
*Website:* [www.campbellsci.co.za](http://www.campbellsci.co.za)

## Spain

*Location:* Barcelona, Spain  
*Phone:* 34.93.2323938  
*Email:* [info@campbellsci.es](mailto:info@campbellsci.es)  
*Website:* [www.campbellsci.es](http://www.campbellsci.es)

## Thailand

*Location:* Bangkok, Thailand  
*Phone:* 66.2.719.3399  
*Email:* [info@campbellsci.asia](mailto:info@campbellsci.asia)  
*Website:* [www.campbellsci.asia](http://www.campbellsci.asia)

## UK

*Location:* Shepshed, Loughborough, UK  
*Phone:* 44.0.1509.601141  
*Email:* [sales@campbellsci.co.uk](mailto:sales@campbellsci.co.uk)  
*Website:* [www.campbellsci.co.uk](http://www.campbellsci.co.uk)

## USA

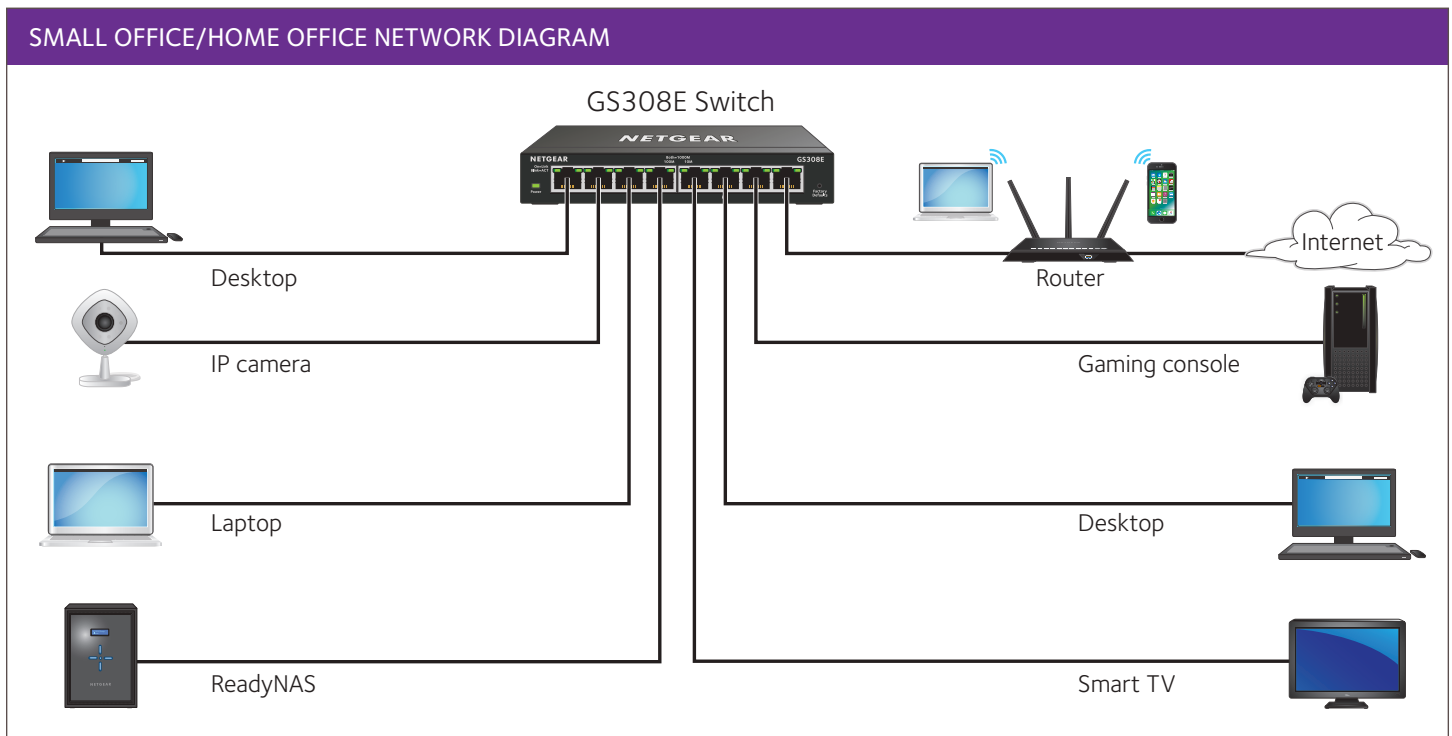
*Location:* Logan, UT USA  
*Phone:* 435.227.9120  
*Email:* [info@campbellsci.com](mailto:info@campbellsci.com)  
*Website:* [www.campbellsci.com](http://www.campbellsci.com)





### Expanding Wired Connectivity for SOHO Networks

NETGEAR® Smart Managed Plus Switches meet this growing need by providing fundamental network features such as VLANs, QoS, and IGMP Snooping that will help optimize the performance of business networks. Smart Managed Plus Switches are the perfect upgrade from the plug-and-play unmanaged switch, delivering essential networking features at a very affordable price.

- Enable network configuration and management at the price point of Unmanaged Switches
- Simple, yet useful network set-up on top of plug-and-play connectivity
- Flexible management via easy-to-use web browser-based management GUI or using the PC-based Utility application
- VLAN support for traffic segmentation
- Quality of Service (QoS) for traffic prioritization
- Auto “denial-of-service” (DoS) prevention
- Troubleshoot connection issues via cable test
- Loop detection and broadcast storm controls
- Rate limiting for better bandwidth allocation
- Port mirroring for network monitoring
- Jumbo frame support



### GS300 Series Comparison

Features	GS305E	GS308E
		
Gigabit ports	5	8
Max MAC entries	8K	4K
Buffer Size	128KB	192KB
Energy Efficient Ethernet (IEEE 802.3az) compliant	Yes	Yes
<b>PERFORMANCE SPECIFICATIONS</b>		
Forwarding modes	Store-and-forward	
Bandwidth	10Gbps	16Gbps
Priority queuing	Weighted Round Robin (WRR), Strict Priority, or both	
Jumbo frame support	Up to 9K packet size	
Acoustic noise level @ 25° C (dBA) (ANSI-S10.12)	0	0
Mean Time Between Failures (MTBF) @ 25° C	2,531,294 hours	1,638,156 hours
<b>L2 SERVICES - VLANS</b>		
VLAN (# Supported)	64	32
IEEE 802.1Q VLAN Tagging	Yes	Yes
Port-based VLANs	Yes	Yes
<b>L2 Services - AVAILABILITY</b>		
Link Aggregation/ Port Trunking	No	No
Number of Static Manual LAGs and # of members	N/A	N/A
<b>L2 SERVICES - MULTICAST FILTERING</b>		
IGMP snooping (v1, v2, and v3)	Yes	
Block unknown multicast	Yes	
Supported Multicast groups	128	128
<b>L3 SERVICES - DHCP</b>		
DHCP client	Yes	
<b>QUALITY OF SERVICE (QOS)</b>		
Rate Limiting	Yes	
DSCP	Yes	No
IEEE 802.1p COS	Yes	
Port-based VLAN	Yes	
TOS	Yes	No
WRR (Weighted Round Robin)	Yes	
Strict Priority queue technology	Yes	

### GS300 Series Comparison

Features	GS305E	GS308E
<b>IEEE STANDARDS SUPPORTED</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>IEEE 802.3 Ethernet</li> <li>IEEE 802.3ab 1000BASE-T</li> <li>IEEE 802.3u 100BASE-T</li> <li>IEEE 802.3ab 1000BASE-T</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>IEEE 802.1p Class of Service</li> <li>IEEE 802.1Q VLAN Tagging</li> <li>IEEE 802.3x Full-duplex Flow Control</li> </ul>	
<b>MANAGEMENT</b>		
System Password		Yes
Web browserbased management GUI		Yes
PC Utility		Yes
Port Mirroring		Yes
Max number of source ports allowed (many-to-one port mirroring)	4	7
Many-to-one Port Mirroring		Yes
Cable Test Utility		Yes
FW Upgrade Thru Plus Utility (TFTP)		Yes
Config download (to Switch) thru Plus Utility		Yes
Config upload (to server)		Yes
<b>LEDS</b>		
Per port	Speed, Link, Activity	
Per device	Power, system	
<b>PHYSICAL SPECIFICATIONS</b>		
Dimensions (W x D x H)	94 x 100 x 27 mm (3.7 x 3.9 x 1.1 in)	158 x 101 x 29 mm (6.2 x 4 x 1.1 in)
Weight	0.25kg	0.5kg
<b>ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS</b>		
<b>Operating</b>		
Operating temperature	32° to 122°F (0° to 50°C)	0° to 40°C
Humidity (relative)	90% maximum relative humidity (RH), non-condensing	
Altitude	10,000 ft (3,000 m) maximum	
<b>Storage</b>		
Storage temperature	- 4° to 158°F (-20° to 70°C)	
Humidity (relative)	95% maximum relative humidity (RH), non-condensing	
Altitude	10,000 ft (3,000 m) maximum	
<b>ELECTROMAGNETIC EMISSIONS AND IMMUNITY</b>		
Certifications	CE mark, commercial FCC Part 15 class B CE/EN55032/24 VCCI ACMA	

### GS300 Series Comparison

Features	GS305E	GS308E
WARRANTY AND SUPPORT		
All Except China	3-year warranty	
China	1-year warranty	
Technical Support (online, phone)	90 days free from date of purchase*	
ProSUPPORT OnCall 24x7 Service Plans	Category S1: PMBOS11-10000S PMBOS31-10000S PMBOS51-10000S	

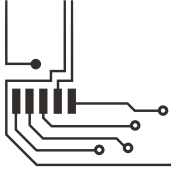
\*This product comes with a limited warranty that is valid only if purchased from a NETGEAR authorized reseller, and covers unmodified hardware, fans and internal power supplies – not software or external power supplies, and requires product registration at <https://www.netgear.com/business/registration> within 90 days of purchase; see <https://www.netgear.com/about/warranty> for details. Intended for indoor use only.

† NETGEAR #1 in US Market Share according to NPD data for Unmanaged and Web/Smart Switches, August 2018. NETGEAR #1 in Europe Market Share according to Context data for Unmanaged and Web/Smart Switches, June 2018.

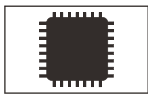
NETGEAR, the NETGEAR logo are trademarks and/or registered trademarks of NETGEAR, Inc. and/or its subsidiaries in the United States and/or other countries. Other brand names mentioned herein are for identification purposes only and may be trademarks of their respective holder(s). Information is subject to change without notice. © 2019 NETGEAR, Inc. All rights reserved.

NETGEAR, Inc. 350 E. Plumeria Drive, San Jose, CA 95134-1911 USA, 1-888-NETGEAR (638-4327), E-mail: [info@NETGEAR.com](mailto:info@NETGEAR.com), [www.NETGEAR.com](http://www.NETGEAR.com)

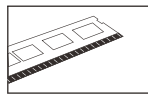
D-GS305E/GS308E-29Apr19



(All photos here are for reference only, Specifications are subject to the physical product.)



Intel@SkyLake



SODIMM  
DDR3L 1600



VGA+DVI



Gigabit LAN



Fanless

### Features

- Intel® Sky Lake/KabyLake(R) U-series Core CPU
- SODIMM DDR4
- Intel® HD Graphics Integrated graphic card
- VGA+DVI Synch. or asynch. display
- 2 x Intel®I211 GbE LAN RJ45
- 8 x Rs232 TX/RX signal
- 6 x USB3.0/2.0 Port, 2 x USB2.0 Pin-Header
- 1 x Mini PCIeX1, 1 x SATA, 1 x M-SATA
- Support 3G/4G communication module
- DC Voltage input DC9-30V extended voltage input

### Specifications

<b>Processor</b>	CPU	SkyLake/KabyLake(R) U-series Core CPU
	CPU Package	BGA On Board
	Chipset	SOC
	BIOS	System BIOS: SPI BIOS
<b>Memory</b>	Architecture	Dual channel DDR3L
	Capacity	Max. 32GB
	Socket	2* DDR3L SODIMM
<b>Display</b>	Graphic Controller	Intel Integrated graphic card
	VGA	Max. resolution: 2K@60Hz
	DVI	Max. resolution: 4K@60Hz
	Dual Display	VGA+DVI Synch. or asynch. display
<b>Ethernet</b>	Controller	LAN 1: Intel I211 GbE LAN (Optional POE) LAN 2: Intel I211 GbE LAN (Optional POE)
	Controller	NT6106 · support system temp. monitoring
<b>Super I/O</b>	Watch Dog Timer	0~255sec., providing Watch Dog program
	Controller	Realtek HD ALC662 audio decoder (right & left channel + MIC)
<b>Audio</b>	USB 3.0	6 x USB 3.0/2.0 PORT
	USB 2.0	2 x USB 2.0 PORT
<b>I/O</b>	Serial Port	Com1 9-wire RS232 TX/RX signal, support 4000V surge protection, DB9 port
		Com2 3-wire RS232 TX/RX signal, support 4000V surge protection, DB9 port
		Com3-COM4 3-wire RS232/RS485(optional), RS232 TX/RX signal, support 4000V surge protection, RS485 support 3KV isolation protection, DB9 port
		COM5-COM6 3-wire RS232TX/RX signal, support 4000V surge protection, DB9 port
		COM7-COM10 RS232/485 optional (jumper setting), support 4000V surge protection
GPIO	1* Full-size Mini-PCIe slot, support PCIe & USB devices.	
<b>Expansion Bus</b>	Mini-PCIe	Db15 male, 12bit, program available, freely-defined I/O, 3.3V@24mA
	UIM Socket	1* Full-size Mini-PCIe socket, support PCIe & USB device
<b>Storage</b>	SATA	3G UIM Card socket
	M-SATA	1* standard 7Pin SATA-III & power connector, transmission rate: max. 3Gb/s
<b>Power</b>	Power Type	1* full-size Mini-PCIe socket, support m-SATA SSD, transmission rate: max. 3Gb/s
	Power Consumption	AT/ATX(optional), DC9-30V extended voltage input, support power reverse & over-voltage protection. Support max. 50W (Including POE)
<b>Other</b>	POWER LED/HDD LED	
	POWER BUTTOM	
<b>Environment</b>	Operating Temp.	-20°C ~ 60°C
	Storage Temp.	-40°C ~ 80°C
	Operating Humidity	0% ~ 90% relative humidity, non-condensing
<b>Formfactor</b>	Storage Humidity	0% ~ 90% relative humidity, non-condensing
	Dimensions	215 x 136 x 50mm
<b>Certificate</b>	Weight	
		FCC, CE, RoHS

### Ordering Information

#### NIS-S991 i3-6100U

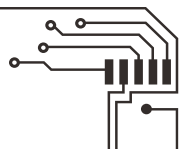
Intel® Core i3-6100U 2.3GHz CPU, Dual-core four thread, 6\*USB 3.0, 2\*USB 2.0, 2\*LAN, 8\*COM, VGA+DVI Synch. or asynch. display, 1x Mini-PCIe, support M-SATA SSD

#### NIS-S991 i5-6200U

Intel® Core i5-6200U 2.3GHz CPU, Dual-core four thread, 6\*USB 3.0, 2\*USB 2.0, 2\*LAN, 8\*COM, VGA+DVI Synch. or asynch. display, 1x Mini-PCIe, support M-SATA SSD

#### NIS-S991 i7-6500U

Intel® Core i7-6500U 2.5GHz CPU, Dual-core four thread, 6\*USB 3.0, 2\*USB 2.0, 2\*LAN, 8\*COM, VGA+DVI Synch. or asynch. display, 1x Mini-PCIe, support M-SATA SSD



**CMS-10ADF****6 analogue / digital inputs | 4 relay outputs | 12 ... 48 V DC****Power supply**

Nominal voltage	12 ... 48 V DC
Operating voltage range	10 ... 60 V DC
Power consumption AC/DC	4.2 W

**Inputs**

Number of analogue / digital inputs	6
Nominal voltage digital inputs	12 ... 48 V DC
High level threshold digital Inputs	9.5 V DC
Nominal range analogue inputs	0 ... 10 V
Resolution of analogue inputs	10 Bit

**Outputs**

Number of relay outputs	4
Contact Material	⚡ AgNi
Rated voltage	250 V AC
Rated current	10 A
Minimum contact load relay outputs	10 mA, 12V
Inrush current	15 A, 20 ms
Rated load AC-1	2500 VA
Mechanical endurance	3 x 10 <sup>7</sup>
Electrical endurance at rated load AC-1	150 000

**Communication**

Communication standards	GSM (2G)
Frequencies	850 / 900 / 1800 / 1900 MHz
Antenna connector	SMA female

**Insulation**

Rated test voltage control / main circuit	2.5 kV, 1 min
Rated test voltage main / main circuit	2.5 kV, 1 min
Pollution degree	3
Overvoltage category	II

**General data**

Ambient temperature storage	-40 ... 85 °C
Ambient temperature operation	-25 ... 55 °C
Conductor cross section	2.5 mm <sup>2</sup>
Nominal screw torque	0.5 Nm
Weight	120 g
Protection degree	IP20
Housing material	PC

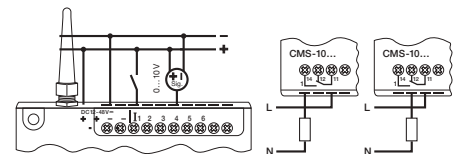
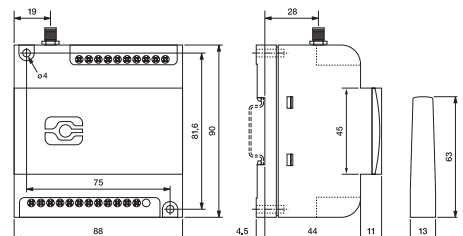
**Product references**

Types	Product reference	12-48
DC supply	CMS-10ADF/DC...V	✓
DC supply, kit (*included accessories)	CMS-10ADFKIT/DC...V	✓

"..." list control circuit voltage to complete product references.

**Accessories**

Antennas	CMS-ANT-SPEZ/5M, CMS-ANT-MAG/2.5M*
Antenna cables	CMS-ANT-KAB/5M, CMS-ANT-KAB/10M, CMS-ANT-KAB/20M
Programming cable	CMS-RS232*
USB to serial converter	CMS-USB*
Power supply 15W, 24V	DR-15-24
Power supply 30W, 24V	DR-30-24
PT100 / PT1000 amplifier	MV-LKM-274
Indoor temperature sensor with display, 0 ... 50 °C	CRF01-U-D
Indor temperature sensor, 0 ... 50 °C	CRF01-U
Exterior temperature sensor, -50 ... +50 °C	CWF50-EXT-U4
Thermostat, 5 ... 30 °C	CRTBSB-001-010
Temperature / humidity sensor	KS-110
Water level sensor	PS1

**fig. 1. Wiring diagram****fig. 2. Dimensions (mm)****Standards and approvals**

Standards IEC/EN 60947, IEC/EN60730

Approvals



## CMS-10 remote monitoring and control features

	Description	Detail	CMS-10F	CMS-10ADF	CMS-10ACDF
General	Periodic notification	daily, weekly, monthly	●	●	●
	Notification at power fail		●	●	●
	Notification at startup		●	●	●
	Status notification upon request		●	●	●
	Up to five receivers per notification selectable		●	●	●
	Notification escalation		●	●	●
Inputs	Digital inputs		●		
	Analogue (0 ... 10 V) / digital inputs			●	●
	Analogue inputs 4 ... 20 mA				●
	Notification digital input "on"		●	●	●
	Notification digital input "off"		●	●	●
	Analogue value: scaling according sensor unit		●	●	●
					
	SMS notification analogue input value < lower level			●	●
					
	SMS notification analogue input value > lower level			●	●
					
	SMS notification analogue input value > upper level			●	●
					
	SMS notification analogue input value < upper level			●	●
Notification of analogue value in event of value change	Change > x			●	●
Periodic notification of analogue values				●	●
Notification delay	0.1 s ... 99.9 h		●	●	●
Outputs	Relay outputs		●	●	●
	Call-in function		●	●	●
	Switch on		●	●	●
	Switch off		●	●	●
	Output on for set time	0.1 s ... 99.9 h		●	●



**CMS-10F****6 digital inputs | 4 relay outputs | 12 ... 48 V DC | 110 ... 240 V AC****Power supply**

Nominal voltage	12 ... 48 V DC	110 ... 240 V AC
Operating voltage range	10 ... 60 V DC	85 ... 250 V AC
Power consumption AC/DC	8 VA / 4.2 W	
Rated frequency	45 ... 63 Hz	

**Inputs**

Number of digital inputs	6	
Nominal voltage digital inputs	12 ... 48 V DC	110 ... 240 V AC
High level threshold digital Inputs	9.5 V DC	85 V AC

**Outputs**

Number of relay outputs	4
Contact Material	⚡ AgNi
Rated voltage	250 V AC
Rated current	10 A
Minimum contact load relay outputs	10 mA, 12V
Inrush current	15 A, 20 ms
Rated load AC-1	2500 VA
Mechanical endurance	3 x 10 <sup>7</sup>
Electrical endurance at rated load AC-1	150 000

**Communication**

Communication standards	GSM (2G)
Frequencies	850 / 900 / 1800 / 1900 MHz
Antenna connector	SMA female

**Insulation**

Rated test voltage control / main circuit	2.5 kV, 1 min
Rated test voltage main / main circuit	2.5 kV, 1 min
Pollution degree	3
Overvoltage category	II

**General data**

Ambient temperature storage	-40 ... 85 °C
Ambient temperature operation	-25 ... 55 °C
Conductor cross section	2.5 mm <sup>2</sup>
Nominal screw torque	0.5 Nm
Weight	120 g
Protection degree	IP20
Housing material	PC

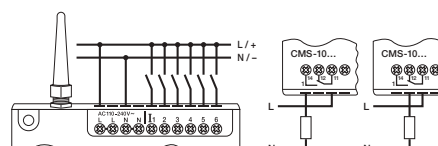
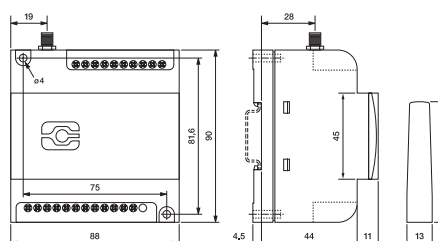
**Product references**

Types	Product reference	12-48	110-240
DC supply	CMS-10F/DC...V	✓	
DC supply, kit (*included accessories)	CMS-10FKIT/DC...V	✓	
AC supply	CMS-10F/AC...V		✓
AC supply, kit (*included accessories)	CMS-10FKIT/AC...V		✓

"..." list control circuit voltage to complete product references.

**Accessories**

Antennas	CMS-ANT-SPEZ/5M, CMS-ANT-MAG/2.5M*
Antenna cables	CMS-ANT-KAB/5M, CMS-ANT-KAB/10M, CMS-ANT-KAB/20M
Programming cable	CMS-RS232*
USB to serial converter	CMS-USB*
Power supply 15W, 24V	DR-15-24
Power supply 30W, 24V	DR-30-24
PT100 / PT1000 amplifier	MV-LKM-274
Indoor temperature sensor with display, 0 ... 50 °C	CRF01-U-D
Indor temperature sensor, 0 ... 50 °C	CRF01-U
Exterior temperature sensor, -50 ... +50 °C	CWF50-EXT-U4
Thermostat, 5 ... 30 °C	CRTBSB-001-010
Temperature / humidity sensor	KS-110
Water level sensor	PS1

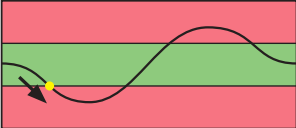
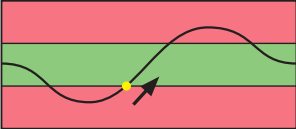
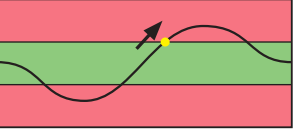
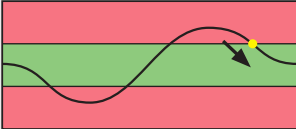
**fig. 1. Wiring diagram****fig. 2. Dimensions (mm)****Standards and approvals**

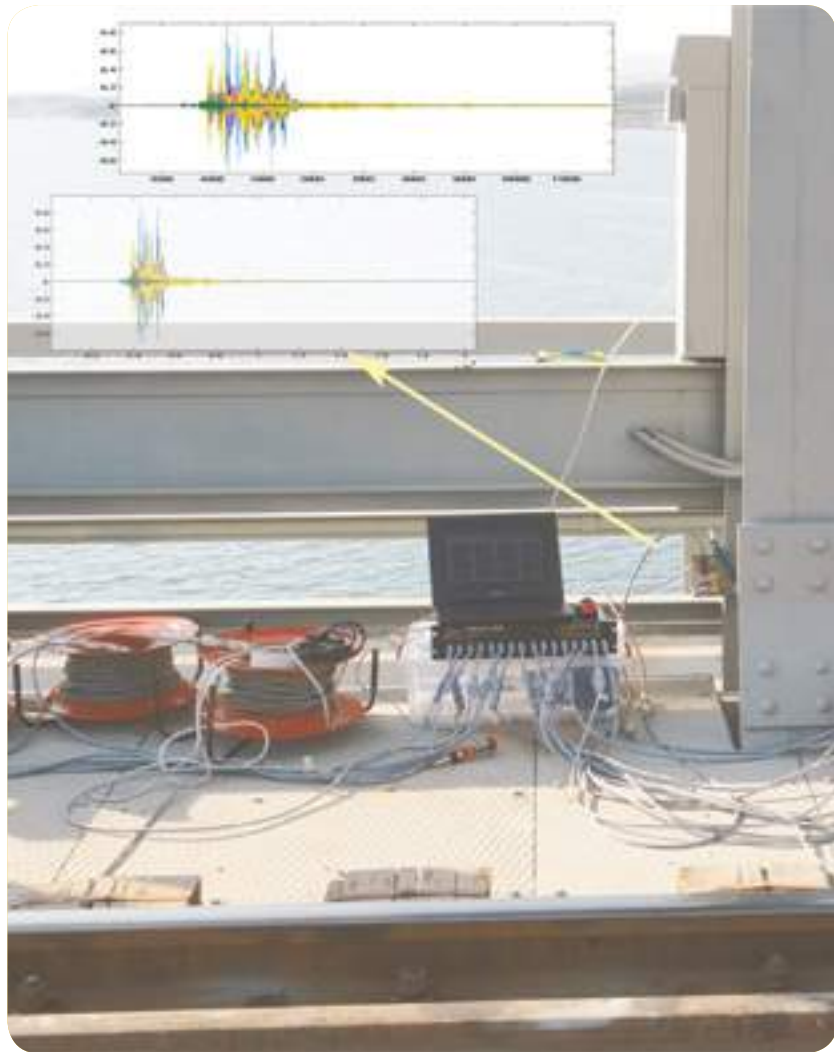
Standards IEC/EN 60947, IEC/EN60730

Approvals



## CMS-10 remote monitoring and control features

	Description	Detail	CMS-10F	CMS-10ADF	CMS-10ACDF
General	Periodic notification	daily, weekly, monthly	●	●	●
	Notification at power fail		●	●	●
	Notification at startup		●	●	●
	Status notification upon request		●	●	●
	Up to five receivers per notification selectable		●	●	●
	Notification escalation		●	●	●
Inputs	Digital inputs		●		
	Analogue (0 ... 10 V) / digital inputs			●	●
	Analogue inputs 4 ... 20 mA				●
	Notification digital input "on"		●	●	●
	Notification digital input "off"		●	●	●
	Analogue value: scaling according sensor unit		●	●	●
					
	SMS notification analogue input value < lower level			●	●
					
	SMS notification analogue input value > lower level			●	●
					
	SMS notification analogue input value > upper level			●	●
					
	SMS notification analogue input value < upper level			●	●
Notification of analogue value in event of value change	Change > x			●	●
Periodic notification of analogue values				●	●
Notification delay	0.1 s ... 99.9 h		●	●	●
Outputs	Relay outputs		●	●	●
	Call-in function		●	●	●
	Switch on		●	●	●
	Switch off		●	●	●
	Output on for set time	0.1 s ... 99.9 h		●	●



## TESTBOX2010 DYNAMIC DATA ACQUISITION / STRUCTURAL HEALTH MONITORING DEVICE

TESTBOX 2010 series is a data acquisition system which is developed for applications in Structural Health Monitoring, Civil Engineering Earthquake Engineering and other dynamic applications. The product which has signal amplifiers at channel inputs is compatible with most of the frequently preferred sensors in Civil Engineering tests such as strain gauge, load cell in addition to FBA, MEMs, ICP and other type accelerometers.

Thanks to simultaneous measurement character and high ADC resolution, this product which is mainly developed for ambient vibration and seismic applications is also an ideal solution for other civil, soil mechanics, geological and mining Engineering tests having static and dynamic characteristics. The device which accomplishes high technical performance at a very suitable cost compared to other similar products, has reached to widespread use in Turkey and other countries and has become the first preference of researchers in this area.



### DIRECT GPS TECHNOLOGY



1 Micro Second  
Direct ADC  
Synchronization

4 cm Mini Antenna  
Roof Type Antenna

Real-Time Clock  
Calendar

Hot Start Mode Which  
Facilities Locking  
Even in Closed Areas

### SENSOR CONNECTIONS



Plug/ Play Direct Sensor Connection (automatic sensor excitation)

Extra Durable Enclosure

Compatibility With All Seismic Sensors

Compatibility With Different Accelerometer Types

Strain Gauge, Load Cell etc. Compatibility with Civil Eng. Sensors



### BROAD SENSOR COMPATIBILITY



- Force-Balance/Force-Feedback Accelerometers
- ICP/IEPE Type Accelerometers\*
- MEMS Accelerometers
- Load Cells
- DC Type LVDT
- Potentiometric Sensors
- Strain Gauges\*\*
- Strain Based Sensors
- Pressure Sensors
- Voltage Output Sensors
- Civil Engineering Sensors

### SUB VERSIONS

4/8/16/20/24/32 Sensor Input Channels. More number of channels is possible with GPS synchronization.

### ACCESSORIES AND OPTIONS

GPS

Li-Ion Battery  
(Uninterrupted  
Power)

Standard  
Battery

Wi-Fi Wireless  
Ethernet

\*IEPE-CABLE is required for ICP/IEPE type accelerometers.

\*\*One TESTBOX Q cable is required for each channel where quarter and half bridge strain gauge measurement will be done





24 Bit Dynamic  
ADC Resolution

Dynamic Range  
up to 138 dB

Simultaneous  
Sampling and  
Dual-ARM  
Processor

Embedded  
Linux and Extra  
Durable Casing

EASY-REC  
Recording  
Technology

Easy Access via  
Ethernet and  
TCP/IP

High Capacity  
USB Storage

New and  
Innovative  
Technological  
Design Platform

Shock-Proof,  
Strong and  
Portable Design

TECHNICAL SPECIFICATIONS	
ADC Resolution	24 Bit
Synchronization	Simultaneous sampling - Seperate ADC per channel
Number of Analog Input Channels	4/8/16/20 /24 /32 channels per device (More number of channels is possible with GPS synchronization )
Dynamic Range	138 dB
Sampling speed (Max.)	4 channel version up to 16 kHz / channel (standard-2 kHz) 8 Channel version up to 8 kHz / channel (standard-2 kHz) 16 channel and above up to 4 kHz / channel (standard-2 kHz)
Channel Voltage Input Range(Programmable)	$\pm 12V / \pm 8.8V / \pm 4.4V / \pm 2.2V / \pm 1.1V / \pm 550mV / \pm 275mV / \pm 137.5mV / \pm 68.75 mV / \pm 34.4 mV / \pm 17.2 mV$
Input Signal Type	Differential (best performance) / single ended
Programmable Gain Options	1/8 - 1/4- 1/2 -1-2-4-8-16-32-64-128
Analog Filter	Anti-aliasing / low pass
DSP	Oversampling / downsampling / decimation / digital filter
Sensor Excitation Options	+5V, +12V, -12V (Standard)
Communication Interface	Ethernet
Storage	USB - Flash memory
Sensor Connectors	IP67, push-pull, round, 9 pin
Digital I/O	4 Input / 4 output
CPU	ARM-cortex / embedded linux
Enclosure	Shock-Proof mobile casing (NATO Cage code A7423)
Dimensions	12"L x 10.625" W x 5.6875" H - 4 channel version/ 16.125"L x13.375"W x 8.0625" H - 8 and 16 channel versions
Operating temperature	-20 ~ +55°C
Power Input	12 VDC / max. 40 watt

#### ORDERING CODES

TESTBOX2010	-	CH	-	GPS	-	LIO	-	AKU	-	WIFI
		4		GPS		code for Li-Ion uninterrupted battery support		code for standard battery support		code for wireless ethernet support
		8		Code for GPS support						
		16								
		20								
		24								
		32								
		do not leave empty								



DYNAMIC DATA ACQUISITION / STRUCTURAL HEALTH MONITORING DEVICE

# TESTBOX 2010

#### FIELDS OF APPLICATION

Structural Health Monitoring

Ambient Vibration/ Forced Vibration

Shake Table Tests

Civil / Earthquake Engineering

Operational Modal Analysis

Seismic Monitoring

Geological - Geophysical Researches

Mechanical, Mining and Oil Engineering

# RUT950

## LTE CAT4 INDUSTRIAL CELLULAR ROUTER

This router is equipped with Dual-SIM, 4 x Ethernet interfaces and WiFi. Device is designed as Main/ Backup Internet source and can guarantee reliable Internet connection with high data throughput and data redundancy. RUT950 comes with RutOS software and security features such as multiple VPN services, Firewall, Hotspot, Auto Failover, Load Balancing, SMS control and RMS support.



LTE Cat 4 with speeds up to 150 Mbps



Dual SIM – significantly reduce roaming costs



Automatic switch to available backup connection



4x Ethernet ports with VLAN functionality



Wireless Access Point with Hotspot functionality



Teltonika Remote Management System compatible



### RELIABLE

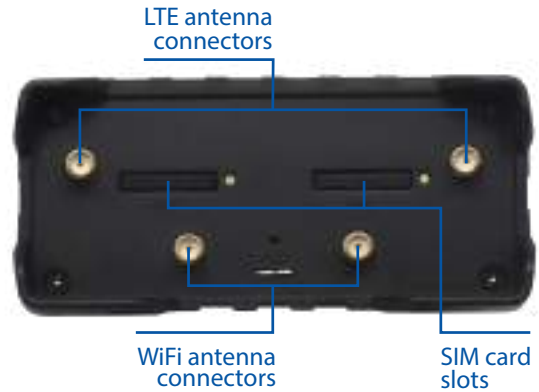
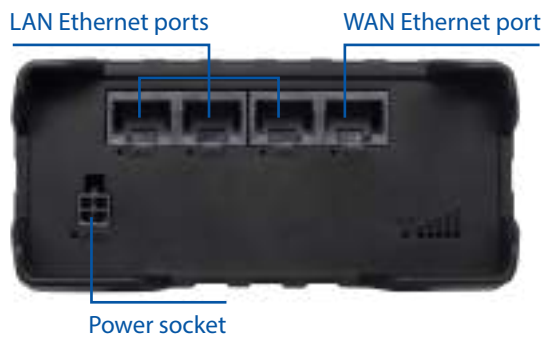
- Automatic SIM switch
- Self-diagnosing
- 3 alternative Internet sources

### ADVANCED

- Encrypted management with Remote Management System
- Supports wide range of industrial networking protocols
- Can support up to 100 WiFi clients

### SECURE

- Multiple VPN options
- Embedded Firewall
- Various encryption protocols supported



### Hardware

Mobile	4G (LTE) – Cat 4 DL up to 150 Mbps, UL up to 50 Mbps; DC-HSPA+; UMTS; TD-SCDMA; EDGE; GPRS
CPU	Atheros Wasp, MIPS 74Kc, 550 MHz
Memory	16 MBytes Flash, 128 MBytes DDR2 RAM
Ethernet	4 x 10/100 Ethernet ports: 1 x WAN (configurable as LAN), 3 x LAN ports
Power supply	9 – 30 VDC, 4 pin DC connector
PoE (passive)	Passive PoE over spare pairs. Possibility to power up through LAN port, <b>not compatible</b> with IEEE802.3af and 802.3at standards
Inputs/Outputs	1 x Digital Input, 1 x Digital Open Collector Output on power connector
Connectors	1 x 4 pin DC, 4 x Ethernet, 2 x Mobile SMA, 2 x WiFi RP-SMA
SIM	2 x external SIM holders
Status LEDs	1 x bi-color connection status, 5 x connection strength, 4 x LAN status, 1 x Power
Operating temperature	-40 °C to 75 °C
Housing	Aluminium housing, plastic panels
Dimensions	100 mm x 110 mm x 50 mm
Weight	256 g

### Software

Operating system	RutOS (OpenWrt based Linux OS)
SIM switch	2 SIM cards, auto-switch cases: weak signal, data limit, SMS limit, roaming, no network, network denied, data connection fail
Multiple PDN	Possibility to use different PDNs for multiple network access and services
Network protocols	TCP, UDP, IPv4, IPv6, ICMP, NTP, DHCP, DNS, HTTP, HTTPS, SSL v3, TLS, ARP, PPPoE, UPNP, SSH, Telnet, SNMP
Networking features	NAT, Static/Dynamic routing, Firewall, OpenVPN, IPsec, H.323 and SIP-alg protocol NAT helpers, allowing proper routing of VoIP packets
Unique networking features	VLAN, Load balancing, Mobile quota control, WEB Filter, Load Balancing, Network Backup, Auto Failover
Connection monitoring	Ping Reboot, Periodic Reboot, Wget Reboot, LCP and ICMP for link inspection
Authetication	Pre-shared key, digital certificates, X.509 certificates
Keep settings	Update FW without losing current configuration
Monitoring & Management	WEB UI, SSH, SMS, SNMP, JSON-RPC, FOTA, RMS
Supported languages	Busybox shell, Lua, C, C++
Development tools	SDK package with build environment provided





## BK500EI



Battery Backup & Surge Protector for Electronics and Computers

Includes: CD with software, Documentation CD, Qty 1 - Detachable 1.2 m IEC power cord, Qty 1- Detachable IEC Power Cord, Telephone Cable, USB cable, Warranty card

## Technical Specifications

### Output

<b>Max Configurable Power (Watts)</b>	300Watts / 500VA
<b>Output Frequency (sync to mains)</b>	47 - 63 Hz
<b>Output Frequency (not synced)</b>	50/60 Hz +/-1 Hz
<b>Topology</b>	Standby
<b>Waveform type</b>	Stepped approximation to a sinewave
<b>Transfer Time</b>	6ms typical : 10ms maximum

### Input

<b>Input frequency</b>	47 - 63 Hz, 50/60 Hz +/- 3 Hz (auto sensing)
<b>Input voltage range for main operations</b>	180 - 266V
<b>Input voltage adjustable range for mains operation</b>	160 - 300V
<b>Number of Power Cords</b>	2

### Batteries & Runtime

<b>Battery type</b>	Maintenance-free sealed Lead-Acid battery with suspended electrolyte : leakproof
<b>Typical recharge time</b>	8hour(s)
<b>Replacement Battery</b>	RBC2 <a href="#">↗</a>
<b>Expected Battery Life (years)</b>	4 - 6
<b>RBC Quantity</b>	1
<b>Battery Volt-Amp-Hour Capacity</b>	84
<b>Runtime</b>	<a href="#">View Runtime Graph</a> <a href="#">View Runtime Chart</a>
<b>Efficiency</b>	<a href="#">View Efficiency Graph</a>

### Communications & Management

<b>Interface Port(s)</b>	Optional Simple Signalling RS232 cable, USB
<b>Control panel</b>	LED status display with On Line : On Battery : Replace Battery and Overload indicators
<b>Audible Alarm</b>	Alarm when on battery : distinctive low battery alarm : overload continuous tone alarm

## Surge Protection and Filtering

<b>Surge energy rating</b>	310Joules
<b>Data Line Protection</b>	Analog phone line for phone/fax/modem/DSL (RJ-45 connector)
<b>Filtering</b>	Full time multi-pole noise filtering : 5% IEEE surge let-through : zero clamping response time : meets UL 1449

## Physical

<b>Maximum Height</b>	165MM, 16.5CM
<b>Maximum Width</b>	91MM, 9.1CM
<b>Maximum Depth</b>	284MM, 28.4CM
<b>Net Weight</b>	6.32KG
<b>Shipping weight</b>	7.05KG
<b>Shipping Height</b>	178MM, 17.8CM
<b>Shipping Width</b>	241MM, 24.1CM
<b>Shipping Depth</b>	368MM, 36.8CM
<b>Color</b>	Beige
<b>Master Carton Units</b>	1.0
<b>Units per Pallet</b>	48.0
<b>SCC Codes</b>	107 31304 01635 6

## Environmental

<b>Operating Temperature</b>	0 - 40 °C
<b>Operating Relative Humidity</b>	0 - 95 %
<b>Operating Elevation</b>	0-3000meters
<b>Storage Temperature</b>	-15 - 45 °C
<b>Storage Relative Humidity</b>	0 - 95 %
<b>Storage Elevation</b>	0-15000meters
<b>Audible noise at 1 meter from surface of unit</b>	40.0dBA
<b>Online thermal dissipation</b>	24.0BTU/hr

## Conformance

<b>Approvals</b>	C-tick, CE, EN 50091-1, EN 50091-2, GOST, VDE
<b>Equipment protection policy</b>	Lifetime : 100000 Euro, Lifetime : 50000 GBP
<b>Standard warranty</b>	2 years repair or replace

## Sustainable Offer Status

<b>RoHS</b>	Compliant
<b>REACH</b>	REACH: Contains SVHCs
<b>PEP</b>	Available in Documentation tab
<b>EOLI</b>	Available in Documentation tab



# Appendix C

TDG test rapport accelerometers

## C.1 TDG test rapport accelerometers



## **TEST REPORT FOR DYNAMIC TILTMETER & ACCELEROMETER**

Author:	Eren AYDIN	First Version.
Editor:	-	
Date:	09.10.2019	
Version:	1.0	

## Content

1.	TEST SETUP AND INSTRUMENTS.....	3
2.	TEST INPUTS.....	4
3.	DATA ANALYSIS AND RESULTS.....	6
3.1	SİNUSİDAL TEST .....	6
3.2	EARTHQUAKE TEST .....	9

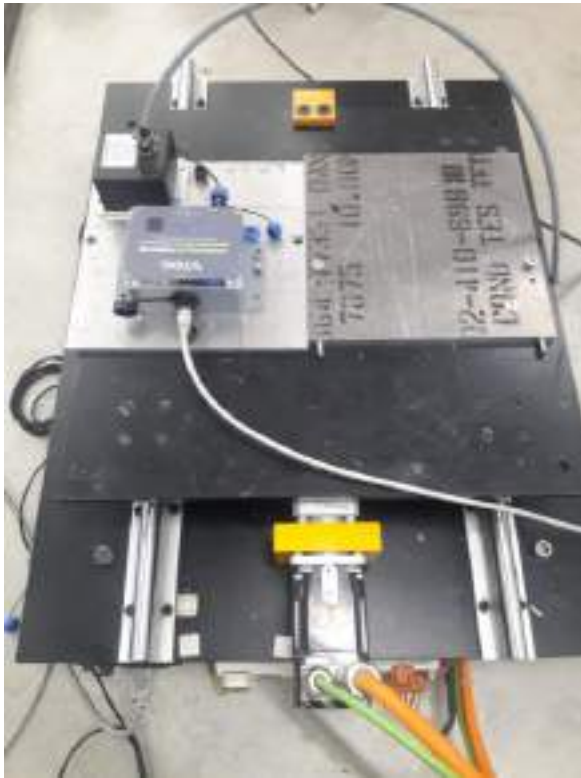
# 1. TEST SETUP AND INSTRUMENTS

The instruments used in this test and serial numbers are listed below:

- 1- TESTBOX 2010-16CH-GPS Datalogger (SN: 301)
- 2- SENSEBOX 7003-DI Digital Interface for Epson M-A352 (SN: 10041909 122)
- 3- CRL SA-307LN Accelerometer (SN: 136)

The purpose of the test is to check the response of the dynamic tiltmeter / accelerometer Epson M-A352, and check the correlation between the acceleration records of this unit and the acceleration record taken by TESTBOX 2010 datalogger receiving data from CRL-SA307LN accelerometer.

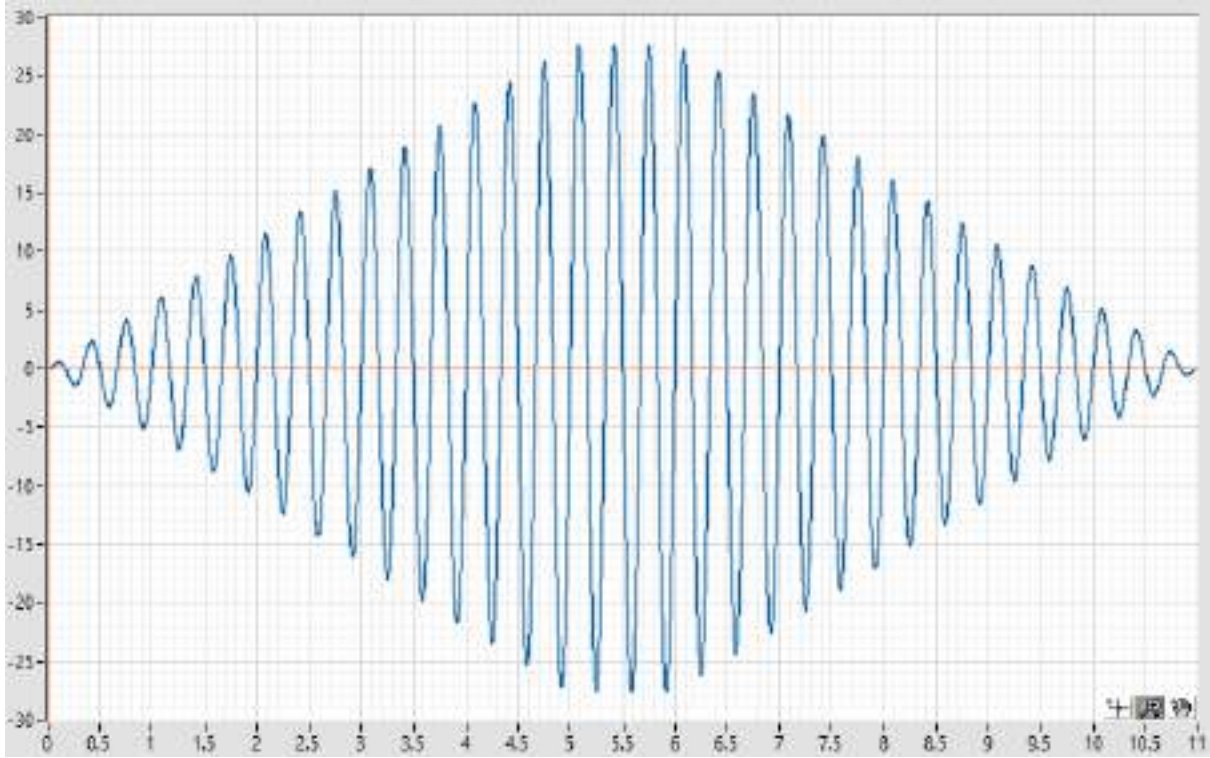
Side by side installation on the shaking table was done as seen in the pictures:



## 2. TEST INPUTS

Two types of signal inputs were used:

- 1- 3 Hz sinusoidal input with increasing amplitude, with max acceleration approximately 1 g.



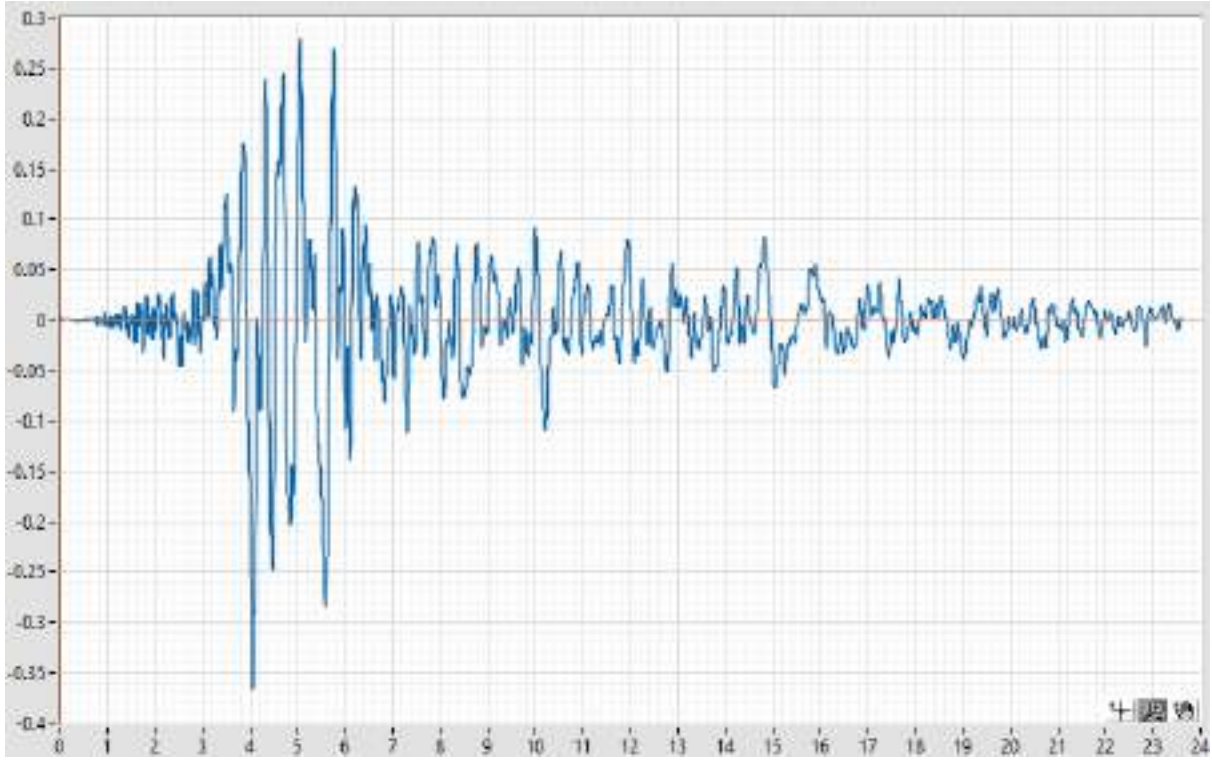
*Displacement (mm) vs Time (s) Graph for Sinusoidal Input*

**Frequency:** 3 Hz

**Max Amplitude:**  $\pm 27.6$  mm

**Max Theoretical Acceleration:** 0.999 g

2- Loma Prieta earthquake record.



*Acceleration (g) vs Time (s) Graph for Earthquake Input*

**Peak Acceleration + : 0.279 g**

**Peak Acceleration - : -0.367 g**

### 3. DATA ANALYSIS AND RESULTS

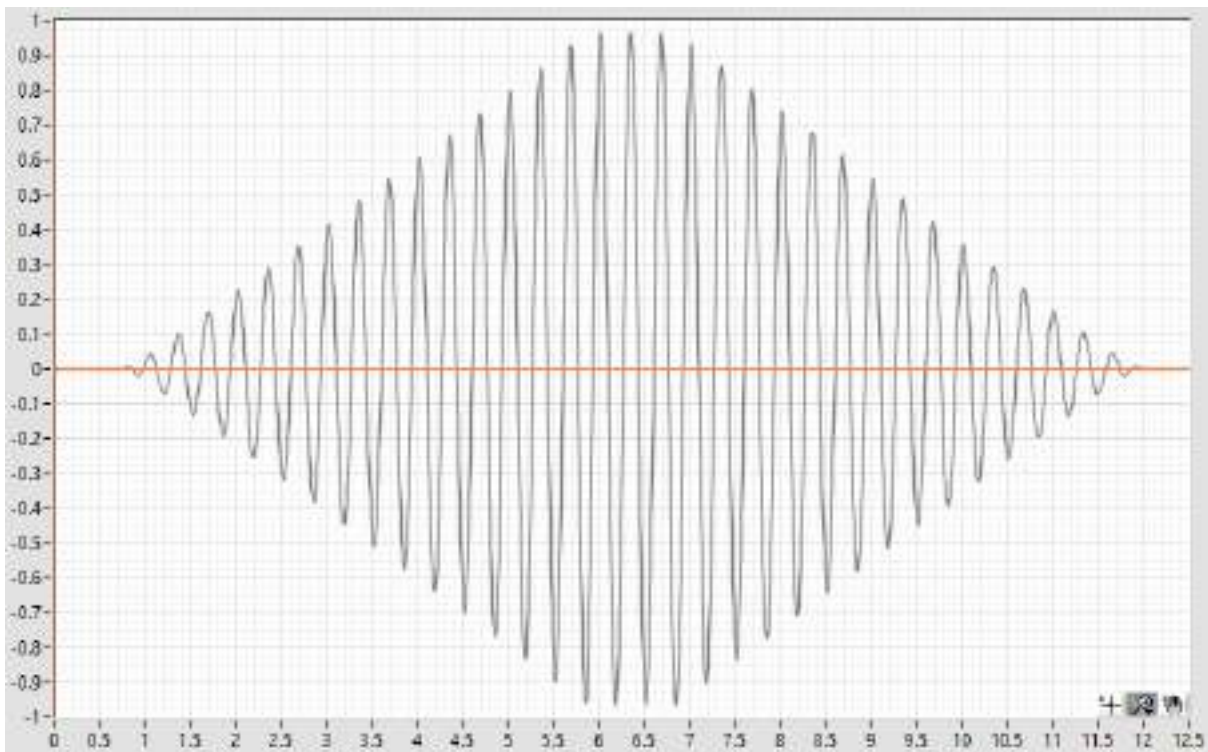
Due to the mechanical high frequency vibrations of the shake table system, in order to make visual comparizon much easier, ditigal filter is applied to the data recorded from both Epson and CRL sensors. The table acceleration is derived using the internal displacement sensor of the shaking table having 2.5 micro-meters resolution.

After the displacement data is converted to acceleration by derivation, same filter is applied to this data. The filter parameters stated below for the related tests.

#### 3.1 Sinusoidal Test

The filter parameters are:

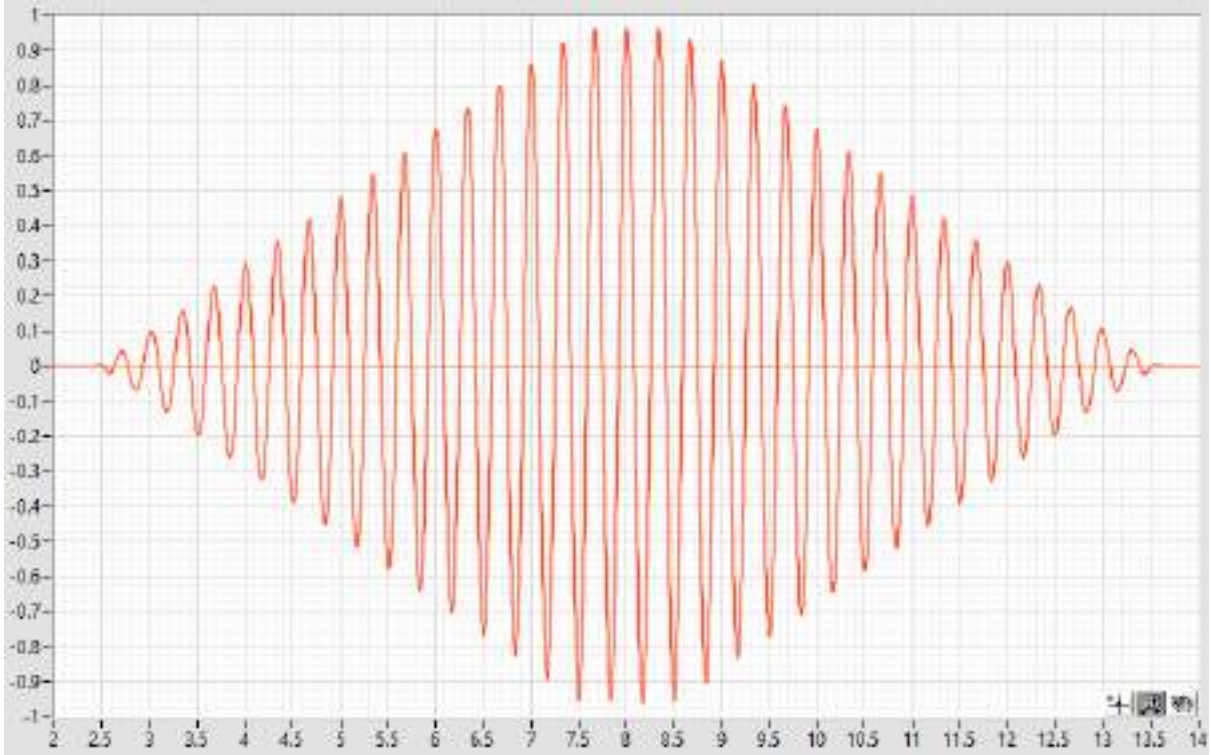
Butterworth type, 3rd Order, Bandpass, Lower cut-off 1 Hz, Higher cut-off 5 Hz.



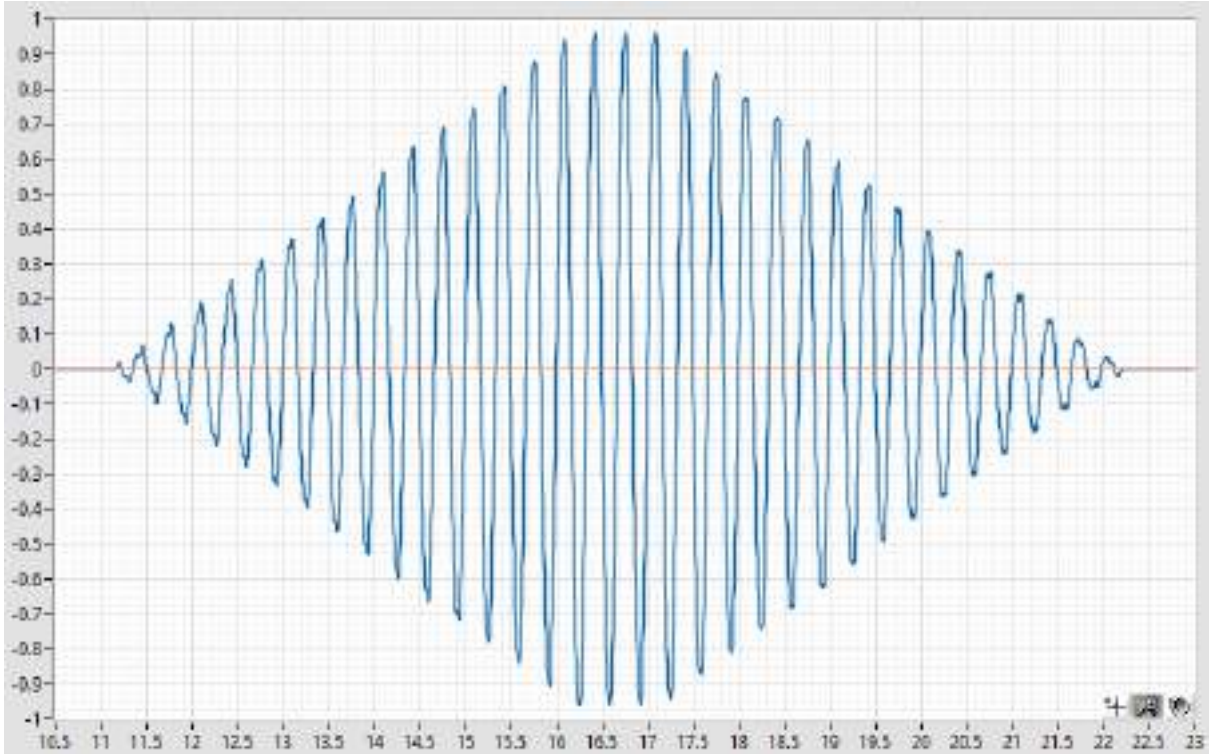
*Acceleration (g) vs Time (s) Graph for Sinusoidal Test  
Table Acceleration*



# Test Report



*Acceleration (g) vs Time (s) Graph for Sinusoidal Test  
CRL Accelerometer*



*Acceleration (g) vs Time (s) Graph for Sinusoidal Test  
Epson*

Test Report

---

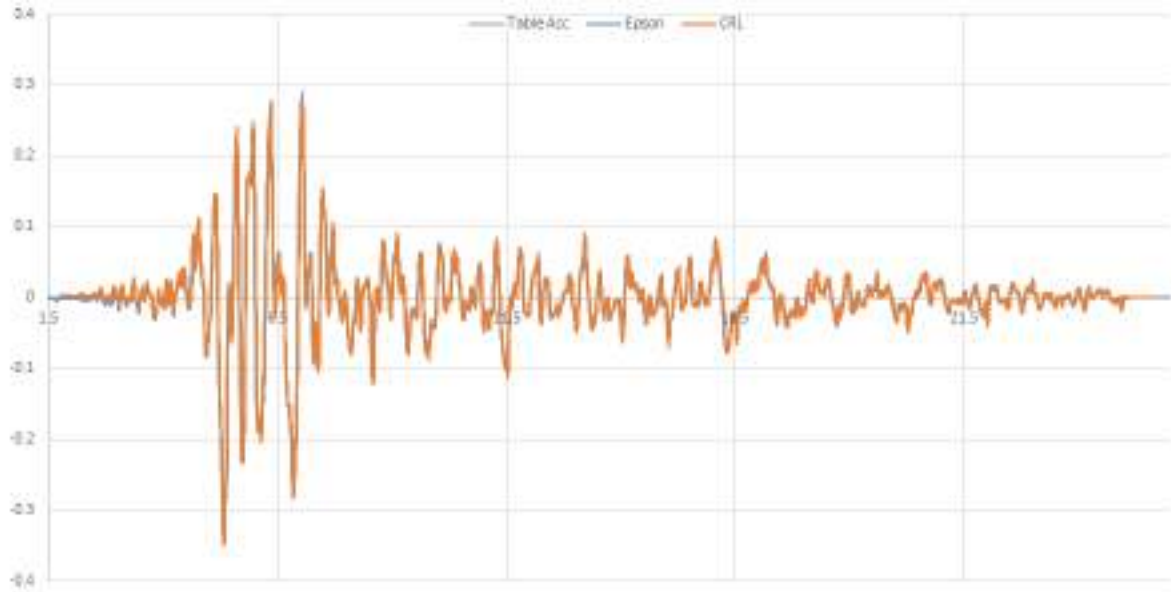
**Sinusoidal Test Results Table**

	<b>Table Acc</b>	<b>Epson</b>	<b>CRL</b>
<b>Min (g)</b>	-0.966	-0.962	-0.960
<b>Max (g)</b>	0.966	0.963	0.961

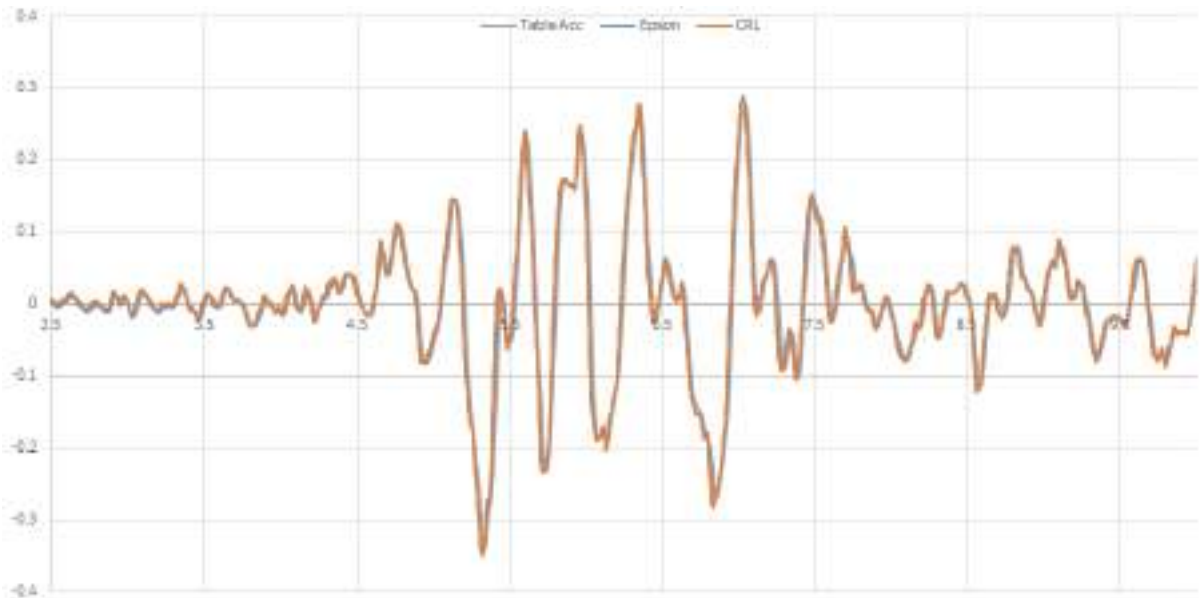
### 3.2 Earthquake Test

The filter parameters are:

Butterworth type, 3rd Order, Bandpass, Lower cut-off 0.1 Hz, Higher cut-off 10 Hz.



*Acceleration (g) vs Time (s) Graph for Earthquake Test  
Table Acc- Epson - CRL*



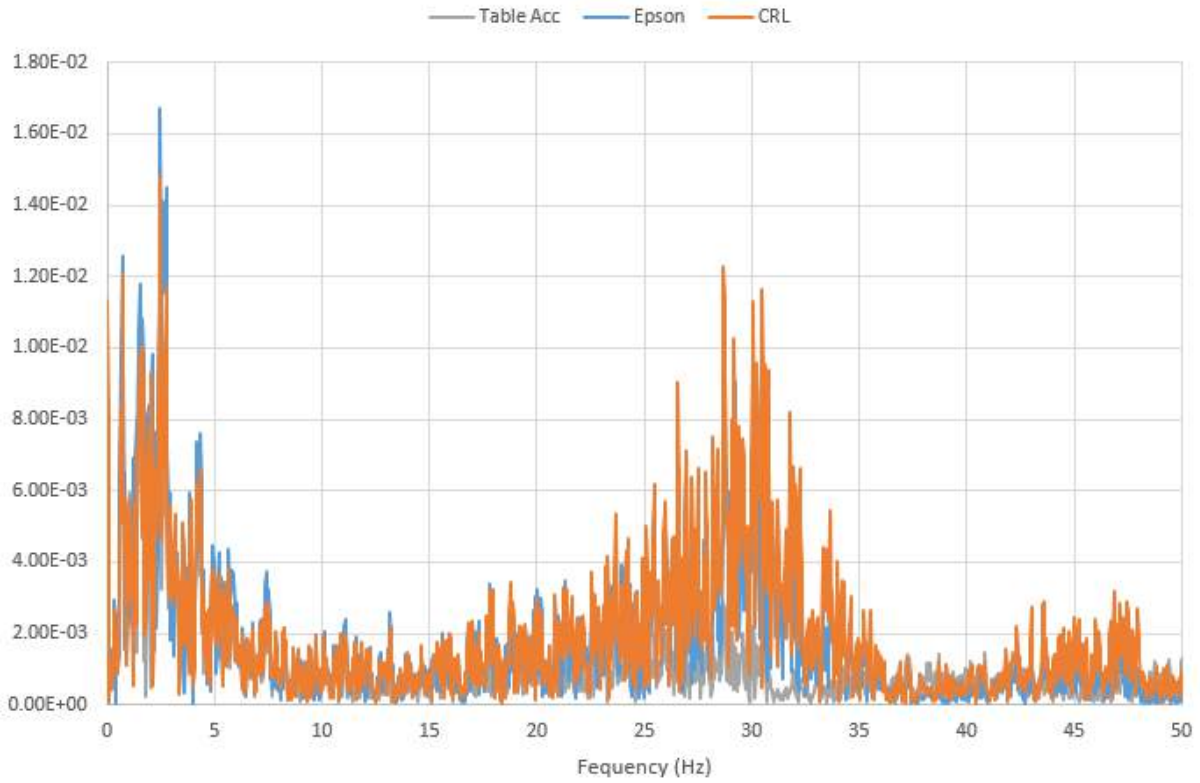
*Acceleration (g) vs Time (s) Graph for Earthquake Test- Closer Look at Peak Amplitudes  
Table Acc- Epson - CRL*

# Test Report

## Earthquake Test Results Table

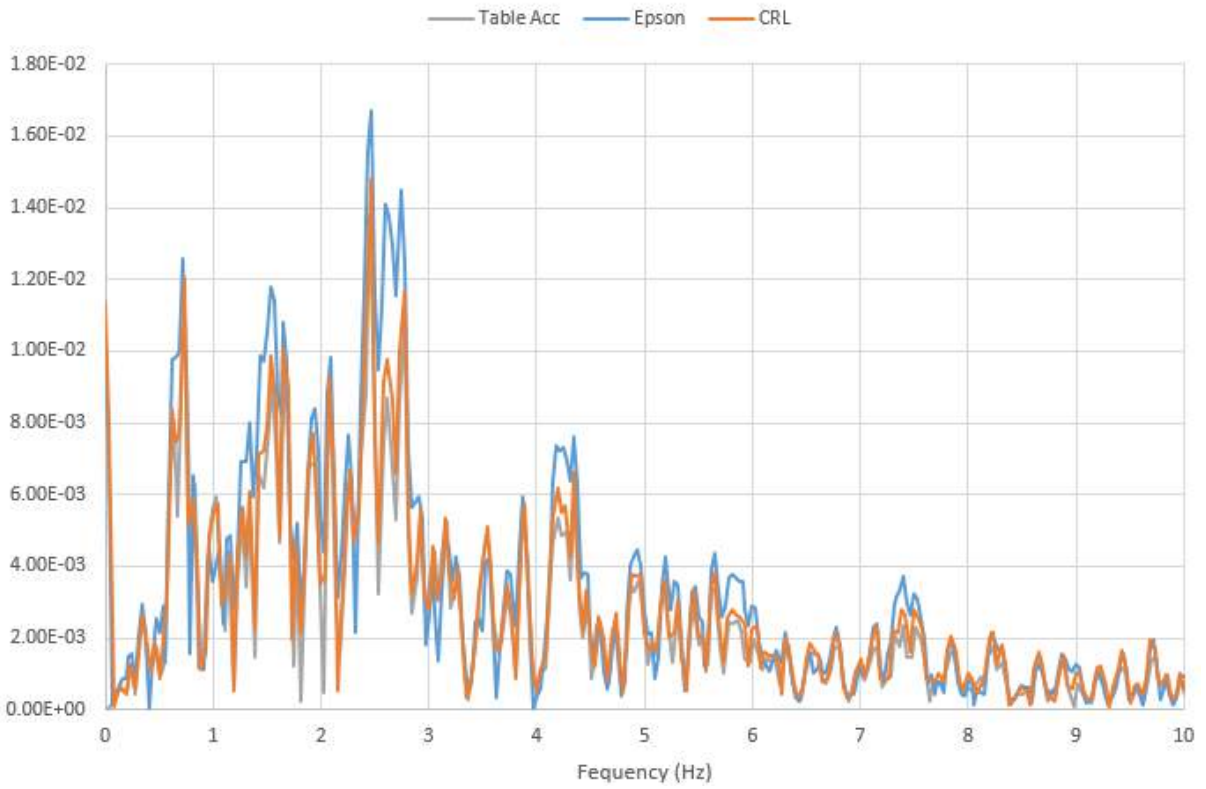
	Table Acc	Epson	CRL
<b>Min (g)</b>	-0.343	-0.348	-0.348
<b>Max (g)</b>	0.277	0.289	0.283

### Frequency Comparison:

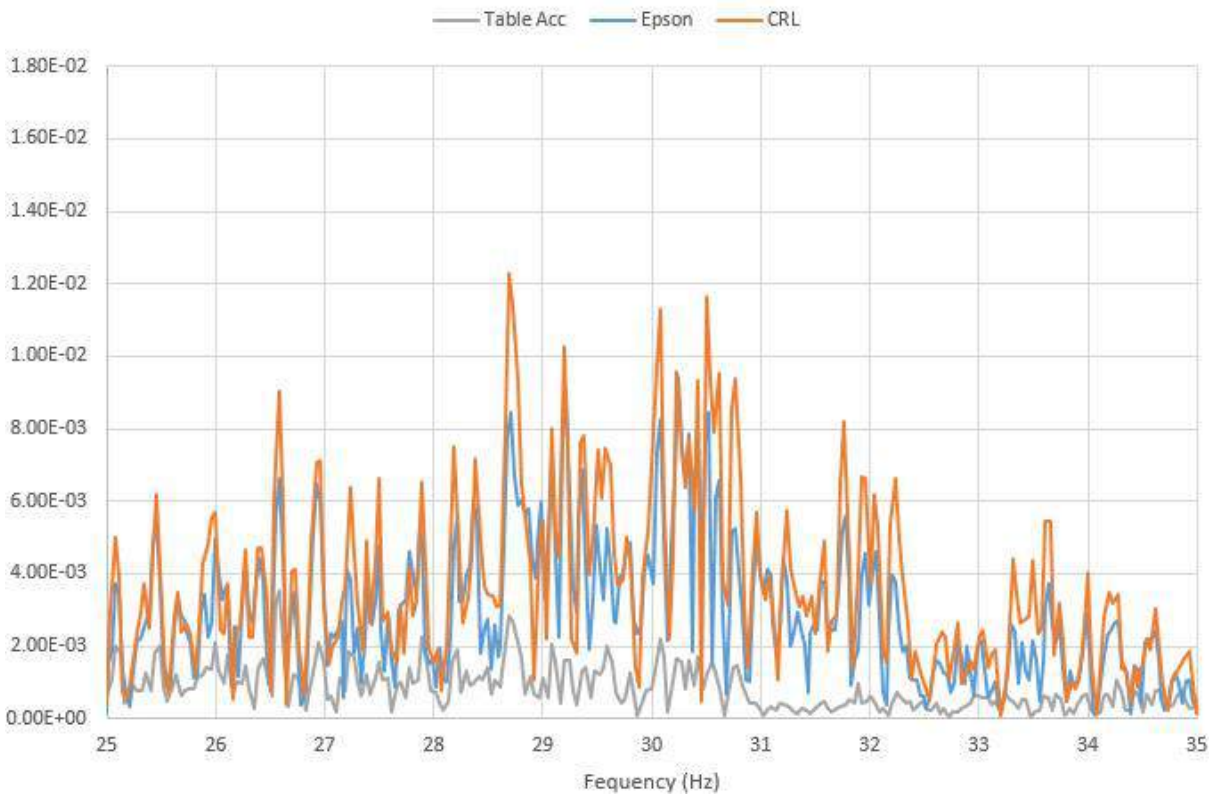


*FFT Graph for Earthquake Test  
Table Acc- Epson - CRL*

# Test Report



*FFT Graph for Earthquake Test (0-10 Hz, where relatively high amplitudes are present)*



*FFT Graph for Earthquake Test (25-35 Hz, where relatively high amplitudes are present)*

### Notes on FFT Comparison:

- No filtering is applied to the time-based data before frequency conversions.
- The frequency response of CRL and Epson shows very high coherence in terms of peak frequencies.
- Since the “table acc” is derived from a displacement sensor, it is less prone to high frequency mechanical noises. Therefore it shows smaller amplitudes in high frequency region.
- All 3 data is coherent within 0-10 Hz, where the actual frequency content of the earthquake motion is present.
- The small differences in the amplitudes of Epson and CRL is probably due to the small differences in the installation conditions, such as the location and screw tightening torque.

# Appendix D

Voorbeeld kalibratierapport

## D.1 Voorbeeld kalibratierapport



10	26	ATM/N 19 Tauchsonde Gehäusematerial Druckart Druckbereich Überlast Prozessanschluss El. Anschluss Kabellänge [m] Ausgangssignal Speisung El. Anschlussbelegung Maximale Mediantemp. Kennlinienabweichung Temp. Bereich kompensiert Elektronik Aftmung (tempert) Dichtung Medium Spezialmerkmal 1 Spezialmerkmal 2 alle Artikelnummer Etiketten-layout Seriennr.: 1137119-1137144	125988  1.4435 Relativedruck 0 ... 5 mWVS 3 bar geschlossen PUR Kabel, Niveau 7 4 ... 20 mA 9 ... 33 V DC wels+Vin gelb:Pout 50°C $\leq \pm 0.1\% FS$ -5 ... 50°C vergossen 10 Temperaturzyklen à 8 Std Viton Abwasser Messprotokoll einzeln zum Transmitter verpacken Kabelende 20 cm abisoliert 941.9955.1505.24.C12 STS
20	182	Kabel rel. PUR schw. ø5,9 6x0.22qmm, F-Schirm Dieses Kabel ist Bestandteil \$ \$ \$	ART01250  der obigen Position

30	13	<p>§ ATM/N 19 Tauchsonde Gehäusematerial Druckart Druckbereich Überlast Prozessanschluss El. Anschluss Kabellänge [m] Ausgangssignal Speisung El. Anschlussbelegung Maximale Medienemp. Kennlinienabweichung Temp. Bereich kompensiert Elektronik Alterung (Tempern) Dichtung Medium Spezialmerkmal 1 Spezialmerkmal 2 alte Artikelnummer Etiketten-Layout Seriennr.: 1137145-1137157</p>	<p>12898R  1.4435 Relativdruck 0 ... 5 mVVS 3 bar geschlossen PUR Kabel, Niveau 12 4 20 mA 9 ... 33 V DC weiß:+VIn gelb:-faut 50°C &lt;=&gt;/-0.1% FS -5 ... 50°C vergossen 10 Temperaturzyklen à 8 Std Viton Abwasser Messprotokoll einzeln zum Transmitter verpacken Kabelende 20 cm abisoliert 981.9955 1505.24 CUZ STS</p>
40	156	<p>Kabel rel. PUR schw. ø5.9 6x0.22mm, F-Schirm Dieses Kabel ist Bestandteil §</p>	<p>ART01250  der obigen Position</p>

10	1	ATM/N 19 Tauchsonde Gehäusematerial Druckart Druckbereich Überlast Prozessanschluss El. Anschluss Kabellänge [m] Ausgangssignal Speisung El. Anschlussbelegung Maximale Mediantemp. Kennlinienabweichung Temp. Bereich kompensiert Elektronik Gesamtsummenfehler Dichtung Medium Spezialmerkmal 1 Spezialmerkmal 2 alte Artikelnummer Etiketten-Layout Seriennr.	12B988  1.4435 Relativdruck 0 ... 5 mWS 3 bar geschlossen PUR Kabel, Niveau 12 4 ... 20 mA 9 ... 33 V DC weiss.+Vin gelb:Pout 50°C $\leq \pm 0.1\% FS$ -5 ... 50°C vergossen $\leq \pm 0.4\% FS (max)$ Viton Vom Kunden nicht angegeben Messprotokoll einzeln zum Transmitter verpacken Kabelende 20 cm abisoliert 941.9955.1505.24.CU SFS
20	12	Kabel ref. PUR schw. ø5.9 6x0.22qmm, F-Schirm Dieses Kabel ist Bestandteil	ART01250  der obigen Position

Type: ATM/N 19  
Art. No.: 126968  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Load Resistance: 100 Ohm  
Accuracy: +/-0.1 % FS

Calibrated against:

MPM-0719, MPM-0681, which is traceable to SI unit standards and NIST

Ambient Temperature: 25.4 °C (77.7 °F)

Relative Humidity: 33 % RH

17 Okt 2019 07:57:14

SN: 1142891

Sensor: ATLO-65

1	0.000 mWS g	4.007 mA	0.046% FS	pass
2	1.250 mWS g	8.003 mA	0.021% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.001 mA	0.007% FS	pass
4	3.750 mWS g	16.000 mA	0.003% FS	pass
5	5.000 mWS g	19.996 mA	-0.021% FS	pass

Type: **ATMN 19**  
Art. No.: **128988**  
Pressure Range: **0 ... 5 mWS g**  
Output Signal: **4 ... 20 mA**  
Supply: **24 V DC**  
Accuracy: **+/-0.1 % FS**

**Calibrated against:**

**APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST**

**06 Sep 2019 13:58:24**

**SN: 1137119**

**Sensor: PDR-98**

1	0.000 mWS g	3.999 mA	-0.004% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.997 mA	-0.014% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.003 mA	0.029% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.010 mA	0.075% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.007 mA	0.059% FS	pass

Type: ATM/N 19  
Art. No.: 128988  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy: +/-0.1 % FS

Calibrated against:

APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

06 Sep 2019 13:58:24

SN: 1137120

Sensor: PDR-99

1	0.000 mWS g	4.001 mA	0.008% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.998 mA	-0.012% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.004 mA	0.034% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.010 mA	0.073% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.004 mA	0.042% FS	pass

Type: **ATMN 19**  
Art. No.: **128988**  
Pressure Range: **0 ... 5 mWS g**  
Output Signal: **4 ... 20 mA**  
Supply: **24 V DC**  
Accuracy: **+/-0.1 % FS**

Calibrated against:

**APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST**

08 Sep 2019 13:56:24

SN: 1137121

Sensor: PDR-100

1	0.000 mWS g	4.000 mA	-0.003% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.995 mA	-0.028% FS	pass
3	2.500 mWS g	11.998 mA	-0.005% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.002 mA	0.028% FS	pass
5	4.989 mWS g	20.000 mA	0.012% FS	pass

Type: ATMN 19  
Art. No.: 128988  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy:  $\pm 0.1$  % FS

Calibrated against:  
APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

06 Sep 2019 13:56:24  
SN: 1137122

Sensor: PDR-101

1	0.000 mWS g	3.996 mA	-0.024% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.993 mA	-0.042% FS	pass
3	2.500 mWS g	11.989 mA	0.001% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.003 mA	0.028% FS	pass
5	4.999 mWS g	19.998 mA	-0.001% FS	pass



Type: ATM/N 19  
Art No : 128988  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy: +/-0.1 % FS

Calibrated against:

APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

06 Sep 2019 13:58:24

SN: 1137123

Sensor: PJC-129

1	0.000 mWS g	3.997 mA	-0.019% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.996 mA	-0.022% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.003 mA	0.028% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.007 mA	0.058% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.004 mA	0.038% FS	pass

Type: ATM/N 19  
Art. No.: 128988  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy: +/-0.1 % FS

Calibrated against:

APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

06 Sep 2019 13:56:24

SN: 1137124

Sensor: PJC-130

1	0.000 mWS g	4.001 mA	0.007% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.998 mA	-0.009% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.004 mA	0.032% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.011 mA	0.079% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.003 mA	0.032% FS	pass

Type: ATMN 19  
Art. No.: 128988  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy: +/-0.1 % FS

**Calibrated against:**

APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

10 Sep 2019 16:06:39

SN: 1137125

Sensor: PJC-131

1	0.000 mWS g	4.003 mA	0.018% FS	pass
2	1.250 mWS g	8.001 mA	0.013% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.003 mA	0.025% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.007 mA	0.063% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.000 mA	0.018% FS	pass

Type: ATM/N 19  
Art. No.: 128988  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy: +/-0.1 % FS

Calibrated against:

APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

06 Sep 2019 13:56:24

SN: 1137126

Sensor: PJC-132

1	0.000 mWS g	3.998 mA	-0.023% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.995 mA	-0.026% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.001 mA	0.015% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.008 mA	0.051% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.003 mA	0.030% FS	pass

Type: **A1M/N 19**  
Art. No.: **128888**  
Pressure Range: **0 ... 5 mWS g**  
Output Signal: **4 ... 20 mA**  
Supply: **24 V DC**  
Accuracy: **+/-0.1 % FS**

**Calibrated against:**

APC800, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

06 Sep 2019 13:56:24

SN: 1137127

Sensor: PJC-133

1	0.000 mWS g	3.998 mA	-0.013% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.994 mA	-0.034% FS	pass
3	2.500 mWS g	11.998 mA	-0.005% FS	pass
4	3.748 mWS g	15.989 mA	0.004% FS	pass
5	4.998 mWS g	19.994 mA	-0.028% FS	pass

Type: ATM/N 19  
Art. No.: 128988  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy: +/-0.1 % FS

**Calibrated against:**

APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

08 Sep 2018 13:56:24

SN: 1137128

Sensor: PJC-134

1	0.000 mWS g	3.997 mA	-0.020% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.998 mA	-0.020% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.002 mA	0.020% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.008 mA	0.060% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.002 mA	0.026% FS	pass

Type: **ATMN 19**  
Art. No.: **128988**  
Pressure Range: **0 ... 5 mWS g**  
Output Signal: **4 ... 20 mA**  
Supply: **24 V DC**  
Accuracy: **+/-0.1 % FS**

**Calibrated against:**

**APC500, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST**

**06 Sep 2019 14:41:24**

**SN: 1137129**

**Sensor: PJC-135**

1	0.000 mWS g	3.999 mA	-0.003% FS	pass
2	1.250 mWS g	8.000 mA	0.006% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.005 mA	0.043% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.011 mA	0.087% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.008 mA	0.067% FS	pass

Type: ATMAN 19  
Art. No.: 128988  
Pressure Range: 0 .. 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy: +/-0.1 % FS

Calibrated against:

APC800, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

08 Sep 2019 14:41:24

SN: 1137130

Sensor PJC-136

1	0.000 mWS g	3.998 mA	-0.014% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.997 mA	-0.015% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.002 mA	0.020% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.006 mA	0.054% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.004 mA	0.042% FS	pass



Type: **ATMN 19**  
Art. No.: **128988**  
Pressure Range: **0 ... 5 mWS g**  
Output Signal: **4 ... 20 mA**  
Supply: **24 V DC**  
Accuracy: **+/-0.1 % FS**

**Calibrated against:**

**APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST**

06 Sep 2019 14:41:24

SN: 1137131

Sensor: PJC-137

1	0.000 mWS g	4.001 mA	0.007% FS	pass
2	1.250 mWS g	8.001 mA	0.007% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.006 mA	0.047% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.011 mA	0.063% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.008 mA	0.068% FS	pass

Type: ATM/N 19  
Art. No.: 128988  
Pressure Range: 0 .. 5 mWS g  
Output Signal: 4 .. 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy: +/-0.1 % FS

Calibrated against:  
APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

08 Sep 2019 14:41:24

SN: 1197132

Sensor: PJC-13B

1	0.000 mWS g	3.999 mA	-0.007% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.996 mA	-0.020% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.001 mA	0.013% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.005 mA	0.046% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.003 mA	0.033% FS	pass

Type: ATM/N 19  
Art. No.: 128968  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy:  $\pm 0.1$  % FS

**Calibrated against:**

APC800, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

06 Sep 2019 14:41:24

SN: 1137133

Sensor: PJC-139

1	0.000 mWS g	4.001 mA	0.009% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.987 mA	-0.019% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.002 mA	0.020% FS	pass
4	3.748 mWS g	16.002 mA	0.030% FS	pass
5	4.999 mWS g	19.999 mA	0.009% FS	pass

Type: **ATM/N 19**  
Art. No.: **126988**  
Pressure Range: **0 ... 5 mWS g**  
Output Signal: **4 ... 20 mA**  
Supply: **24 V DC**  
Accuracy: **+/-0.1 % FS**

Calibrated against:

**APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST**

08 Sep 2019 14:41:24

SN: 1137134

Sensor: PJC-140

1	0.000 mWS g	4.001 mA	0.004% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.995 mA	-0.031% FS	pass
3	2.500 mWS g	11.998 mA	-0.003% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.000 mA	0.014% FS	pass
5	4.999 mWS g	19.995 mA	-0.015% FS	pass

Type: **ATMUN 19**  
Art. No.: **128988**  
Pressure Range: **0 ... 5 mWS g**  
Output Signal: **4 ... 20 mA**  
Supply: **24 V DC**  
Accuracy: **+/-0.1 % FS**

Calibrated against:

**APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST**

06 Sep 2019 14:41:24

SN: 1137135

Sensor: PJC-141

1	0.000 mWS g	4.001 mA	0.005% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.995 mA	-0.028% FS	pass
3	2.500 mWS g	11.998 mA	-0.007% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.002 mA	0.027% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.000 mA	0.015% FS	pass

Type: ATM/N 19  
Art. No.: 128988  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy: +/-0.1 % FS

**Calibrated against:**

APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

06 Sep 2019 15:39:28

SN: 1137136

Sensor: PJC-142

1	0.000 mWS g	3.999 mA	-0.004% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.997 mA	-0.019% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.001 mA	0.017% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.007 mA	0.058% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.008 mA	0.064% FS	pass

Type: **ATMN 19**  
Art. No.: **128988**  
Pressure Range: **0 ... 5 mWS g**  
Output Signal: **4 ... 20 mA**  
Supply: **24 V DC**  
Accuracy: **±0.1 % FS**

Calibrated against:

**APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST**

06 Sep 2019 15:39:28

SN: 1137137

Sensor: PJC-143

1	0.000 mWS g	3.999 mA	-0.007% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.997 mA	-0.018% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.001 mA	0.015% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.006 mA	0.052% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.002 mA	0.026% FS	pass

Type: ATMN 19  
Art. No.: 128968  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy:  $\pm 0,1$  % FS

Calibrated against:

APC800, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

06 Sep 2019 15:39:28

SN: 1137138

Sensor: PJC-144

1	0.000 mWS g	4.000 mA	0.001% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.998 mA	-0.020% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.002 mA	0.020% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.007 mA	0.081% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.008 mA	0.055% FS	pass



Type: ATMN 19  
Art. No.: 128988  
Pressure Range: 0 ... 6 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy:  $\pm 0,1$  % FS

**Calibrated against:**

APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

06-Sep-2019 15:38:28

SN: 1197139

Sensor: PJC-145

1	0.000 mWS g	3.998 mA	-0.012% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.997 mA	-0.014% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.002 mA	0.023% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.005 mA	0.050% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.000 mA	0.017% FS	pass

**Type:** ATM/N 19  
**Art. No.:** 128988  
**Pressure Range:** 0 ... 5 mWS g  
**Output Signal:** 4 ... 20 mA  
**Supply:** 24 V DC  
**Accuracy:** +/-0.1 % FS

Calibrated against:

APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

06 Sep 2019 15:39:28

SN: 1137140

Sensor: PJC-146

1	0.000 mWS g	8.999 mA	-0.007% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.997 mA	-0.019% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.000 mA	0.010% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.002 mA	0.027% FS	pass
5	4.999 mWS g	19.999 mA	0.006% FS	pass

Type: **ATM/N 19**  
Art. No.: **12898B**  
Pressure Range: **0 ... 5 mWS g**  
Output Signal: **4 ... 20 mA**  
Supply: **24 V DC**  
Accuracy: **+/-0.1 % FS**

Calibrated against

**APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST**

06 Sep 2019 15:39:28

SN: 1137141

Sensor: PJC-147

1	0.000 mWS g	3.999 mA	-0.003% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.998 mA	-0.010% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.003 mA	0.028% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.006 mA	0.051% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.003 mA	0.031% FS	pass

Type: ATMN 19  
Art. No.: 126988  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy: +/-0.1 % FS

**Calibrated against:**

APC800, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

06 Sep 2019 15:39:28

SN: 1137142

Sensor: PJC-14B

1	0.000 mWS g	4.000 mA	0.003% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.996 mA	-0.024% FS	pass
3	2.500 mWS g	11.997 mA	-0.011% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.001 mA	0.020% FS	pass
5	4.999 mWS g	19.994 mA	-0.020% FS	pass

Type: ATM/N 19  
Art. No.: 128988  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy:  $\pm 0.1$  % FS

**Calibrated against:**

APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

06 Sep 2019 15:39:28

SN: 1137143

Sensor PJC-14B

1	0.000 mWS g	3.999 mA	-0.004% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.997 mA	-0.017% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.000 mA	0.006% FS	pass
4	3.748 mWS g	16.005 mA	0.048% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.003 mA	0.032% FS	pass

Type: ATM/N 19  
Art. No.: 125986  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy:  $\pm 0,1$  % FS

Calibrated against:

APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

06 Sep 2019 15:39:28

SN: 1137144

Sensor: PJC-150

1	0,000 mWS g	4,000 mA	0,000% FS	pass
2	1,250 mWS g	7,999 mA	-0,006% FS	pass
3	2,500 mWS g	12,002 mA	0,023% FS	pass
4	3,749 mWS g	16,005 mA	0,046% FS	pass
5	4,999 mWS g	19,999 mA	0,010% FS	pass



SENSORS

**AE Sensors bv**

P.O. Box 5084  
3310 AB Dordrecht

Tel ++ 31(0) 76-621 31 52  
Fax ++ 31(0) 76-621 31 48

Type: ATMN 19  
Art. No.: 128988  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy: +/-0.1 % FS

**Calibrated against:**

APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

05 Sep 2019 11:59:10

SN: 1137145

Sensor: PJC-151

1	4.999 mWS g	20.006 mA	0.054% FS	pass
2	3.749 mWS g	16.009 mA	0.064% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.002 mA	0.020% FS	pass
4	1.250 mWS g	7.996 mA	-0.021% FS	pass
5	0.000 mWS g	3.999 mA	-0.007% FS	pass

Type: ATMN 19  
Art. No.: 128888  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy:  $\pm 0.1\%$  FS

Calibrated against:

APC800, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

05 Sep 2019 11:59:10

SN: 1137146

Sensor: PJC-152

1	0.000 mWS g	3.997 mA	-0.017% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.993 mA	-0.041% FS	pass
3	2.500 mWS g	11.996 mA	-0.019% FS	pass
4	3.749 mWS g	15.999 mA	0.006% FS	pass
5	4.999 mWS g	19.993 mA	-0.024% FS	pass



Type: ATM/N 19  
Art. No.: 126988  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy:  $\pm 0.1\%$  FS

**Calibrated against:**

APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

05 Sep 2019 11:59:10

SN: 1137147

Sensor: PJC-153

1	0.000 mWS g	4.001 mA	0.009% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.996 mA	-0.019% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.000 mA	0.008% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.003 mA	0.032% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.000 mA	0.014% FS	pass

Type: ATM/N 19  
Art. No.: 128938  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy:  $\pm 0,1$  % FS

Calibrated against:  
APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

05 Sep 2019 11:59:10

SN: 1137148

Sensor: PJC-154

1	0.000 mWS g	3.999 mA	-0.007% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.995 mA	-0.025% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.002 mA	0.018% FS	pass
4	3.749 mWS g	18.005 mA	0.042% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.003 mA	0.032% FS	pass

Type: ATM/N 19  
Art. No.: 128988  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy:  $\pm 0,1$  % FS

Calibrated against:

APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

05 Sep 2019 11:58:10

SN: 1137148

Sensor: PJC-155

1	0.000 mWS g	4.000 mA	0.002% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.995 mA	-0.028% FS	pass
3	2.500 mWS g	11.999 mA	-0.001% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.002 mA	0.023% FS	pass
5	4.999 mWS g	19.998 mA	0.000% FS	pass

Type: ATM/N 1B  
Art. No.: 128988  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy:  $\pm 0.1$  % FS

Calibrated against:  
APG600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

05 Sep 2019 11:59:10

S/N: 1137150

Sensor: PJC-156

1	0.000 mWS g	4.000 mA	-0.004% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.998 mA	-0.018% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.000 mA	0.006% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.008 mA	0.052% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.005 mA	0.046% FS	pass

Type: ATM9N 19  
Art. No.: 128988  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy: +/-0.1 % FS

**Calibrated against:**

APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

05 Sep 2019 11:59:10

SN: 1137151

Sensor: PJC-157

1	0.000 mWS g	3.997 mA	-0.019% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.990 mA	-0.057% FS	pass
3	2.500 mWS g	11.983 mA	-0.041% FS	pass
4	3.749 mWS g	15.995 mA	-0.017% FS	pass
5	4.999 mWS g	19.988 mA	-0.062% FS	pass

Type: ATMN 1B  
Art. No.: 128888  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy:  $\pm 0.1$  % FS

Calibrated against:

APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

05 Sep 2019 11:59 10

SN: 1137152

Sensor: PJC-158

1	0.000 mWS g	3.899 mA	-0.009% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.995 mA	-0.027% FS	pass
3	2.500 mWS g	11.989 mA	-0.001% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.004 mA	0.039% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.004 mA	0.039% FS	pass

Type: ATM/N 19  
Art. No.: 128966  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy:  $\pm 0.1$  % FS

Calibrated against:

APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

05 Sep 2018 11:59:10

SN: 1137153

Sensor: PJC-159

1	0.000 mWS g	3.999 mA	-0.005% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.998 mA	-0.009% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.004 mA	0.028% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.009 mA	0.067% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.008 mA	0.061% FS	pass

Type: ATMN 19  
Art. No.: 128988  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy:  $\pm 0.1\%$  FS

Calibrated against:  
APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

05 Sep 2019 11:59:10

SN: 1137154

Sensor: PJC-160

1	0.000 mWS g	3.999 mA	-0.005% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.999 mA	-0.005% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.002 mA	0.021% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.006 mA	0.063% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.006 mA	0.048% FS	pass



Type: **ATMIN 19**  
Art. No.: **128888**  
Pressure Range: **0 ... 5 mWS g**  
Output Signal: **4 ... 20 mA**  
Supply: **24 V DC**  
Accuracy: **±0.1 % FS**

Calibrated against:

APC600, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

05 Sep 2019 13:34:49

SN: 1137155

Sensor: PJC-161

1	0.000 mWS g	5.998 mA	-0.009% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.996 mA	-0.020% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.000 mA	0.009% FS	pass
4	3.749 mWS g	18.005 mA	0.047% FS	pass
5	4.999 mWS g	19.988 mA	0.003% FS	pass

Type: ATM/N 19  
Art. No.: 128988  
Pressure Range: 0 ... 5 mWS g  
Output Signal: 4 ... 20 mA  
Supply: 24 V DC  
Accuracy: +/-0.1 % FS

Calibrated against:  
APC800, MPM 307, which is traceable to SI unit standards and NIST

05 Sep 2019 13:34:49

SN: 1137157

Sensor: PJC-163

1	0.000 mWS g	4.000 mA	0.005% FS	pass
2	1.250 mWS g	7.998 mA	-0.010% FS	pass
3	2.500 mWS g	12.002 mA	0.021% FS	pass
4	3.749 mWS g	16.004 mA	0.039% FS	pass
5	4.999 mWS g	20.002 mA	0.029% FS	pass

# Appendix E

Tiltsensor temperatuur test

## E.1 Tiltensor temperatuur test

---

# 1418-0227-010 Sensor Test

To: TDG  
From: Fugro  
Date: 12 June 2020  
Ref no.: 1418-0227-010  
Subject: Sensor Test

Fugro has concerns about the data quality of the "SENSEBOX7003-TD" sensor which was purchased from TDG which is used in the Fugro project 1418-0227-000. In order to investigate the concerns a number of tests have been performed. The goal of this test is to assist in the confirmation or denial of these concerns. In this memo a description of the test is provided, the results are shown in graphs and conclusions are drawn.

## Description of the test

Several aspects of the concerns are investigated

1. Investigate the influence of the Plexiglas mounting plate (as described in Fugro report 1418-0227-010.R01)
2. Investigate the influence of temperature to the output of the sensor

The sensors used in this test are indicated in Table .1 together with the thermal shift correction as provided by TDG.

Table .1: Serial numbers of sensors used in test an provided calibration factors by TDG

Serial number	Measured thermal shift in [deg / °C] x 10 <sup>-3</sup>		
	x	y	z
100001911000001	1.43	-2.52	-0.38
100001911000002	2.97	0.57	0.916
100001911000003	0.53	-0.58	2.57
100001911000004	-0.53	1.42	3.03

Four "SENSEBOX7003-TD" sensors are mounted on a wall close to each other. For all three test configuration 1 day of data is collected. A fifth sensor is also installed this is a dynamic Epson accelerometer/tiltsensor, for brevity this data is not presented in this memo. In the graphs presented in this memo sampling is performed at 1 Hz and a sample every minute, causing the difference in line thickness between "Test 1" and "Test 2".

In Table 2 4 photographs are presented showing the different test configurations. The configuration vary in the use of the Plexiglass mounting plate, a cover by an insulating box and sensor location (test 3). In test 4 the sensors are mounted on the ground to be able to check the y-axis of the sensor. In the

graphs presented on the next page the test results are shown. In each graph the result of 1 axis of the 4 tilt sensors of 1 test configuration is shown. The labelling numbering corresponds to the numbering in Table 2. Additionally in the legend the presence of the plexi glass mounting plate is indicated with (P) and the presence of the isolating box with (I). Two versions of the data is presented the data uncorrected for temperature (indicated with "c" after the sensor ID) and with the temperature correction with the factors as presented in Table .1.

Table 2: description of the tests performed

Test 1



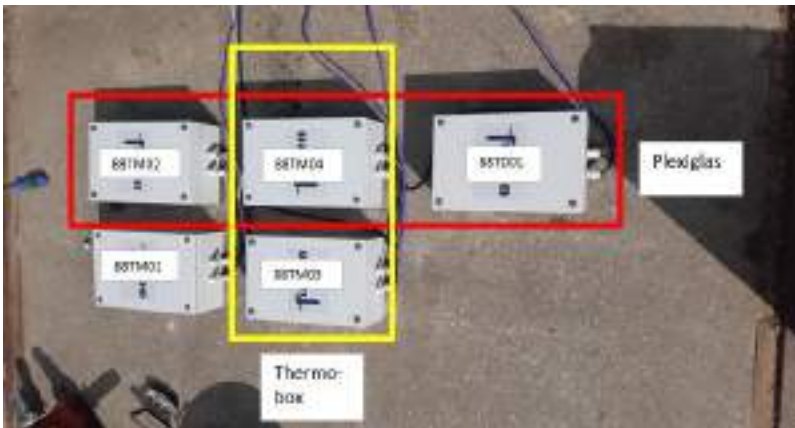
Test 2

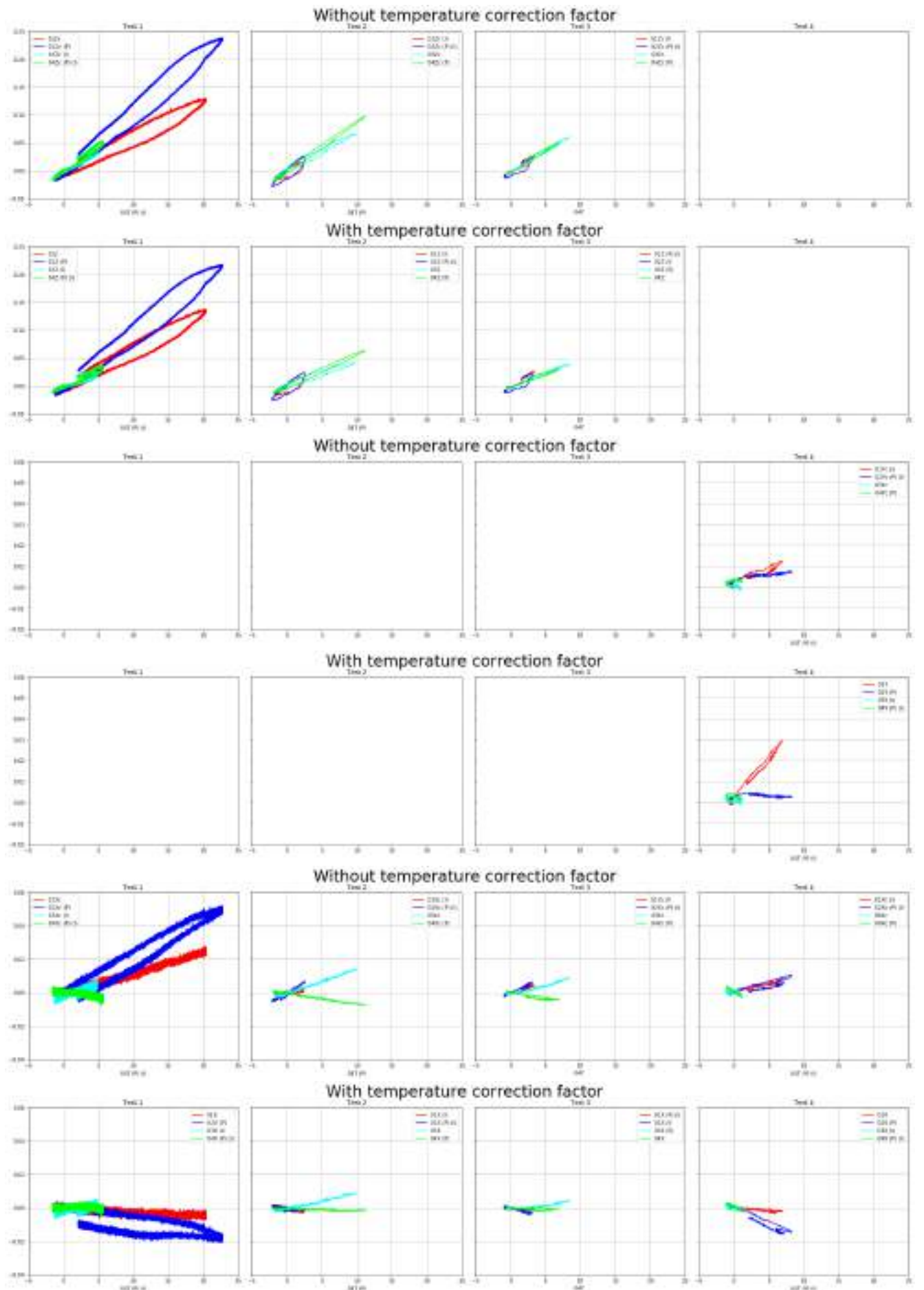


Test 3



Test 4





# **Appendix B**

## Algemene Data Analyse





---

# Algemene Data Analyse (ADA)

Pilot Tiltensoren | Groningen

1418-0227-010\_ADA\_2022 1.0 | 15 juni 2023

Definitief

**Nationaal Coördinator Groningen**



Nationaal Coördinator Groningen

# Versiebeheer

## Documentinformatie

Projectnaam	Pilot Tiltsensoren
Documentnaam	Algemene Data Analyse (ADA)
Fugro Project Nr.	1418-0227-010
Fugro Documentnr.	1418-0227-010_ADA_2022
Versienummer	1.0
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land BV
Adres	Grondzijk 16, 9731 DG, Groningen

## Klantinformatie

Klant	Nationaal Coördinator Groningen
Adres	Paterswoldseweg 1, 9726BA, Groningen
Contactpersoon	-
Documentnr. Klant	-

## Document Historie

Versie	Datum	Status	Wijzigingen	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Vrijgegeven door
1.0	15-06-2023	Definitief				

# Inhoudsopgave

<b>1. Introductie</b>	<b>1</b>
<b>2. Meteorologie en seismische activiteit</b>	<b>3</b>
2.1 Algemeen	3
2.2 Meteorologische omstandigheden	3
2.3 Seismische activiteit	4
<b>3. Uitgevoerde metingen en opnames</b>	<b>7</b>
<b>4. Resultaten tilsensoren in of aan gebouwen en vergelijkingen</b>	<b>8</b>
4.1 Algemeen	8
4.2 Sensordata fase 1 en 2	9
4.3 Anomaliedatabase tiltmetingen fase 2	10
4.3.1 Top 3 sensoren met afwijkende tiltmetingen	13
4.3.2 Top 3 momenten met afwijkende tiltmetingen	16
4.3.3 Overzicht grootste afwijkende tiltmetingen	19
4.4 Tiltmetingen tijdens aardbevingen met hoogste magnitude	24
4.4.1 M3.1 event Wirdum, 08-10-2022	25
4.4.2 M2.7 event Loppersum, 01-04-2022	25
4.4.3 M2.7 event Uithuizen, 24-09-2022	26
4.5 Vergelijking tiltmetingen en laserscandata	27
4.5.1 Relatieve verplaatsingen op basis van gemeten tilt	28
4.5.2 Relatieve verplaatsingen op basis van laserscandata	29
4.5.3 Vergelijking relatieve verplaatsingen en tilt	31
4.6 Schadeontwikkeling	32
4.6.1 Algemeen	32
4.6.2 Gerapporteerde toegenomen schades	32
4.6.3 Gemelde nieuwe schades	34
4.6.4 Vergelijking toegenomen schades volgens Hanselman en vergelijking met tilsensoren	36
<b>5. Tilsensoren in de vaste bodem en vergelijkingen</b>	<b>38</b>
5.1 Meetlocaties en relatie met geleidelijke bodembewegingen door mijnbouw	38
5.2 Locatie Niehove nabij gasopslag Grijskerk	42
5.3 Locatie Steenbergen nabij gasopslag Norg	43
5.4 Locatie Borgercompagnie nabij zoutwinning	45
<b>6. Accelerometers</b>	<b>47</b>
6.1 Algemeen	47
6.2 Meerwaarde dataset accelerometers binnen en buiten	48
6.3 Gemeten PGV en PGA	49
<b>7. Weer en grondwater</b>	<b>53</b>
7.1 Algemeen	53

7.2	Drielingstorm februari 2022	53
7.3	Extreme droogte en grondwater	58
7.4	Controle wateroverspanningen tijdens aardbevingen	60
<b>8.</b>	<b>Datasyntese</b>	<b>64</b>
8.1	Algemeen	64
8.2	Conditie monitoring	64
8.3	Datasyntese	64
<b>9.</b>	<b>Literatuur</b>	<b>66</b>

## Bijlagen

<b>Appendix A</b>	<b>Gecorrigeerde tiltmetingen fase 1 en 2</b>
<b>Appendix B</b>	<b>PB-WS-OW metingen fase 1 en 2</b>
<b>Appendix C</b>	<b>Grootste afwijkende meetbeelden</b>
<b>Appendix D</b>	<b>Versnellingen M3.1 event Wirdum op 08-10-2022</b>
<b>Appendix E</b>	<b>Gemeten PGA en PGV per locatie</b>

---

# 1. Introductie

De Nationaal Coördinator Groningen (NCG) heeft Fugro opdracht gegeven voor het ontwerpen en uitvoeren van de Pilot Tiltsensoren (de pilot). Het doel van de pilot is om de meerwaarde van tiltsensoren ten opzichte van het huidige meetnetwerk van het KNMI (KNMI, 1993) te onderzoeken. Een belangrijk aspect van de pilot is het vaststellen of tiltsensoren in staat zijn om het ontstaan van schade aan gebouwen in Groningen te monitoren, en daarmee mogelijke oorzaken te kunnen aantonen of uitsluiten. Voor een uitgebreidere beschrijving van de pilot en haar doelen wordt verwezen naar hoofdrapport 1418-0227-010.HR. De overige rapporten die onderdeel uitmaken van de pilot zijn in Figuur 1.1 weergegeven. Het onderzoek is onderverdeeld in 2 percelen:

- Perceel 1: Continue metingen, presentatie en analyse van alle informatie, bevindingen
- Perceel 2: Periodieke opname en rapportage van de conditie van het bouwwerk

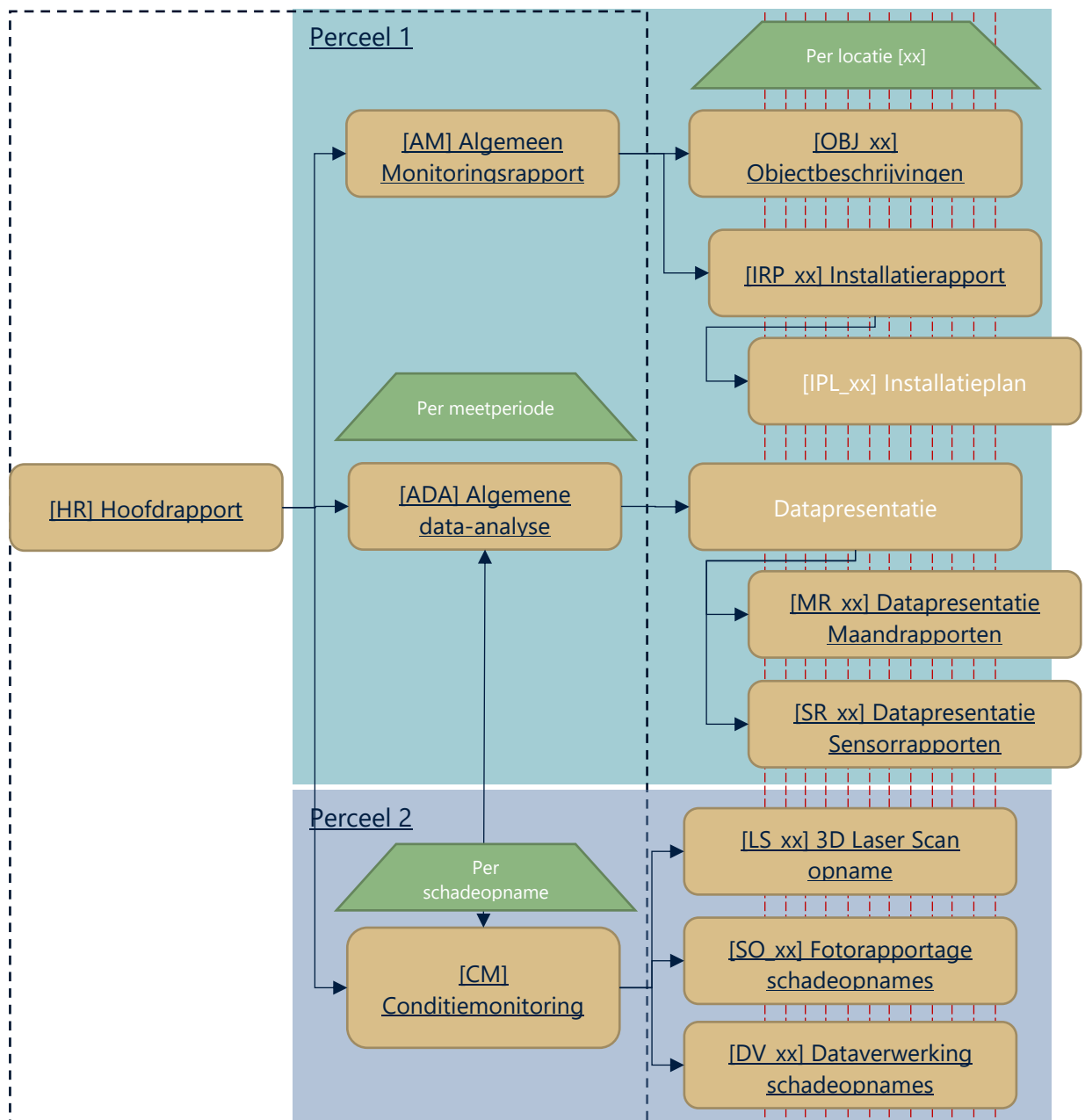
Vanwege de Algemene Verordening Gegevensbescherming (AVG) en afspraken met de bewoners en/of eigenaren zijn de locatie-specifieke rapportages privacygevoelig en derhalve niet openbaar. Deze rapportages en de meetdata vormen wel de basis voor de analyses. Daar waar privacygevoelige informatie wordt gebruikt, is deze geanonimiseerd of er wordt alleen informatie opgenomen in de te publiceren rapporten als het adres niet kan worden herleid. Onderzoekers die specifieke resultaten willen bekijken of verifiëren, kunnen na toestemming toegang verleend worden. Data herleidbaar tot niet-openbare pilotlocaties is dus uit privacyoverwegingen weggelaten uit dit rapport, maar is wel gedeeld met en beoordeeld door de Nationaal Coördinator Groningen en de Technische Commissie.

De pilot is gestart met het monitoren van 13 locaties met diverse sensoren (tiltsensoren, accelerometers), (grond-)waterstanden en weerstations. Op 3 locaties wordt ook tilt in de "vaste" ondergrond gemeten (het vaste zand/ Pleistoceen). De locaties van de sensoren zijn weergegeven in de Objectrapporten en Installatierapporten. De gebruikte meettechnieken zijn beschreven in het Algemeen Monitoringsrapport. De meetresultaten zijn opgeslagen en een beknopte analyse hiervan is maandelijks als locatie specifieke datapresentatie en -analyse gerapporteerd. Om de ontwikkeling van schade te monitoren zijn door Archipunt in 2020 en 2021 schadeopnames verricht en waterpassingen (lintvoegmetingen) rondom de gebouwen uitgevoerd en hoogtebouten gewaterpast. De resultaten hiervan zijn opgenomen in de Schade-Opname rapporten. Een beschrijving en weergave van de constructies door Archipunt is opgenomen in de Objectbeschrijvingen.

Vanaf 2022 zijn 12 locaties gevolgd en zijn op 2 momenten schade-opnames uitgevoerd door Hanselman, volgens een aangescherpt protocol. De opnames zijn aangevuld met opnames binnen (alleen 0-meting) en buiten (0-meting en hermeting) door middel van laserscanning. Ook zijn de scheuren die zijn gerapporteerd op basis van de foto's gedigitaliseerd en weergegeven in Dataverwerking Schadeopnames. Per locatie zijn de schade-toename en de veranderingen op basis van de laserscanning gerapporteerd in

separate rapporten. De relevante informatie uit perceel 2 (de opnames en laserscanning) is vervolgens gerapporteerd in het rapport *Conditie Monitoring*. De informatie uit dit rapport wordt als input gebruikt voor de *Algemene Data Analyse*.

In dit rapport wordt een locatie-overkoepelende data-analyse gepresenteerd voor 2022. Hierin wordt de informatie van de sensoren (o.a. tiltmetingen) gecombineerd met de verschillen tussen begin 2022 en eind 2022 (schade-toename en laserscanning). Er wordt gestart met een beschrijving van het verloop van de pilot. In de analyse worden meetresultaten en analyses van verschillende locaties met elkaar vergeleken en in context geplaatst. Er is ook een rapportage met data-analyse van alle beschikbare data in voorgaande jaren beschikbaar, Hierin kon de relatie tussen tiltmetingen met schade-opnames nog niet onderzocht worden (Fugro, 2021).



Figuur 1.1: schema met overzicht van de diverse rapportages binnen de Pilot

---

## 2. Meteorologie en seismische activiteit

### 2.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de meteorologische omstandigheden en seismische activiteit in en rondom het Groningen gasveld. De meteorologische omstandigheden (o.a. temperatuur, wind, neerslag en droogte) en seismische activiteit kunnen invloed hebben op de locaties en kunnen zichtbaar zijn in de meetdata.

### 2.2 Meteorologische omstandigheden

In deze paragraaf wordt een samenvatting van het jaaroverzicht 2022 zoals dit door het KNMI (KNMI, Weer en klimaatdiensten, n.d.) is opgesteld beschreven om een algemeen beeld te geven van de meteorologische omstandigheden in 2022.

#### ***Onstuimige winter, zeer warme zomer met hoogtepunt in augustus***

*2022 was met een gemiddelde temperatuur van 11,6 °C het op twee na warmste jaar sinds 1901 Normaal is 10,5 °C. De laagste temperatuur, -10,6 °C werd op 13 december in Eelde gemeten. De hoogste temperatuur, 39,5 °C, werd op 19 juli in Beek gemeten. Alleen in april, september en december lag de gemiddelde temperatuur iets onder normaal.*

#### ***Onstuimige, zachte wintermaanden***

*De twee wintermaanden waren zacht en kenmerkten zich door vier stormen. De eerste was Corrie, op 31 januari. In het noordwesten gold Code Oranje voor zeer zware windstoten. In februari kregen we van 16 tot en met de 21e te maken met de "drielingstorm."*

*Januari was zacht met een gemiddelde temperatuur van 5,3 °C. Winterweer kwam niet voor. Het was de enige maand in 2022 met minder dan de normale hoeveelheid zonneschijn. Hoewel de eerste tien dagen nat verliepen was de maand als geheel droog.*

#### ***Drielingstorm***

*Februari was meer een herfstmaand dan een wintermaand. De gemiddelde temperatuur was 6,8 °C tegen 3,8 °C normaal en met 107 mm neerslag viel er bijna twee keer zoveel dan normaal (58 mm). Ondanks de regen was het een zonnige maand. De maand werd gekenmerkt door een krachtige westelijke stroming waarin lagedrukgebieden over het Noordzeegebied trokken. Op 16 februari kregen we te maken met de storm Dudley. De 18e was het de beurt aan Eunice. Deze veroorzaakte aan de kust enige tijd een zware westerstorm met windstoten tot ongeveer 130 km/uur. Het was de zwaarste storm sinds 1990. Op het KNMI-station Cabauw werd in de namiddag een windstoot van 145 km/uur gemeten. In de kustprovincies gold Code Rood, landinwaarts met uitzondering van Limburg Oranje. Er vielen vier doden. Op 20 februari kregen we met storm Franklin te maken. In de westelijk kustprovincies gold in de avond enkele uren Code Oranje. De drie stormen veroorzaakten minimaal een half miljard euro schade in Nederland.*

## **Zon**

*Met landelijk gemiddeld 2233 uur zon was 2022 het zonnigste jaar sinds het begin van de waarnemingen. Normaal is 1774 uur. Alle maanden, op januari na, waren zonniger dan normaal. In oktober was het oude record al bereikt. Aan de kust was het het zonnigst: in De Kooy scheen de zon 2403 uur, 515 uur meer dan normaal. Het minst zonnig was het in Eelde met ongeveer 2055 uur, nog steeds ruim 370 uur meer dan normaal.*

## **Neerslag**

*Met landelijk gemiddeld 729 millimeter was 2022 droog. Normaal valt gemiddeld over het land 795 millimeter. In het oosten was het het droogst. Het droogste KNMI-station was Hupsel, daar viel maar 593 mm, dat is ongeveer 180 mm minder dan normaal. Terschelling was het natste station met 856 mm, ruim 50 mm meer dan normaal.*

## **Droogte**

*De droogte was ook deze zomer weer significant. Op 5 september was het landelijk neerslagtekort opgelopen naar 318 mm, nog nooit eerder was het neerslagtekort op één dag zo groot. Ondanks een natte september was het landelijk gemiddeld neerslagtekort eind september nog ruim 220 mm. 2022 behoort daarbij niet meer bij de 5 procent droogste jaren. De droogte was het grootst in het oosten en in delen van het zuidwesten en noordwesten.*

## **Sneeuw in de lente**

*Op 31 maart en 1 april lag er op veel plaatsen sneeuw, meestal 2-5 cm, maar op de Veluwe plaatselijk meer dan 10 cm. Op 5 december lag in de Limburgse heuvels circa 5 cm sneeuw.*

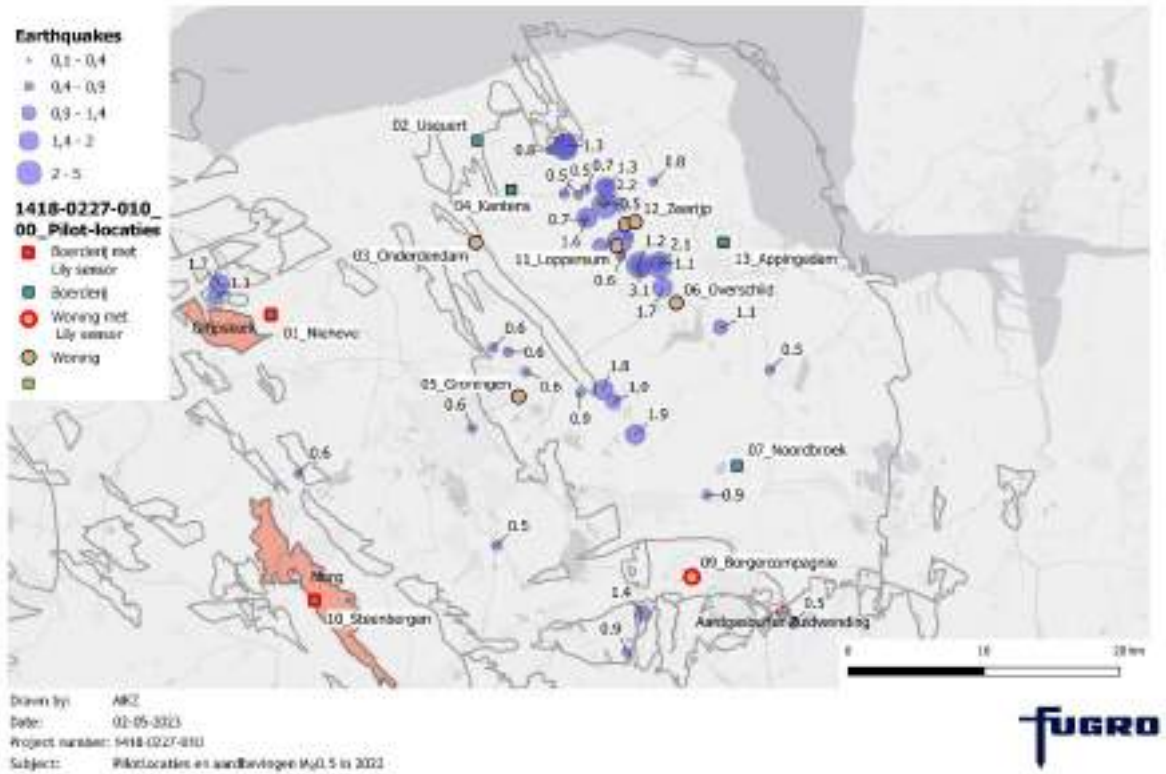
## **2.3 Seismische activiteit**

In deze paragraaf wordt een beschrijving gegeven van de opgetreden aardbevingen tussen 01-01-2022 en 24-01-2023. Voor een overzicht van de seismische activiteit per maand per locatie waarbij ook afstand tot de locaties wordt benoemd wordt verwezen naar de maandrapportages en/of websites van het KNMI. In Figuur 2-1 is een overzichtskaat gegeven met de locaties van de waargenomen aardbevingen ( $M \geq 0.5$ ) door het KNMI in de betreffende periode. In

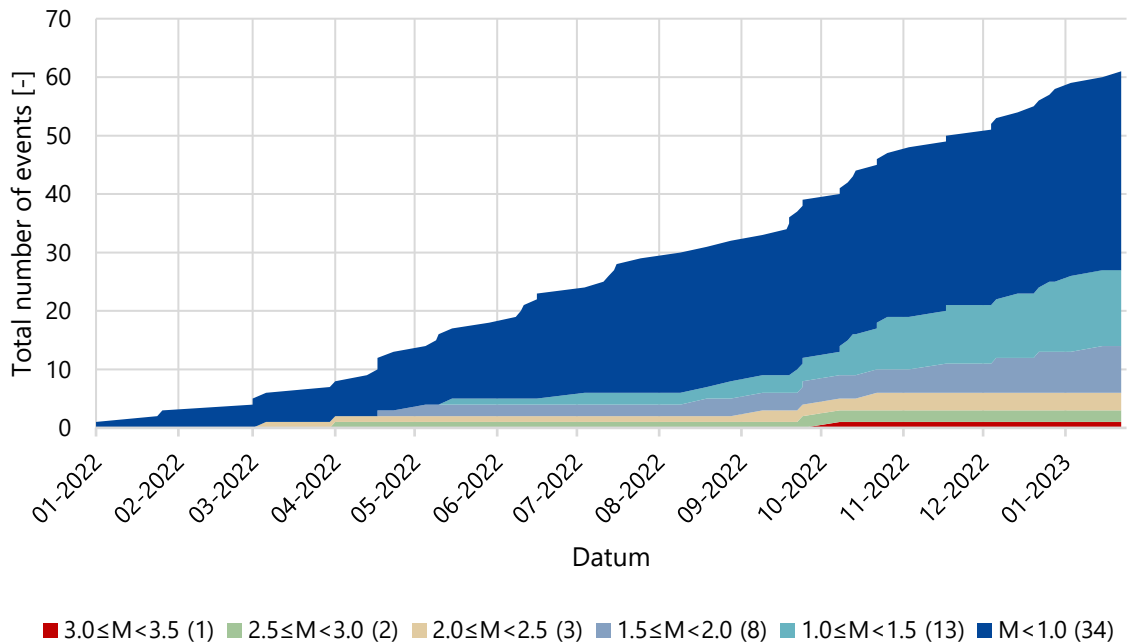
Tabel 2.1 zijn de data en locatie van de aardbevingen met een magnitude groter dan 2 gepresenteerd. In Figuur 2-2 is een grafiek gepresenteerd waarin het optreden van aardbevingen met een bepaalde magnitude in de tijd is zien.



1418-0227-010



Figuur 2-1: Overzicht opgetreden aardbevingen ( $M \geq 0.5$ ) en locaties in de betreffende meetperiode



Figuur 2-2: Geïnduceerde aardbevingen rondom het Groningenveld in de periode van 01-01-2022 t/m 24-01-2023 volgens het KNMI

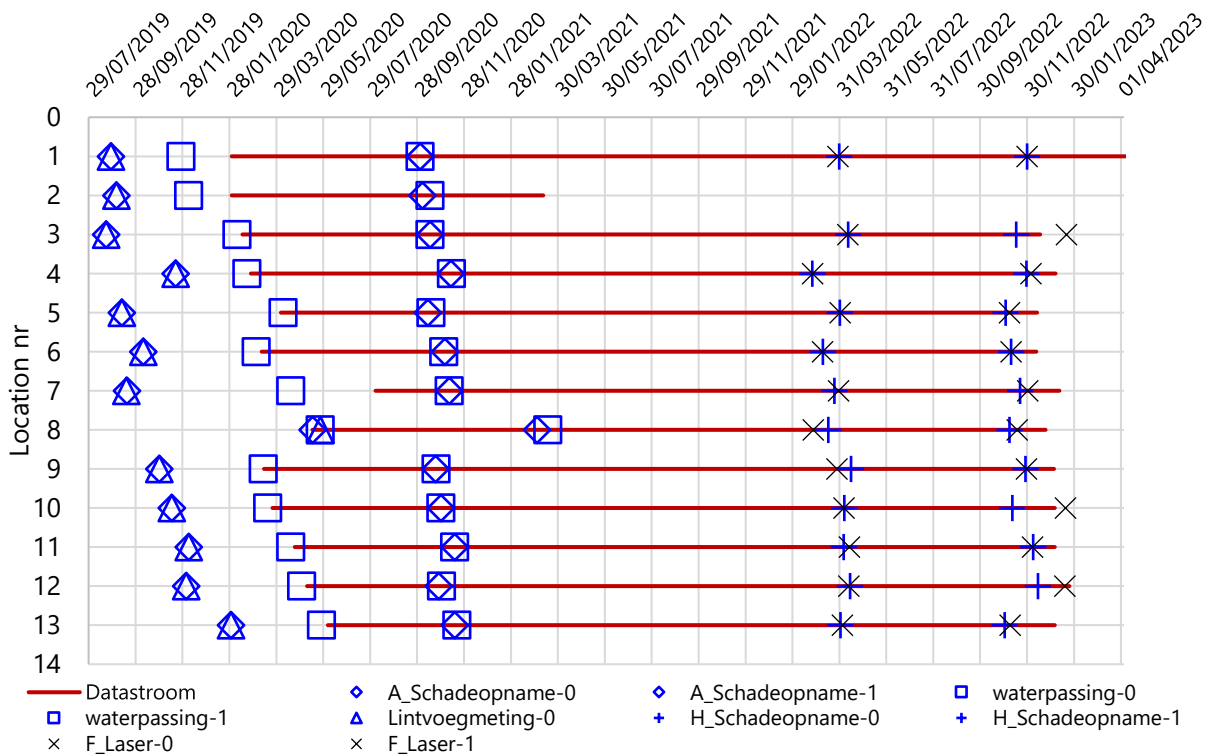
Tabel 2.1: Aardbevingen met een magnitude > 2.0 in de periode 01-01-2022 tot 24-01-2023

Origin Time	Mag.	Lat.	Long.	Depth	Place
2022-10-22T10:14:04	2.2	53.319	6.794	3	Wirdum
2022-10-08T02:17:17	3.1	53.319	6.772	3	Wirdum
2022-09-24T10:20:38	2.7	53.398	6.692	3	Uithuizen
2022-09-09T00:39:11	2.3	53.398	6.694	3	Uithuizen
2022-04-01T17:11:08	2.7	53.335	6.751	3	Loppersum
2022-03-06T13:18:30	2.1	53.335	6.735	3	Zeerijp

### 3. Uitgevoerde metingen en opnames

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de uitgevoerde metingen en opnames en het verloop van de pilot in de periode 2022-2023. Er wordt aangegeven wanneer welke opnames/metingen zijn uitgevoerd en wanneer per locatie het meetsysteem van Fugro data is gaan verzamelen. In Figuur 3-1 zijn de uitvoeringsdata van de schadeopnames, waterpassing en lintvoegmeting weergegeven, tezamen met de periode waarover data is verzameld. Locatie 2 is per maart 2021 ontmanteld en niet meer gemeten en opgenomen.

In dit rapport wordt een analyse uitgevoerd op de meetdata tussen 01-01-2022 en einddatum meting sensoren. Aangezien de metingen op locatie 1 niet beëindigd zijn, wordt voor deze locatie als einddatum 01-01-2023 genomen.



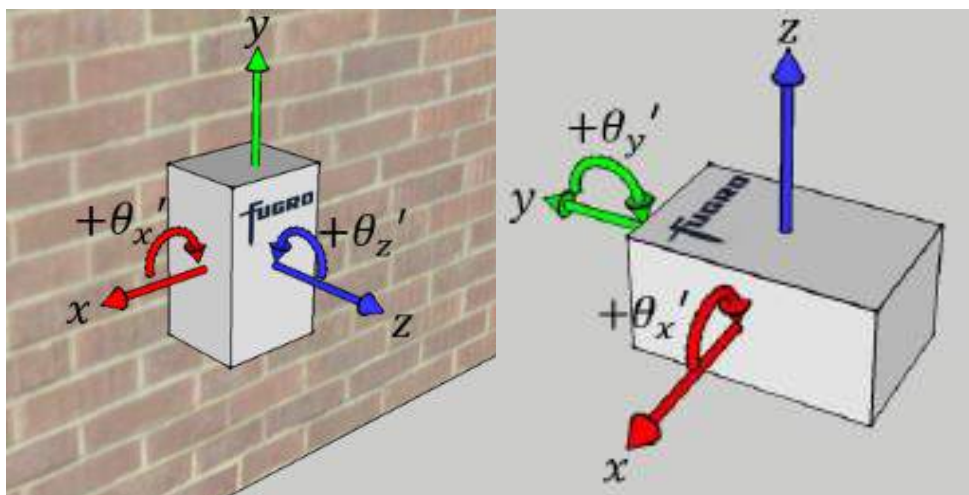
Figuur 3-1: Schadeopnamesmomenten in de tijd (A: Archipunt, H: Hanselman)

## 4. Resultaten tilsensoren in of aan gebouwen en vergelijkingen

### 4.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de gemeten data door de tilsensoren (Appendix A) en de verwerking hiervan. Tevens worden de tiltmetingen vergeleken met de laserscanmetingen en met de schade-toenames die gepresenteerd zijn in rapport 1418-0227-010.CM. In deze rapportage worden algemene statistieken van de metingen gepresenteerd en worden opmerkelijke of afwijkende meetbeelden gepresenteerd. De relevante gegevens uit de privacygevoelige rapporten is geanonimiseerd opgenomen in dit hoofdstuk. De gegevens zijn voor onderzoekers beschikbaar na instemming van de locatie eigenaren.

In Figuur 4-1 zijn de gehanteerde assenselsels voor het presenteren van de meetdata van de tilsensoren weergegeven. Bij montage aan de muur is een verandering van de tilt in de x-richting correspondeert met een hoekverdraaiing in het vlak van de muur, een verandering van de tilt in de y-richting correspondeert met een hoekverdraaiing loodrecht op de muur.



Figuur 4-1: assenselsels tilsensor bij montage aan de muur (links) en op de vloer (rechts)

Tijdens de analyse van de meetdata van de tilsensoren is geconstateerd dat de output van de sensor wordt beïnvloed door temperatuursveranderingen. Door de leverancier is een correctiefactor voor temperatuurseffecten toegepast, echter wordt met de door de leverancier toegepaste correctiefactor niet het gewenste effect bereikt. In overleg met de leverancier is een onderzoek gestart en is een methode ontwikkeld om een in-situ temperatuurcorrectiefactor af te leiden. Het onderzoek om de temperatuurafhankelijkheid vast te stellen is gepresenteerd in Fugro memo 1418-0227-010\_sensor-test opgenomen in Fugro rapport 1418-0227-010\_ADA\_2020-2021.

Naast afwijking door temperatuurseffecten bleek ook een beperkt verloop in tijd van outputwaarden van de tilt zichtbaar (drift). Zowel de temperatuur als de drift zijn

gecorrigeerd op basis van het verband dat is vastgesteld tijdens fase 1. Bij een afnemende drift betekent dit dat de correctie voor drift tijdens fase 2 mogelijk iets te groot is.

## 4.2 Sensordata fase 1 en 2

De beschouwde meetperiode in dit rapport is fase 2, welke over het volledige jaar 2022 loopt. Fase 1 gaat vooraf aan fase 2 en loopt grofweg van 2019 tot 2022 en wordt in dit rapport niet beschouwd. Wel zijn voor fase 1 en 2 de gecorrigeerde tiltmetingen (temperatuur en drift) van alle sensoren op 13 locaties gegeven in Appendix A. De data van de peilbuizen, waterspanningsmeters en open water peilen (PB-WS-OW) van dezelfde 13 locaties in fase 1 en 2 zijn gegeven in Appendix B. Opgemerkt dient te worden dat locatie 02 na fase 1 is vervallen en dat er dus geen meetgegevens gepresenteerd worden voor locatie 02 in fase 2.

Enkele tiltsensoren geven sterk afwijkende metingen in fase 1 en/of 2. In Tabel 4.1 zijn deze sensoren weergegeven met bijbehorende verklaringen. Sensoren met (tijdelijke) data-onderbrekingen als gevolg van stroomuitval of een verbroken verbinding zijn niet weergegeven.

Tabel 4.1: Afwijkende sensoren fase 1 en 2

Loc.	Sensor	Meting	Fase	Periode	Verklaring
01	01PB01	-	1	04-2021 – 07-2021	Storing
	01PB02	-	1	04-2021 – 07-2021	Storing
	01WS01	-	1	04-2021 – 07-2021	Storing
	01WS01	-	1	04-2021 – 07-2021	Storing
	01OW01	-	1	04-2021 – 07-2021	Storing
03	03WS01	-	2	07-2022 - 01-2023	Waterspanningsmeter verloopt <sup>1</sup>
	03WS02	-	1 & 2	03-2021 - ?	Waterspanningsmeter verloopt <sup>1</sup>
06	06TM01	x,z,t	1	08-2020	Tiltmeter vervangen <sup>2</sup>
		x,z,t	1	02-2021	Sensoruitval
	06TM02	x,z,t	1	08-2020	Sensor vervangen <sup>2</sup>
		x,z,t	1	02-2021	Sensoruitval
07	07TM01	x,z	1 & 2	11-2021 - 10-2022	Verbouwing
	07TM02	x	1 & 2	07-2020 - 01-2023	Driftcorrectie lijkt niet te kloppen
	07TM03	z	1 & 2	11-2021 - 10-2022	Verbouwing
	07TM04	z	1 & 2	11-2021 - 10-2022	Verbouwing
	07TM13	z	1 & 2	11-2021 - 10-2022	Verbouwing
	07TM14	x,z	1 & 2	11-2021 - 10-2022	Verbouwing
10	10TM13	x,z	1	12-2020	Sensor vervangen
		x,z	1	11-2021	Sensor vervangen
	10WS02	-	2	12-2022	Waterspanningsmeter verloopt <sup>1</sup>

Loc.	Sensor	Meting	Fase	Periode	Verklaring
12	12TM01	t	1 & 2	05-2020 – 01-2023	n.b.
	12TM02	t	1 & 2	05-2020 – 01-2023	n.b.
		x,z	1	08-2021	n.b.
		x,z	2	07-2022	n.b.
13	13WS02	-	1 & 2	06-2020 – 01-2023	Aanwezigheid grote boom <sup>3</sup>

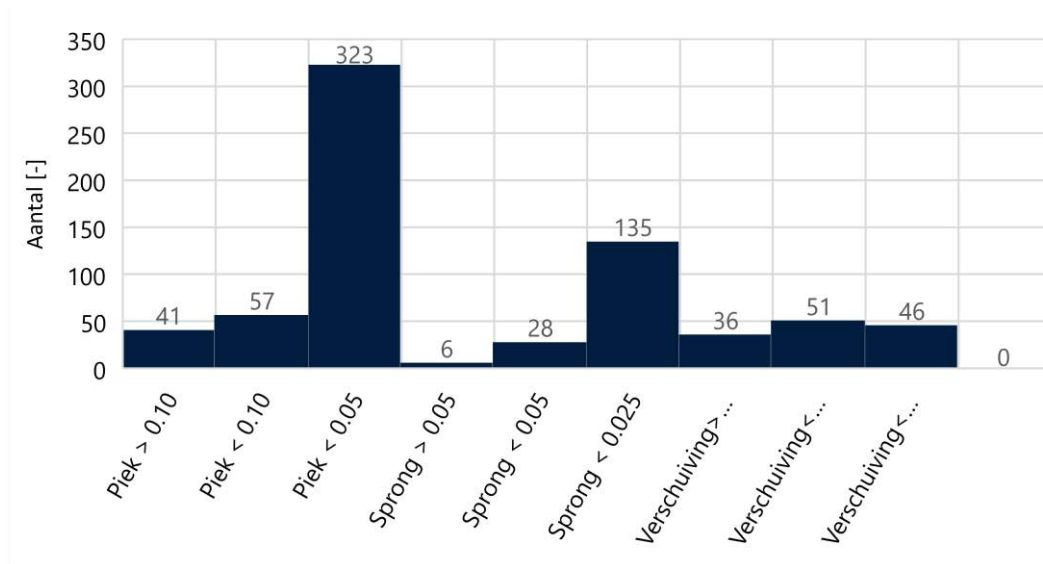
1) In het algemeen een bekend probleem bij waterspanningsmeters  
2) Vervangen in verband met kapotte temperatuursensor  
3) Wortelsysteem onttrekt grondwater aan direct omgeving  
Door installatie kunnen sensoren bij start van de meting afwijkende meetwaarden laten zien, dit is geconstateerd bij sensoren; 06PB01, 06PB02, 06WS01, 06OW01, 07PB01, 07PB02, 07WS01, 07WS02

### 4.3 Anomaliedatabase tiltmetingen fase 2

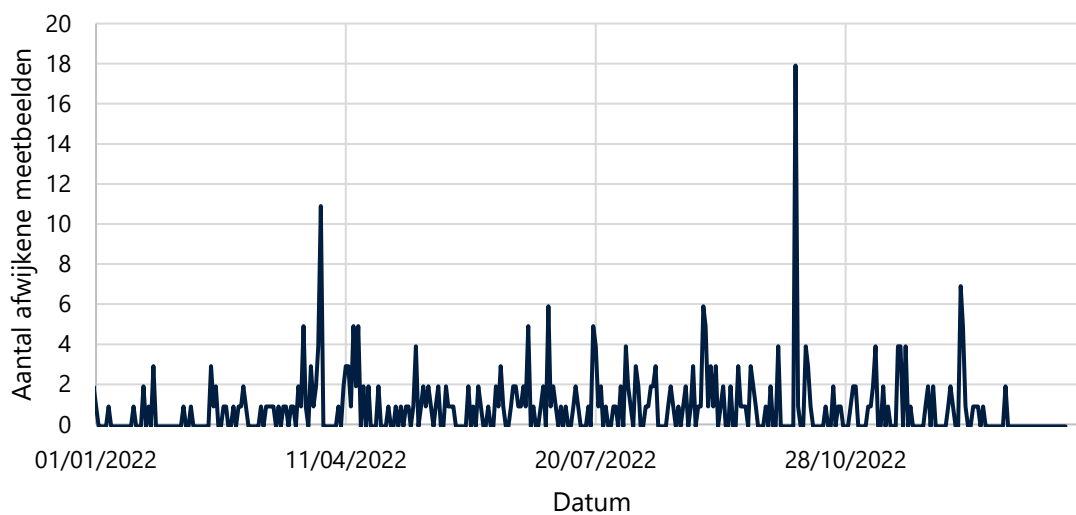
De meetdata van de tiltsensoren wordt geanalyseerd op afwijkende meetbeelden welke in een database worden bijgehouden. Op basis van de eerste meetperiode zijn diverse afwijkende meetbeelden gedefinieerd, welke gekoppeld zijn aan een bepaalde grenswaarde. Waarbij de grenswaarde een gekozen meetwaarden van de tilt is om onderscheid te maken in verschillende groottes van de afwijkende meetbeelden. Onderstaand zijn de verschillende meetbeelden opgesomd. De gekozen grenswaarden zijn  $<0.025[^\circ]$ ,  $<0.05[^\circ]$  en  $>0.1[^\circ]$ . Voor een uitgebreidere beschrijving wordt verwezen naar 1418-0227-010.AM. De rotaties betreffen steeds de rotaties van een tiltsensor ten opzichte van de beginwaarden van diezelfde sensoren. De waarden zijn in dit stadium van de analyse niet vergeleken met de rotaties van de naastliggende tiltsensoren.

- Afwijkende piek [grenswaarde], meetbeeld terug naar normaal na piekwaarde
- Abrupte sprong [grenswaarde],
- Blijvende verschuiving meetbeeld omhoog of omlaag [grenswaarde],

In de beschouwde meetperiode (fase 2; 2022) zijn in totaal 352 afwijkende meetbeelden geïdentificeerd en aan de anomaliedatabase toegevoegd. Figuur 4-2 en Figuur 4-3 laten een overzicht zien van de afwijkende meetbeelden met een indeling naar de eerdergenoemde categorieën en grenswaarden en de tijd. In Tabel 4.2 is de top 10 van sensoren met het grootste aantal afwijkende meetbeelden gepresenteerd. In Tabel 4.3 is de top 10 met data met het grootste aantal afwijkende meetbeelden gepresenteerd.



Figuur 4-2: Overzicht geregistreerde afwijkende meetbeeld ingedeeld naar categorie



Figuur 4-3: Overzicht aantal afwijkende meetbeelden in de tijd

Tabel 4.4: Top 10 sensoren met meeste afwijkende meetbeelden

Sensor	count	Piek > 0.10	Piek < 0.10	Piek < 0.05	Sprong > 0.05	Sprong < 0.05	Sprong < 0.025	Verschuiving > 0.05	Verschuiving < 0.05	Verschuiving < 0.025
03TM06	50	0	0	1	0	0	49	0	0	0
03TM07	33	0	0	33	0	0	0	0	0	0
01TM14	23	0	3	20	0	0	0	0	0	0
05TM01	17	2	4	11	0	0	0	0	0	0
04TM11	11	3	2	4	0	1	0	0	1	0
07TM03	11	1	1	2	0	0	0	4	3	0
01TM13	7	0	0	7	0	0	0	0	0	0
01TM05	6	0	0	1	0	0	0	0	2	3
04TM10	6	0	0	0	0	0	1	3	1	1
07TM01	6	0	0	1	0	0	1	4	0	0

Tabel 4.5: Top 10 data met meest afwijkende meetbeelden

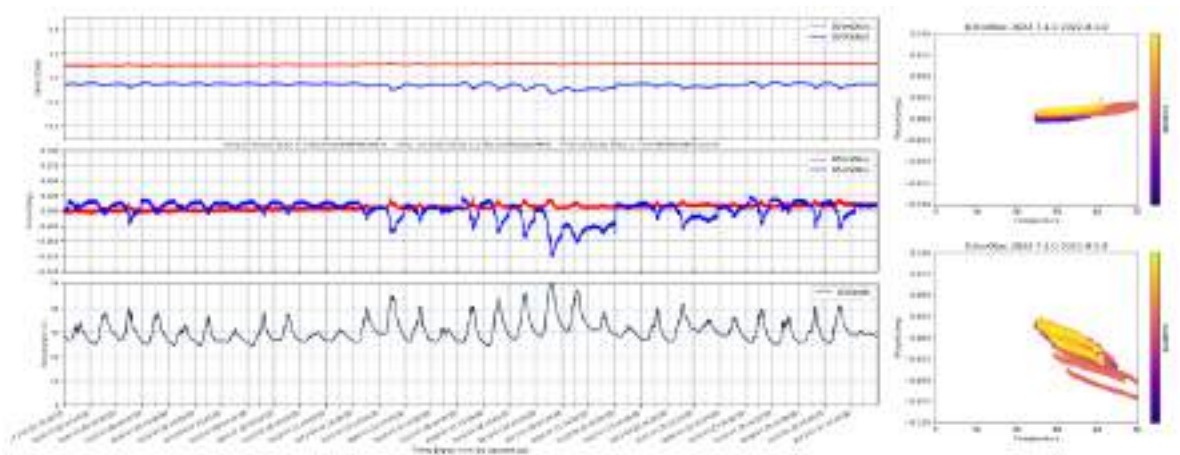
Datum	count	Piek > 0.10	Piek < 0.10	Piek < 0.05	Sprong > 0.05	Sprong < 0.05	Sprong < 0.025	Verschuiving > 0.05	Verschuiving < 0.05	Verschuiving < 0.025
08/10/2022	18	0	2	15	0	0	0	0	0	1
01/04/2022	11	0	0	6	0	0	2	0	2	1
13/12/2022	7	0	0	1	0	0	6	0	0	0
01/07/2022	6	0	0	4	0	0	0	2	0	0
01/09/2022	6	0	0	1	0	0	1	3	1	0
25/03/2022	5	0	2	1	0	0	2	0	0	0
14/04/2022	5	0	2	2	0	1	0	0	0	0
16/04/2022	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0
23/06/2022	5	0	0	3	0	1	0	0	0	1
19/07/2022	5	0	0	2	0	1	0	0	0	2



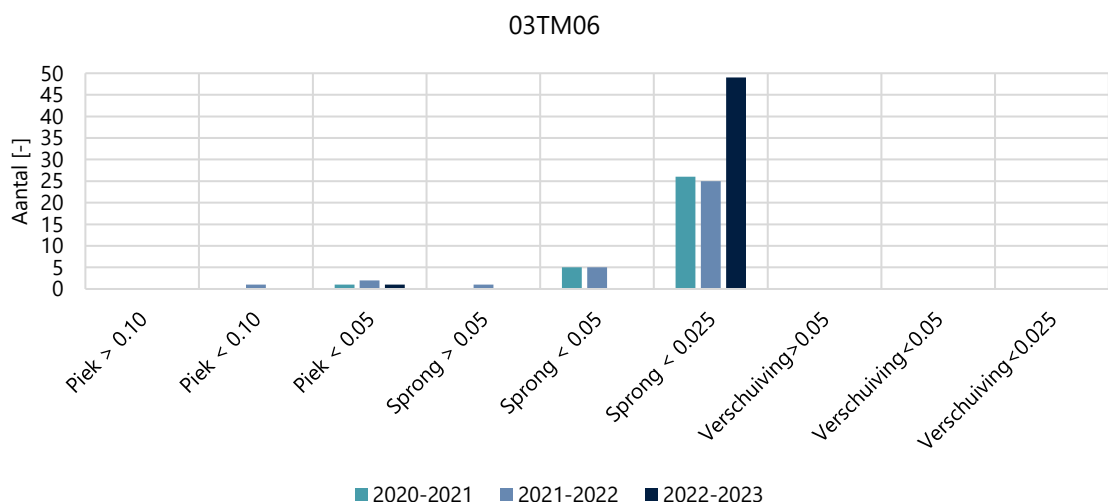
### 4.3.1 Top 3 sensoren met afwijkende tiltmetingen

#### 4.3.1.1 03TM06

Bij sensor 03TM06 zijn in de beschouwde meetperiode 50 afwijkende meetbeelden waargenomen. Zowel in de algemene data-analyse van 2020-2021 als 2021-2022 is sensor 03TM06 ook de sensor met het grootste aantal afwijkende meetbeelden. In Figuur 4-4 is een typisch meetbeeld van de sensor weergegeven. De mogelijke oorzaak voor het grote aantal afwijkende meetbeelden is in de eerdere analyse gesteld op de grote temperatuurschommelingen en de ouderdom van de gevel/staat van de gevel. In Figuur 4-5 zijn de geconstateerde afwijkende meetbeelden in 2020, 2021 en 2022 met elkaar vergeleken. De vastgestelde afwijkende meetbeelden zijn vergelijkbaar met de afwijkende meetbeelden in de periode beschouwd in 2020-2021 en 2021-2022. Er is geen verband met de tijdstippen van aardbevingen gevonden.



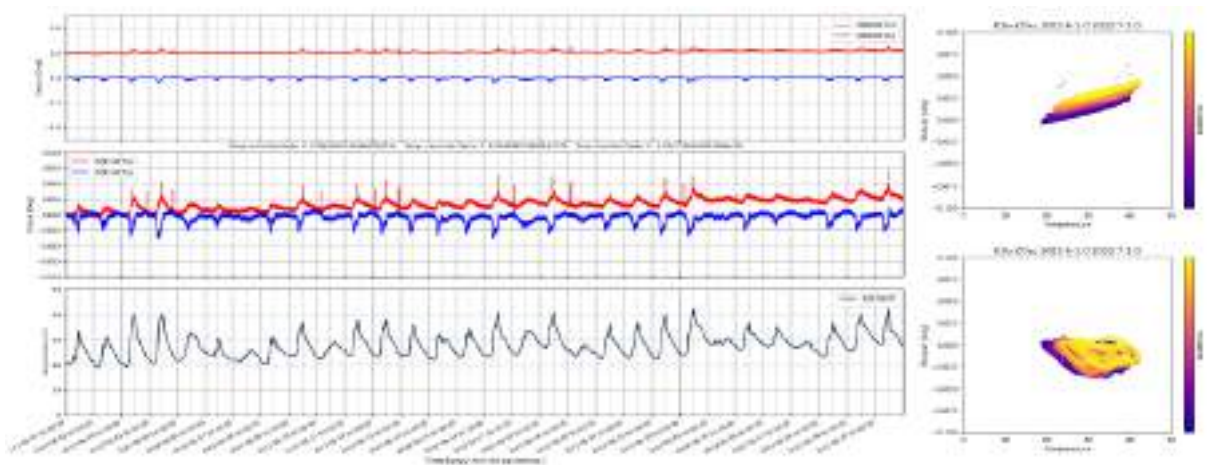
Figuur 4-4; Typisch meetbeeld tiltsensor 03TM06 (juli 2022)



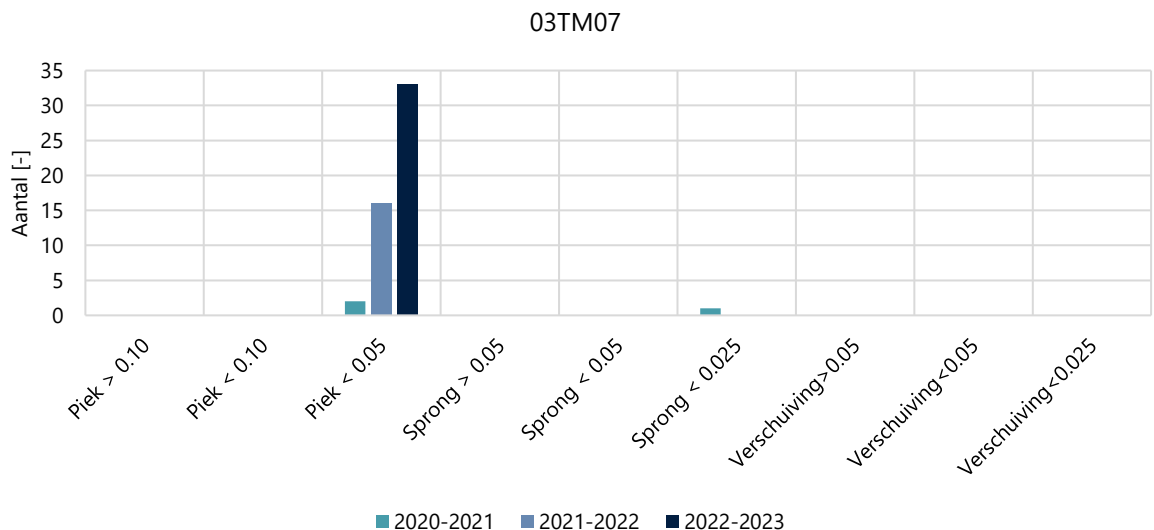
Figuur 4-5: Vergelijking afwijkende meetbeelden sensor 03TM06 in de periode 2022-2021, 2021-2022 en 2022-2023

#### 4.3.1.2 03TM07

Bij sensor 03TM07 zijn in de beschouwde meetperiode 33 afwijkende meetbeelden geconstateerd. In de ADA van 2021-2022 is sensor 03TM07 ook naar voren gekomen als sensor met een groot aantal afwijkende meetbeelden. In Figuur 4-6 is een typisch meetbeeld van de sensor weergegeven. In Figuur 4-7 zijn de geconstateerde afwijkende meetbeelden in 2020, 2021 en 2022 met elkaar vergeleken. In de periode 2021-2022 en 2022 zijn enkel afwijkende pieken waargenomen waarbij na de piek het meetbeeld weer een normaal gedrag laat zien. Een mogelijk verklaring is de aanwezigheid van de deur in de gevel die bij het open en dichtgaan de pieken kan veroorzaken. Er is geen verband met (de tijdstippen van) aardbevingen gevonden.



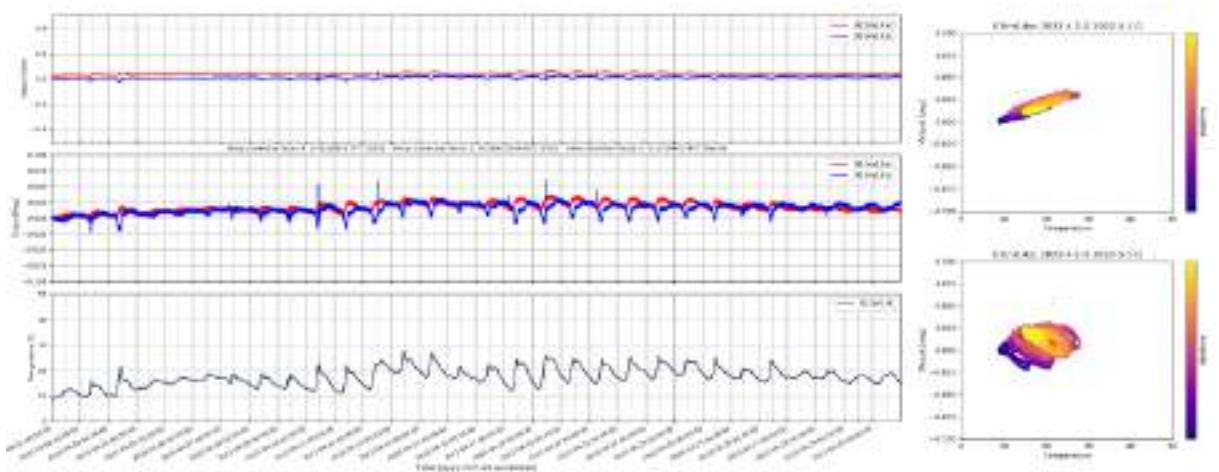
Figuur 4-6; Typisch meetbeeld tilsensor 03TM07 (juni 2022)



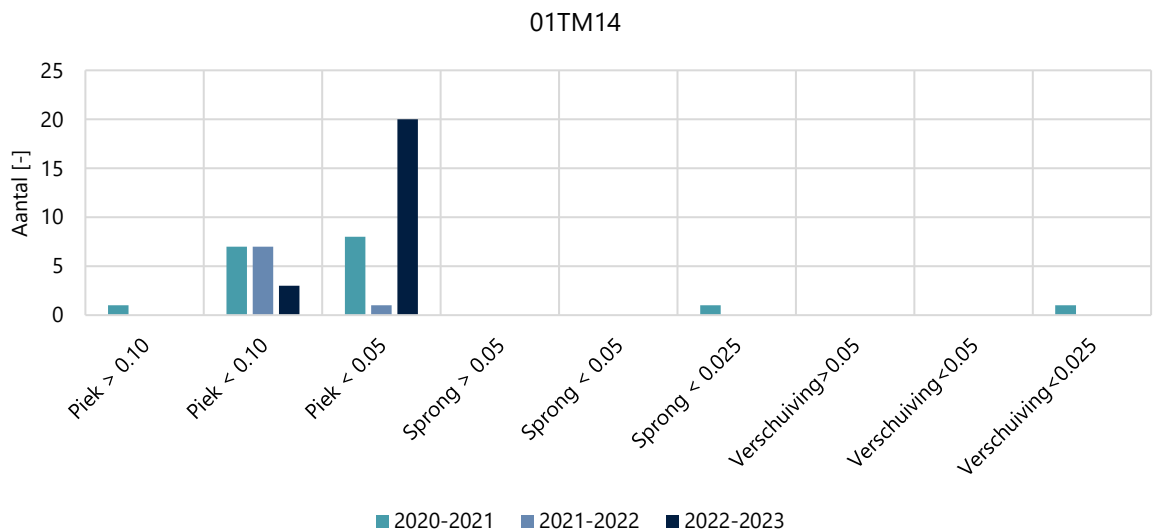
Figuur 4-7: Vergelijking afwijkende meetbeelden sensor 03TM07 in de periode 2020-2021, 2021-2022 en 2022-2023

### 4.3.13 01TM14

Bij sensor 01TM14 zijn in de beschouwde meetperiode 23 afwijkende meetbeelden geconstateerd. In de ADA van 2020-2021 is sensor 01TM14 ook al naar voren gekomen als sensor met een groot aantal afwijkende meetbeelden. In Figuur 4-8 is een typisch meetbeeld van de sensor weergegeven. In Figuur 4-9 zijn de geconstateerde afwijkende meetbeelden in 2020, 2021 en 2022 met elkaar vergeleken. Het type afwijkend meetbeeld is voornamelijk pieken in de z-richting (loodrecht op de muur). Dit is ook in de beschouwing in de periode van 2020-2021 geconstateerd. De oorzaak werd verondersteld het openen en sluiten van de deuren te zijn. Er is geen verband met (de tijdstippen van) aardbevingen gevonden.



Figuur 4-8; Typisch meetbeeld tilsensor 01TM14 (april 2022)

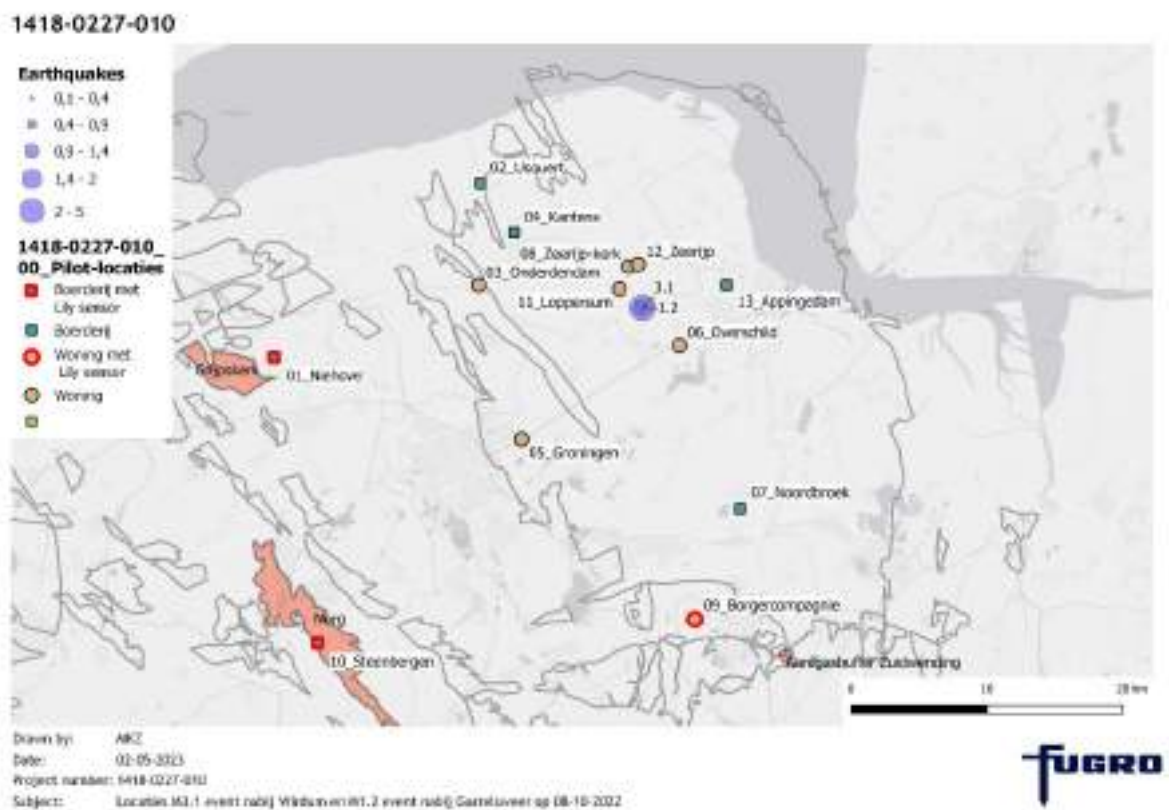


Figuur 4-9: Vergelijking afwijkende meetbeelden sensor 01TM14 in de periode 2020-2021, 2021-2022 en 2022-2023

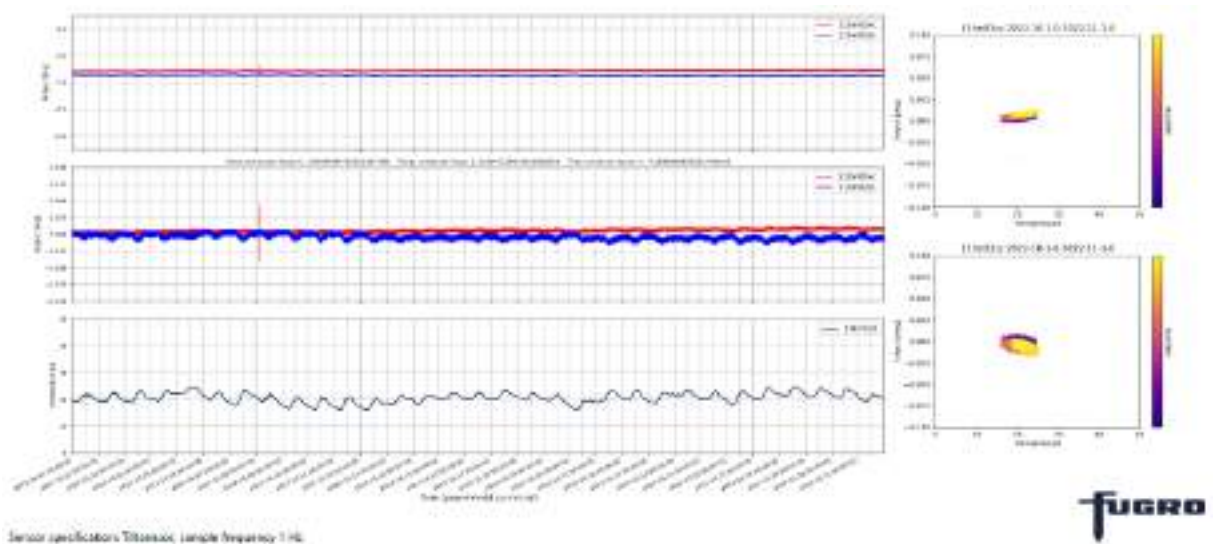
## 4.3.2 Top 3 momenten met afwijkende tiltmetingen

### 4.3.2.1 08-10-2022

Op 08-10-2022 zijn 18 afwijkende meetbeelden geconstateerd. Het type afwijkende meetbeeld is voornamelijk een "piek <0.05", zie Figuur 4-11. Op 08-10-2022 zijn twee aardbevingen waargenomen omstreeks 4:17 (lokale tijd) met een magnitude 3.1 nabij Wirdum en omstreeks 7:35 (lokale tijd) met een magnitude 1.2 nabij Garrelsweer, zie Figuur 4-10. De afwijkende meetbeelden zijn voornamelijk waargenomen nabij het epicentrum van de aardbevingen (locatie 06, 08, 11, 12 en 13). Op 08-10-2022 zijn ook pieken bij drie sensoren van locatie 05 (Groningen) waargenomen. Het tijdstip van alle pieken komt overeen met het tijdstip van de aardbeving met een magnitude 3.1 nabij Wirdum.



Figuur 4-10: Locatie M3.1 event Wirdum en M1.2 event Garrelsweer op 08-10-2022



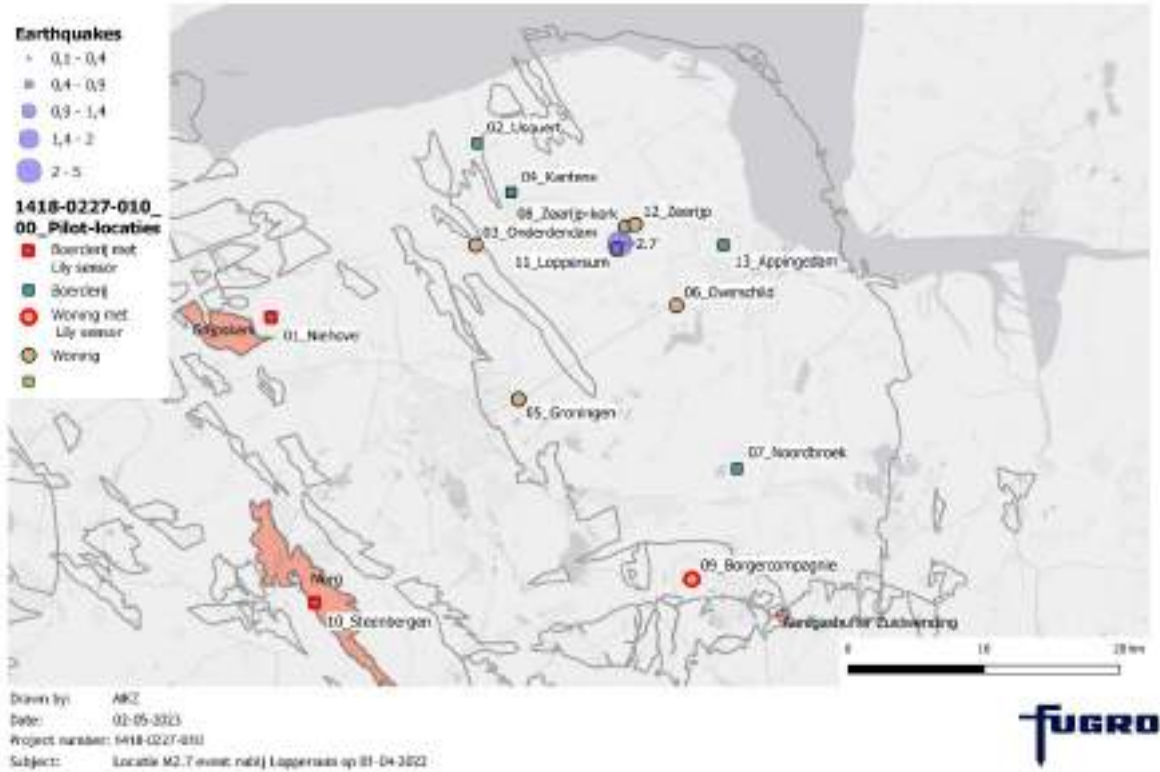
Figuur 4-11: "Piek <0,05" in meetdata 11TM02 op 08-10-2022

#### 4.3.2.2 01-04-2022

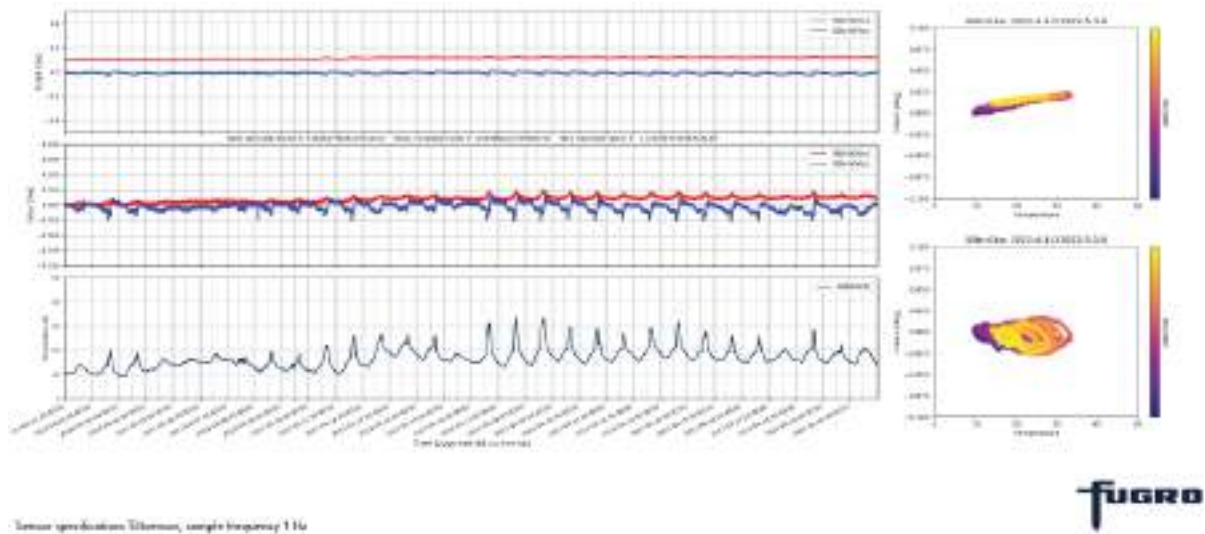
Op 01-04-2022 zijn 11 afwijkende meetbeelden geconstateerd. Het type afwijkende meetbeelden varieert, maar is voornamelijk een "piek <0.05", zie Figuur 4-13. Op 01-04-2022 is een aardbeving waargenomen omstreeks 19:11 (lokale tijd) met een magnitude 2.7 nabij Loppersum, zie Figuur 4-12. De afwijkende meetbeelden zijn voornamelijk waargenomen nabij het epicentrum van de aardbevingen (locatie 08, 12 en 13). Drie sensoren van locatie 05 (Groningen) tonen ook pieken op 01-04-2022, maar deze lijken niet veroorzaakt te zijn door de aardbeving aangezien ze optraden ruim voor de aardbeving plaatsvond. Het afwijkende meetbeeld op locatie 01 (Niehove) lijkt om dezelfde reden niet verband te houden met de aardbeving. Een oorzaak is niet gevonden. Een lokale trillingsbron is aannemelijk.



1418-0227-010



Figuur 4-12: Locatie M2.7 event Loppersum op 01-04-2022



Figuur 4-13: "Pieke <0,05" in meetdata 08TM04 op 01-04-2022

#### 4.3.2.3 13-12-2022

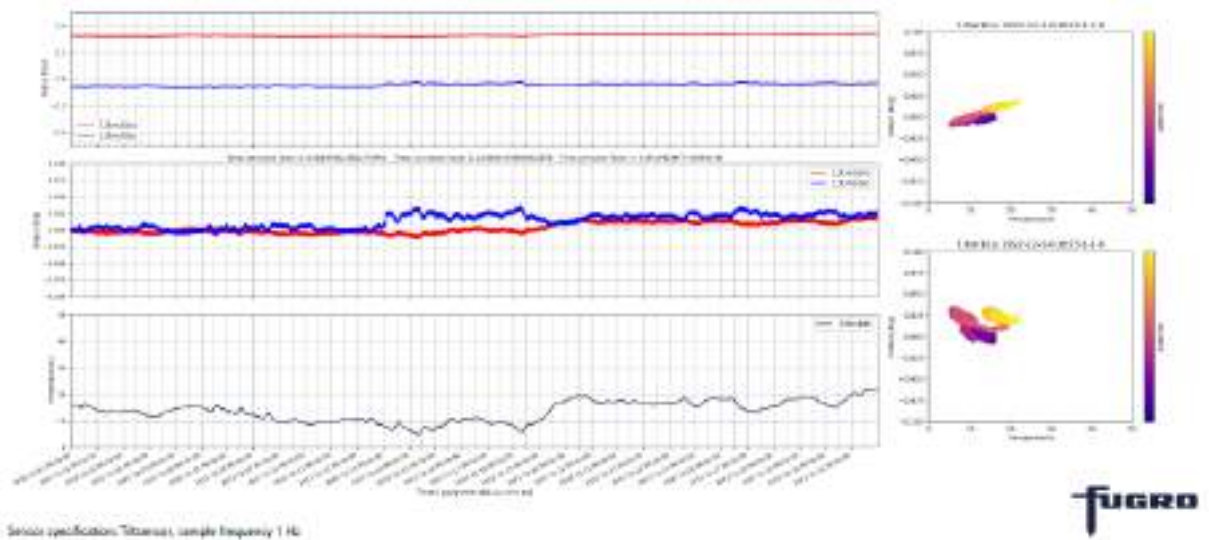
Op 13-12-2022 zijn 7 afwijkende meetbeelden waargenomen. Het type afwijkende meetbeeld is hoofdzakelijk "abrupte sprong <0.025", zie Figuur 4-14. Er zijn geen relevante aardbevingen waargenomen. De afwijkende meetbeelden zijn erg verspreid waargenomen bij sensoren op



locatie 03, 08, 09, 10 en 13. De tijdstippen van de afwijkende meetbeelden komen niet altijd overeen, maar de meeste sprongen vinden plaats enkele uren na middernacht.

De nacht van 12 op 13 december 2022 was erg koud, met een minimale temperatuur van  $-8,8$  °C (KNMI-meetstation Eelde). De wind was zwak (gem. 1,7 m/s). Aangezien de sensoren gevoelig zijn voor temperatuur, heeft de kou mogelijk een rol gespeeld. Echter is het in de dagen voor en na 13 december ook erg koud geweest, wat niet direct terug te zien is in de afwijkende meetbeelden.

Gezien het beperkte aantal afwijkende meetbeelden zijn geen verdere pogingen ondernomen om een oorzaak voor de afwijkende meetbeelden op deze datum te achterhalen.



Figuur 4-14: 'Abrupte sprong  $<0,025''$  in meetdata 13TM10 op 13-12-2022

### 4.3.3 Overzicht grootste afwijkende tiltmetingen

In deze sectie wordt een selectie van 4 van de grootste afwijkende meetbeelden gepresenteerd. De anomalie database is hiervoor gefilterd op "Blijvende verschuiving meetbeeld omhoog of omlaag  $>0.05''$ " en "abrupte sprong  $>0.05''$ ". Dit resulteerde in 25 afwijkingen weergegeven in Tabel 4.6 en opgenomen in Appendix C. De dikgedrukte afwijkende meetbeelden worden in de volgende secties uitgelicht.

In 2022 is op locatie de schuur verbouwd, wat terug te zien is in de grootste afwijkende meetbeelden van de sensoren. Opvallend is dat bij de overige vijf locaties de grootste afwijkende meetbeelden zich ook voornamelijk voordeden bij sensoren geplaatst in of op een schuur (6 van de 9 of 67%). Geen van de grootste afwijkende tiltmetingen correspondeert met een moment van een aardbeving die mogelijk invloed op de betreffende locatie kan hebben.

Tabel 4.7: Grootste afwijkende meetbeelden in 2022

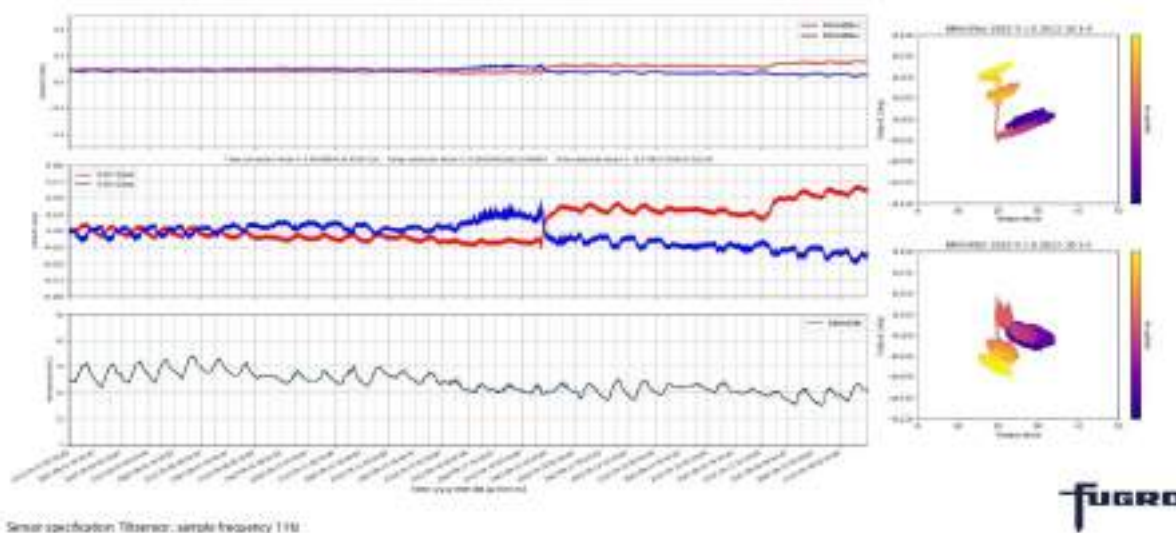
Loc.	Periode	Sensor	Object	Datum	Type meetbeeld	Schade toename nabij sensor	Meetbeeld zichtbaar in laserscan
01	2022-9	01TM09	Woning	06-09-22	1	Nee	Nee
03	2022-11	03TM01	Woning	09-11-22	1	Nee	Nee
04	2022-1	04TM10	Schuur	01-01-22	1	Nee	Nee
<b>04</b>	<b>2022-2</b>	<b>04TM10</b>	<b>Schuur</b>	<b>16-02-22</b>	<b>1</b>	<b>Nee</b>	<b>Nee</b>
04	2022-8	04TM09	Schuur	05-08-22	1	Nee	Nee
<b>04</b>	<b>2022-9</b>	<b>04TM09</b>	<b>Schuur</b>	<b>15-09-22</b>	<b>1</b>	<b>Nee</b>	<b>Nee</b>
04	2022-12	04TM10	Schuur	02-12-22	1	Nee	Nee
07	2022-5	07TM01	Schuur	30-05-22	1	7_58, 7_59	Ja
07	2022-6	07TM01	Schuur	10-06-22	1	7_58, 7_59	Ja
07	2022-7	07TM04	Schuur	01-07-22	1	Nee	Nee
07	2022-7	07TM13	Schuur	01-07-22	1	7_66	Ja
07	2022-7	07TM03	Schuur	03-07-22	1	Nee	Ja
<b>07</b>	<b>2022-7</b>	<b>07TM14</b>	<b>Schuur</b>	<b>06-07-22</b>	<b>1</b>	<b>Nee</b>	<b>Ja</b>
07	2022-7	07TM01	Schuur	21-07-22	1	7_58, 7_59	Ja
07	2022-8	07TM13	Schuur	01-08-22	1	7_66	Ja
07	2022-8	07TM14	Schuur	01-08-22	1	Nee	Ja
07	2022-8	07TM03	Schuur	02-08-22	1	Nee	Ja
07	2022-9	07TM03	Schuur	01-09-22	1	Nee	Ja
07	2022-9	07TM13	Schuur	01-09-22	1	7_66	Ja
07	2022-9	07TM14	Schuur	01-09-22	1	Nee	Ja
07	2022-9	07TM01	Schuur	06-09-22	1	7_58, 7_59	Ja
07	2022-10	07TM05	Schuur	12-10-22	1	Nee	Nee
07	2022-12	07TM03	Schuur	08-12-22	1	Nee	Ja
<b>12</b>	<b>2022-7</b>	<b>12TM02</b>	<b>Woning</b>	<b>30-07-22</b>	<b>2</b>	<b>Nee</b>	<b>Nee</b>
13	2022-11	13TM06	Schuur	01-11-22	1	Nee	Nee

1) Blijvende verschuiving meetbeeld omhoog of omlaag > 0,05  
2) Abrupte sprong > 0,05  
3) Afwijkende piek > 0,05, meetbeeld terug naar normaal na piekwaarde



#### 4.3.3.1 04TM09, september

Bij sensor 04TM09 is in november een relatief groot verloop van de gemeten tilt in zowel x- als z-richting waargenomen evenals een abrupte sprong op 18 september, zie Figuur 4-15. De gemonitorde schades nabij deze tiltsensor lijken in 2022 niet te zijn toegenomen op basis van de nulmeting en heropname door Hanselman. Ook de laserscan data toont geen significante verplaatsingen en/of rotaties in deze periode.



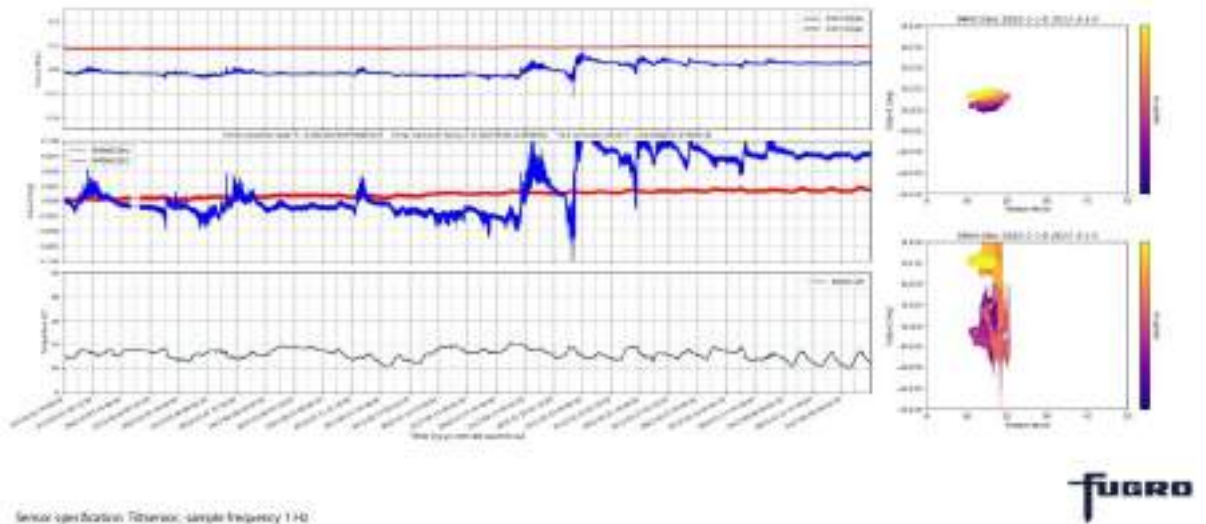
Figuur 4-15: Meetresultaten sensor 04TM09 in de maand september 2022

#### 4.3.3.2 04TM10, februari

In februari is een relatief groot verloop tilt waargenomen bij sensor 04TM10 (op een buitenmuur gericht op het noorden) in de z-richting. Ook zijn relatief grote uitwijkingen gemeten, vooral vanaf 16 tot en met 21 februari, zie Figuur 4-16. De gemonitorde schades nabij deze tiltsensor lijken in 2022 niet te zijn toegenomen op basis van de nulmeting en heropname door Hanselman. Ook de laserscan data toont geen significante verplaatsingen en/of rotaties in deze periode.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat de nulmeting van de schade plaatsvond op 23 februari en de nulmeting van de laserscanning op 24 februari, dus nadat het meetbeeld is opgetreden. Het is niet ondenkbaar dat de schade vóór de nulmeting is toegenomen, waarna er tussen de nulmeting en heropname geen toename is vastgesteld. Op basis van de opnames van Archipunt van dezelfde schade in 2020 en 2021 lijkt er niet sprake van schade-toename over een langere periode.

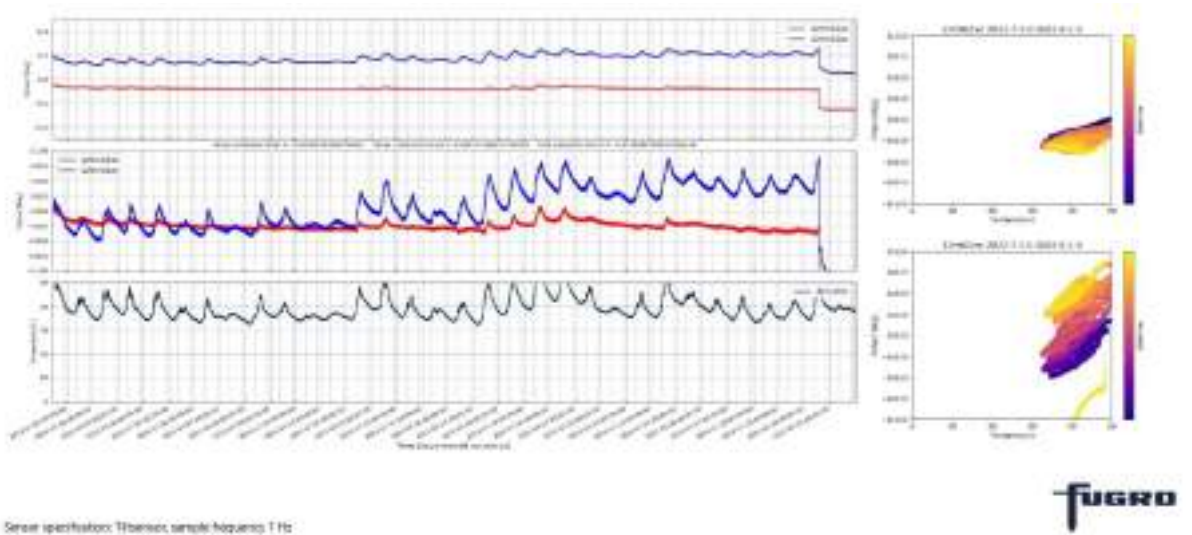
Het is aannemelijk dat de zware stormen die tussen 16 en 21 februari door Nederland trokken, blijvende rotatie van de gevel hebben veroorzaakt.



Figuur 4-16: Meetresultaten sensor 04TM10 in de maand februari 2022

#### 4.3.3.3 12TM02, 30 juli

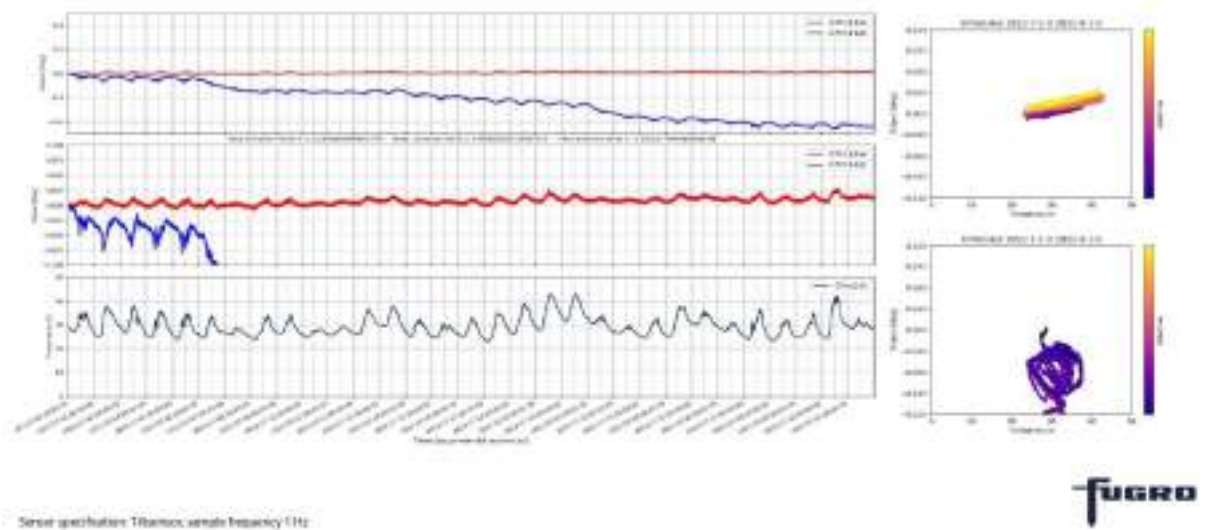
Op 30 juli is een relatief grote sprong in tilt gemeten in zowel x- als z-richting bij sensor 12TM02, zie Figuur 4-17. De gemonitorde schades nabij deze tiltsensor lijken in 2022 niet te zijn toegenomen op basis van de nulmeting en heropname door Hanselman. Ook de laserscan data toont geen significante verplaatsingen en/of rotaties in deze periode.



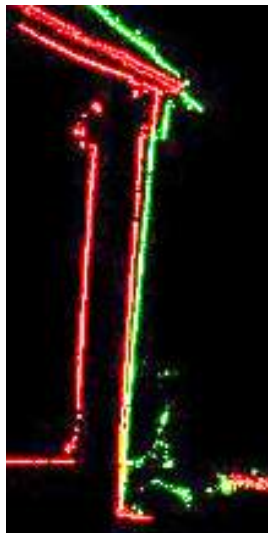
Figuur 4-17: Meetresultaten sensor 12TM02 in de maand juli 2022

#### 4.3.3.4 07TM14, juli

In de maanden juli, augustus en september is een relatief grote verschuiving in tilt waargenomen in z-richting bij hoofdzakelijk de sensoren 07TM01, 07TM03, 07TM13 en 07TM14. Figuur 4-18 geeft een typisch verschuiving weer voor deze periode op locatie 07. In deze periode is het dak van de schuur vervangen, wat een verklaring is voor de vele grote afwijkende meetbeelden. De gemonitorde schades nabij deze tiltsensor lijken in 2022 niet te zijn toegenomen op basis van de nulmeting en heropname door Hanselman. Ook de laserscan data nabij sensor 07TM14 toont significante verplaatsingen en/of rotaties in deze periode, zie Figuur 4-19.



Figuur 4-18: Meetresultaten sensor 07TM14 in de maand juli 2022



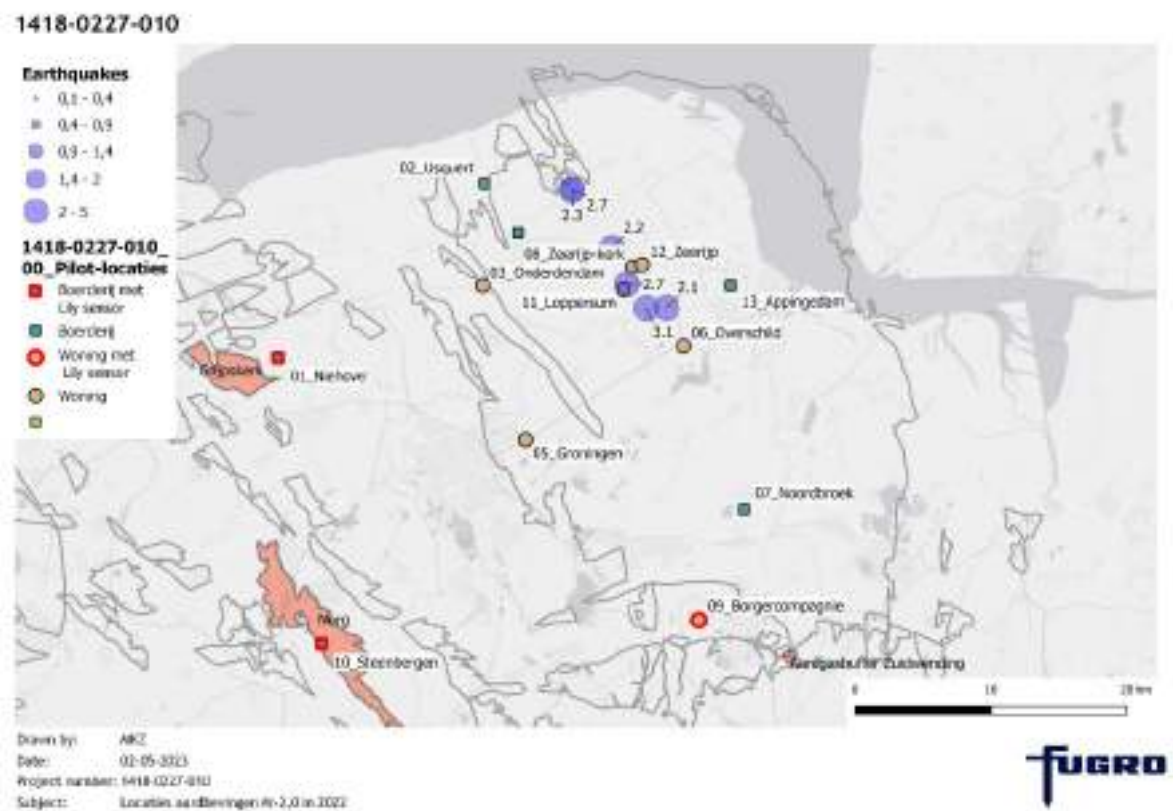
Figuur 4-19: Verticale doorsnede laserscan data van 30-03-2022 (rood) en 01-12-2022 (groen) nabij tiltsensor 07TM14

## 4.4 Tiltmetingen tijdens aardbevingen met hoogste magnitude

Conform specificatie van de opdrachtgever is er 1 tiltmeting per seconde opgeslagen bij de sensoren die aan het gebouw zijn bevestigd. Daarmee waren deze sensoren niet bedoeld om de bewegingen tijdens de aardbeving te meten. Desondanks zijn de zwaardere aardbevingen wel zichtbaar bij enkele meetlocaties. In deze paragraaf wordt een overzicht gepresenteerd van tiltsensoren die aardbevingen met magnitude > 2.0 hebben geregistreerd. In Tabel 4.8 zijn de geselecteerde events weergegeven en weergegeven op een kaart in Figuur 4-20.

Tabel 4.8: Aardbevingen met magnitude groter dan 2.0 in de periode 2022

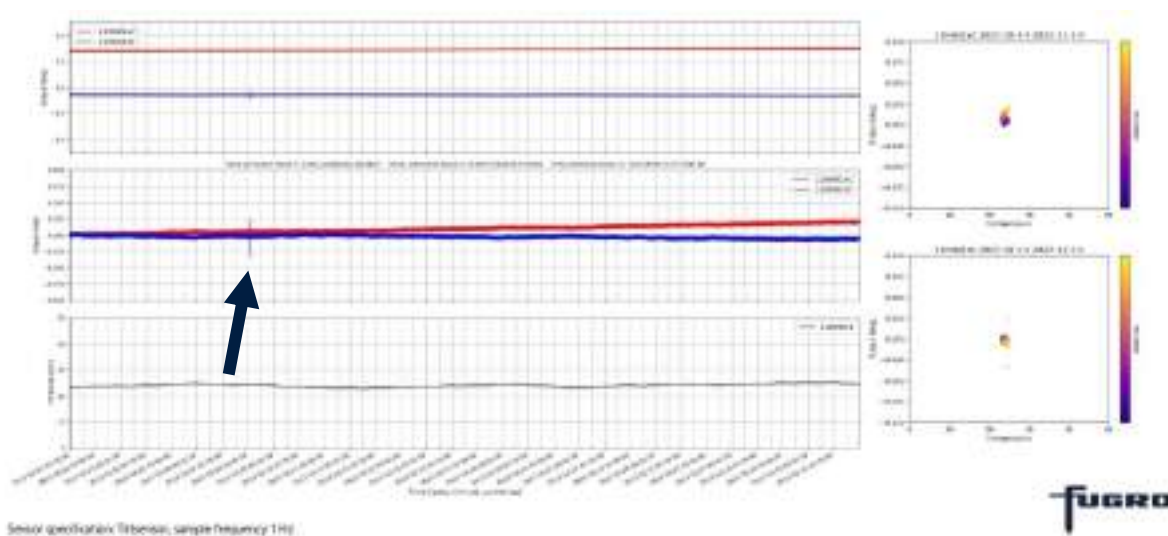
Origin Time	Mag.	Type	Lat.	Long.	Depth	Place
2022-10-08T02:17:17	3.1	MLn	53.319	6.772	3	Wirdum
2022-04-01T17:11:08	2.7	MLn	53.335	6.751	3	Loppersum
2022-09-24T10:20:38	2.7	MLn	53.398	6.692	3	Uithuizen
2022-09-09T00:39:11	2.3	MLn	53.398	6.694	3	Uithuizen
2022-10-22T10:14:04	2.2	MLn	53.319	6.794	3	Wirdum
2022-03-06T13:18:30	2.1	MLn	53.335	6.735	3	Zeerijp



Figuur 4-20: Locatie van de beschouwde aardbevingen en de pilot locaties

#### 4.4.1 M3.1 event Wirdum, 08-10-2022

Op 08-10-2022 is een M3.1 event nabij Wirdum waargenomen. Het tijdstip van de aardbeving is ook naar voren gekomen in het filteren op data met grootste aantal afwijkende meetbeelden, zie sectie 5.3.2.1. In Figuur 4-21 is de meetdata van het M3.1 event op 08-10-2022 nabij Wirdum weergegeven. De piek in tilt zoals volgt uit de 1 Hz data bedraagt maximaal +0,025 en – 0,030 graad, dwars op de muur. Deze waarde is groter dan de werkelijke rotatie als gevolg van de horizontale versnelling van de sensor. De maximaal gemeten versnelling PGA op de betreffende locatie bedraagt 0,33 m/s<sup>2</sup> en de piekgrondsnelheid die is gemeten bedraagt PGV = 10,5 mm/s.

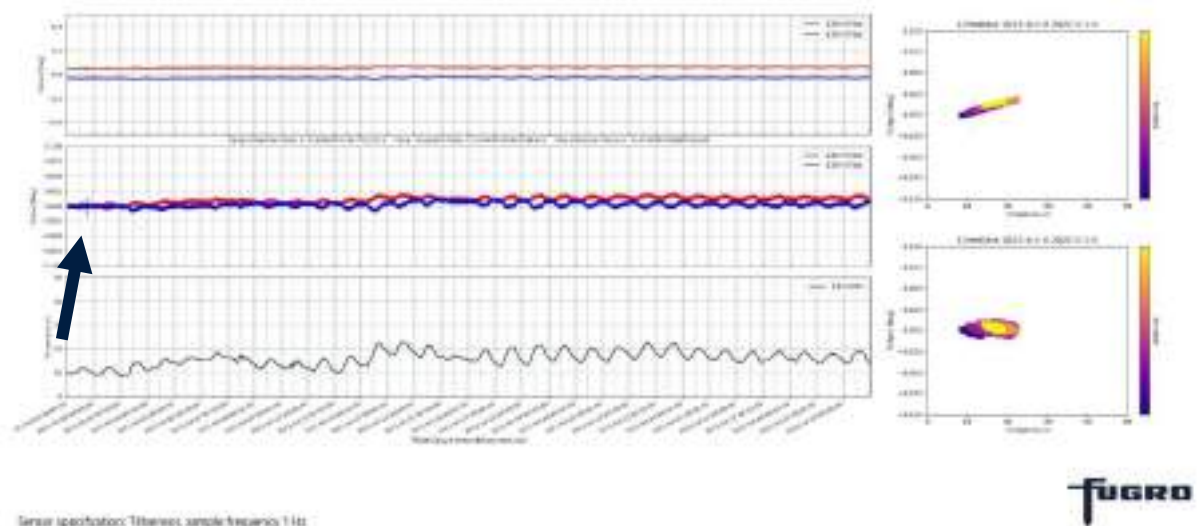


Figuur 4-21: Gemeten tilt van sensor 11TM01 in de maand oktober 2022 en de piek corresponderend met het M3.1 event op 08-10-2022 nabij Wirdum aangegeven met een pijl

#### 4.4.2 M2.7 event Loppersum, 01-04-2022

Op 01-04-2022 is een M2.7 event nabij Loppersum waargenomen. Het tijdstip van de aardbeving is ook naar voren gekomen in het filteren op data met grootste aantal afwijkende meetbeelden, zie sectie 5.3.2.2. In Figuur 4-22 is de meetdata van het M2.7 event op 01-04-2022 nabij Loppersum weergegeven. De piek in tilt zoals volgt uit de 1 Hz data bedraagt maximaal +0,013 en – 0,015 graad, dwars op de muur. Deze waarde is groter dan de werkelijke rotatie als gevolg van de horizontale versnelling van de sensor. De maximaal gemeten versnelling PGA op de betreffende locatie bedraagt 0,26 m/s<sup>2</sup> en de piekgrondsnelheid die is gemeten bedraagt PGV = 8,7 mm/s.

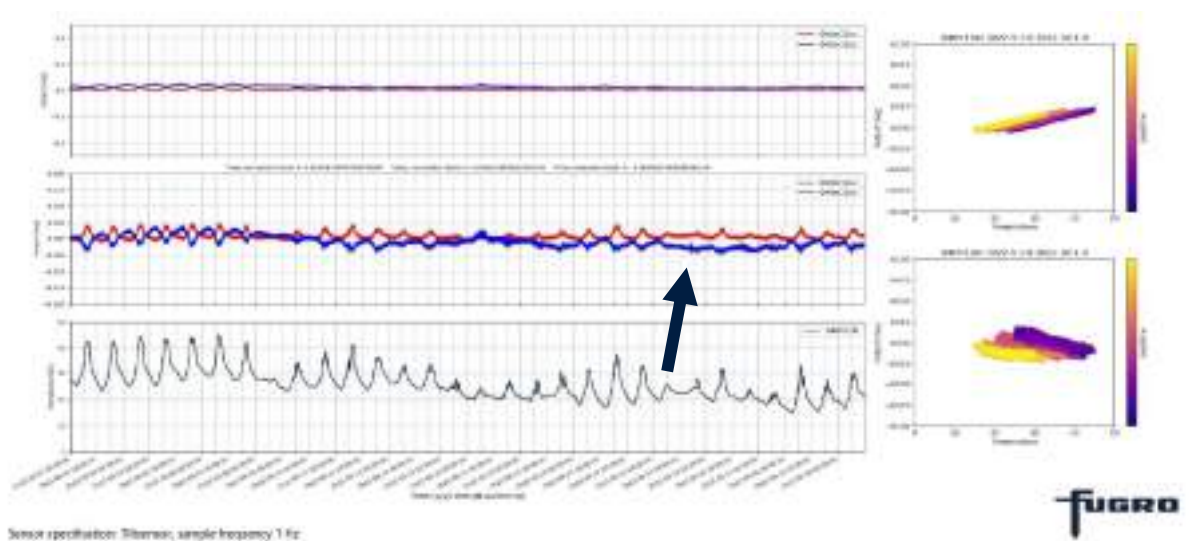




Figuur 4-22: Gemeten tilt van sensor 12TM04 in april 2022 en de piek corresponderend met het M2.7 event op 01-04-2022 nabij Loppersum aangegeven met een pijl

#### 4.4.3 M2.7 event Uithuizen, 24-09-2022

Op 24-09-2022 is een M2.7 event nabij Uithuizen waargenomen. De datum en het tijdstip van de aardbeving komen niet naar voren als datum met een groot aantal afwijkende meetbeelden. Op 24-09-2022 is géén afwijkend meetbeeld opgenomen in de anomalie-database. Bij nadere inspectie van de meetdata van de tiltsensoren op de meest nabije locatie (04) is een kleine piek waargenomen op de sensoren die hoger aan de muur zijn bevestigd (sensor 04TM12 en 04TM13). In Figuur 4-23 is de gemeten tilt bij sensor 04TM13 weergegeven, met een pijl is een piek gemarkeerd die overeenkomt met het tijdstip van de aardbeving. De afwijking in tiltwaarde, ten gevolge van de aardbeving, is nauwelijks herkenbaar in de grafiek, en de waarde gaat direct weer terug naar normaal.



Figuur 4-23: Gemeten tilt van sensor 04TM13 in de maand september 2022 en de piek corresponderend met het M2.7 event op 24-09-2022 nabij Uithuizen aangegeven met een pijl

## 4.5 Vergelijking tiltmetingen en laserscandata

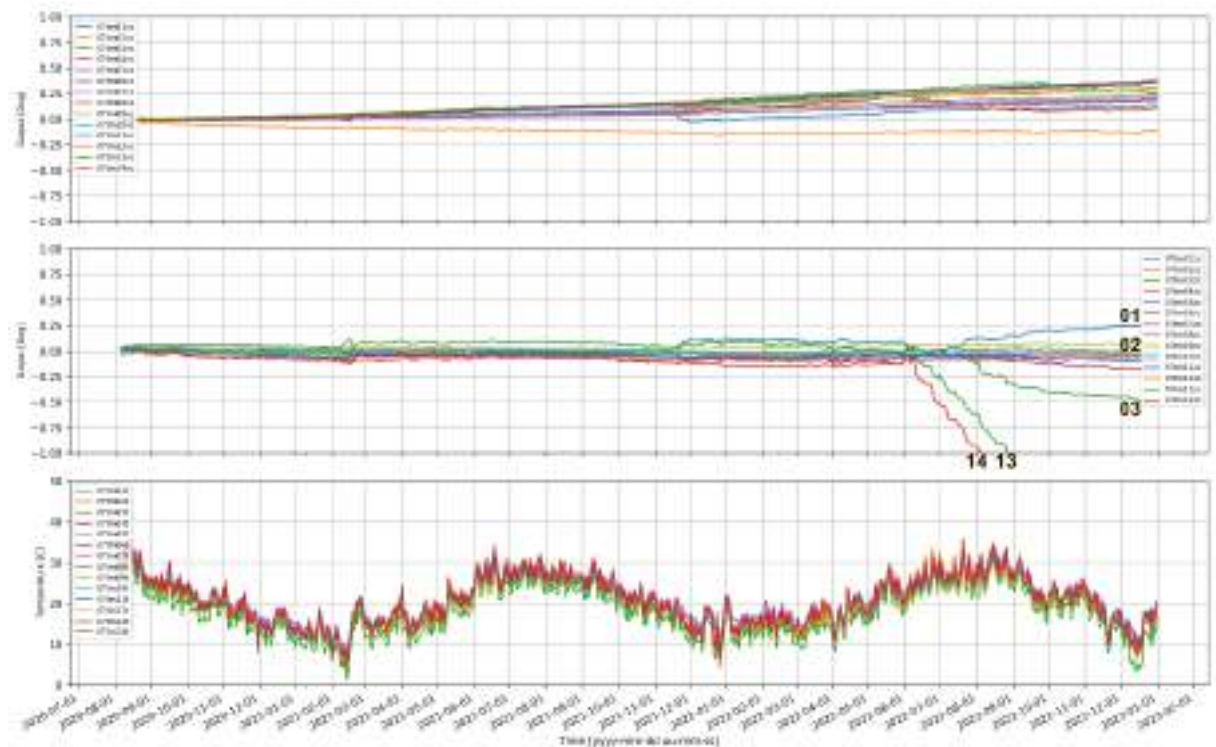
In het rapport 1418-0227-010.CM worden de relevante schade-opnames en de laserscanning resultaten beschreven van de periodiek opgenomen objecten. Uit de laserscan data blijkt dat bij 11 objecten geen significante verplaatsingen (horizontaal en verticaal) en/of rotaties zijn waargenomen in de periode tussen de 0-opname en de heropname. Bij 1 locatie (07) is wel een significante verandering waargenomen.

De nauwkeurigheid van de laserscans is sterk afhankelijk van de meetafstand en richting. De laser scant het object, wat resulteert in een grote verzameling van punten ("puntenwolk") die het object beschrijft. Door de puntenwolken van de nulmeting en heropname te vergelijken, kan een verplaatsing of tiltverandering worden gevonden. Dit betekent niet dat tijdens de nulmeting en heropname exact dezelfde punten gescand worden. De relatieve verplaatsing wordt bepaald op basis van de kortste afstand tussen een oud en een nieuw punt. Hoewel de laserscan nauwkeurig is tot 1 á 2 mm (over korte afstand), is de relatieve verplaatsing sterk afhankelijk van het aantal punten en de richting van het te meten vlak. Indien een gevel naar of van het apparaat beweegt (een horizontale beweging) is de nauwkeurigheid in de orde van grootte van +/- 2 mm. Voor een beweging dwars op de meetrichting (verticaal) is de nauwkeurigheid in de orde van grootte van +/- 4 mm. Er is een gedetailleerde analyse uitgevoerd met behulp van meetbouten zichtbaar in de laserscandata om de nauwkeurigheid van de verticale verplaatsingen te verbeteren. Indien nodig, bijvoorbeeld vanwege begroeiing, zijn alternatieve punten geanalyseerd die zich nabij (meestal boven) de bouten bevonden. De nauwkeurigheid van de verticale verplaatsing is hierdoor verbeterd tot naar schatting +/- 2 mm.

Voor locatie 07 zijn significante relatieve horizontale verplaatsingen gemeten in de periode tussen de nulmeting en heropname, welke zeer waarschijnlijk samenhangen met het vervangen van het dak van de schuur tussen juni t/m oktober 2022. Mogelijk zijn ook andere verbouwwerkzaamheden aan de schuur uitgevoerd, of verandering van de constructie of fundering. Omdat verbouwwerkzaamheden locatie-specifiek zijn is er geen nadere analyse van de oorzaak van de rotatie uitgevoerd.

#### 4.5.1 Relatieve verplaatsingen op basis van gemeten tilt

De gemeten tilt in de Z-richting, dus dwars op de buitengevel, voor alle sensoren op locatie 07 is weergegeven in Figuur 4-24. De grafieken zijn samengesteld op basis van gecorrigeerde data: de data is gecorrigeerd voor zowel de temperatuur als de drift in de tijd. Deze correcties zijn echter marginaal vergeleken met de significante hoekverdraaiingen die volgen uit een deel van de tiltmetingen. De sensoren 07TM01, 07TM02, 07TM03, 07TM13 en 07TM14 bevinden zich op gevels van de schuur waarvan het dak vervangen is.



Figuur 4-24: Gecorrigeerde tilt (temperatuur en drift) voor 14 sensoren op object 07 tussen juli 2020 en januari 2023. Voor sensoren 07TM01, 07TM02, 07TM03, 07TM13 en 07TM14 is tussen juni en oktober 2022 een blijvende verschuiving van de tilt zichtbaar.

De tilt in de periode tussen de 0-opname (maart 2022) en heropname (december 2022) en de resulterende hoekverdraaiing is gegeven in

Tabel 4.9 voor de vijf sensoren. Belangrijk is dat de sensoren 07\_TM\_01 en 07\_TM\_02 aan de binnenzijde van de muur gemonteerd zijn in tegenstelling tot de overige drie sensoren die aan de buitenzijde gemonteerd zijn. Hoewel de hoekverdraaiing voor deze twee sensoren in de zomer van 2022 positief gericht is, duiden alle tiltsensoren in deze periode op een naar buiten roterende muur, zie ook Figuur 4-1 op pagina 8. In



Tabel 4.9 zijn de horizontale verplaatsingen weergegeven op basis van de tiltmetingen, met als uitgangspunt dat de muren over de hele hoogte gelijk roteren.

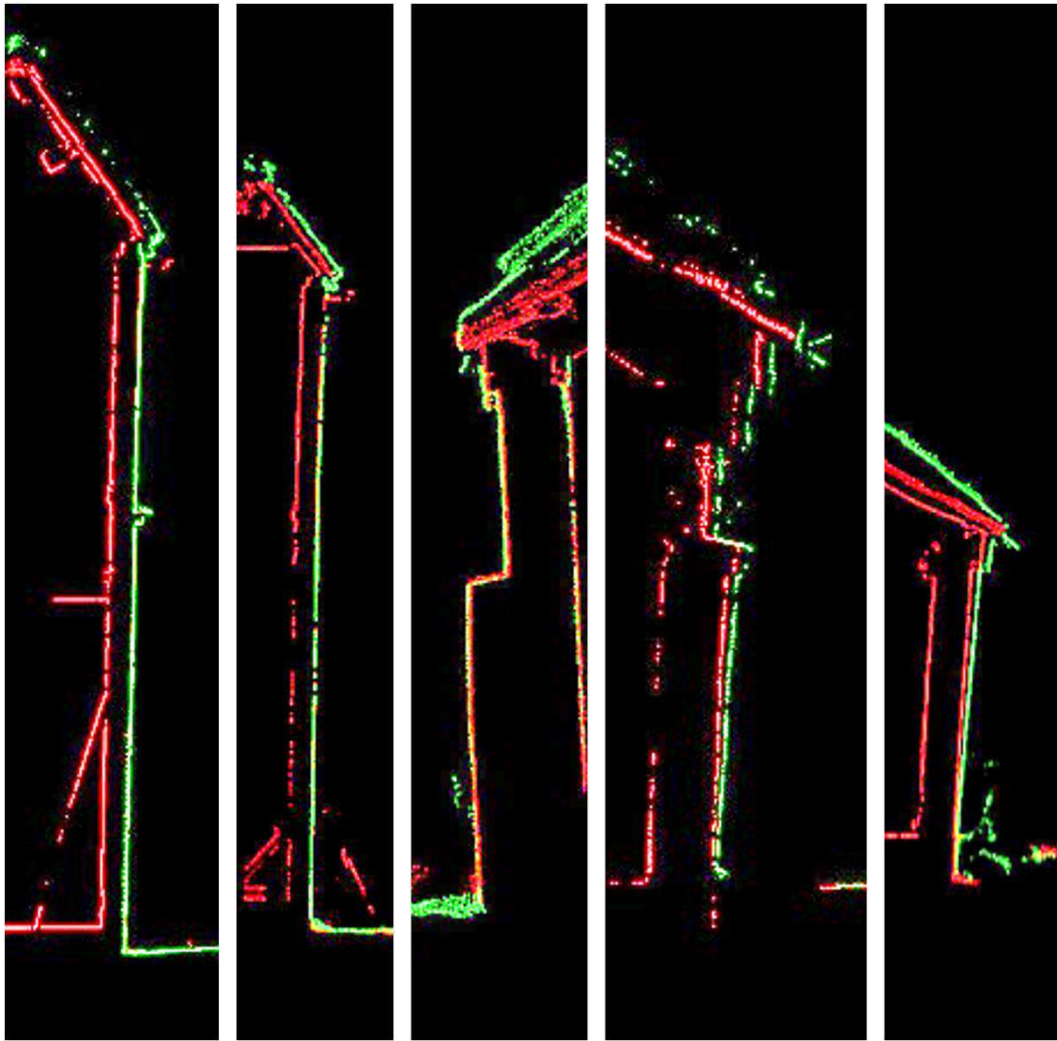
Tabel 4.9: Gecorrigeerde tilt (z) in de periode 30-03-2022 (0-opname) t/m 01-12-2022 (heropname) op loc. 07

Sensor	Gemeten tilt in graden		Hoekverdraaiing in graden	Relatieve horizontale verplaatsing in cm over xx m		
	30-03-2022	01-12-2022		xx = 1,0 m	xx = 2,0 m	xx = 5,0 m
07_TM_01	+0,09	+0,24	+0,15	0,3	0,5	1,3
07_TM_02	-0,05	-0,02	+0,03	0,1	0,1	0,3
07_TM_03	-0,03	-0,44	-0,41	-0,7	-1,4	-3,6
07_TM_13	+0,04	-1,22	-1,26	-2,2	-4,4	-11,0
07_TM_14	-0,09	-1,56	-1,47	-2,6	-5,1	-12,8

#### 4.5.2 Relatieve verplaatsingen op basis van laserscandata

In Figuur 4-25 zijn de vijf doorsnedes van de laserscan data te zien nabij de vijf sensoren vermeld in

Tabel 4.9. Het is goed zichtbaar dat met name de muur nabij de sensoren 07\_TM\_13 en 07\_TM\_14 een significante relatieve horizontale verplaatsing naar buiten heeft ondervonden in de periode tussen de 0-opname en heropname.



Figuur 4-25; Verticale doorsnedes van de laserscan data op locatie 07 van 30-03-2022 (rood) en 01-12-2022 (groen) nabij respectievelijk van links naar rechts, sensor 07TM01, 07TM02, 07TM03, 07TM12, 07TM13 en 07TM14

De relatieve horizontale verplaatsing van de top van de muur ter plaatse van de sensoren is weergegeven in Tabel 4.10. Opgemerkt dient te worden dat de relatieve horizontale verplaatsingen aan de achterzijde van het object ter hoogte van de tilsensoren 07TM01 en 07TM02 ( $\pm 1,5$  m) nagenoeg 0 zijn, waardoor de tilsensoren mogelijk geen goede indicatie geven voor de hoekverdraaiing bij de top van de muur ( $\pm 7$  m). De laserscandata van de achtergevel (met name het aanzicht) duidt erop dat deze gevel enigszins krom is gaan staan en dat de onderzijde nauwelijks roteert.

Tabel 4.10: Relatieve horizontale verplaatsing top van de muur op basis van laserscan aanzichten uit de laserscanning rapportage van object 07

Sensor	Schatting hoogte tilsensor (m t.o.v. MV)	Schatting hoogte top muur (m t.o.v. MV)	Relatieve horizontale verplaatsing top muur (cm)	Relatieve hoekverdraaiing ( $^{\circ}$ )
07_TM_01	1,5 (binnen)	7,0	0-3	0,0 – 0,2
07_TM_02	1,5 (binnen)	7,0	0-3	0,0 – 0,2
07_TM_03	1,5 (buiten)	2,0	1-2	0,3 – 0,6

Sensor	Schatting hoogte tilsensor (m t.o.v. MV)	Schatting hoogte top muur (m t.o.v. MV)	Relatieve horizontale verplaatsing top muur (cm)	Relatieve hoekverdraaiing (°)
07_TM_13	0,3 (buiten)	2,0	5-7	1,4 – 2,0
07_TM_14	0,3 (buiten)	2,0	5-7	1,4 – 2,0

De zijgevel van object 07 met de sensoren 07TM13 en 07TM14 in Tabel 4.10 zakt in de periode tussen de 0-opname en heropname ongeveer 3-4 mm. De achtergevel met de sensoren 07TM02 en 07TM03 zakt, op basis van een beperkt aantal punten, 0 mm. Over het algemeen zakt het woongedeelte van het object 2-4 mm.

#### 4.5.3 Vergelijking relatieve verplaatsingen en tilt

Er kan geconcludeerd worden dat de relatieve verplaatsingen op basis van de tiltdata en de laserscandata redelijk overeenkomen (zelfde orde van grootte) voor locatie 07, zie Tabel 4.11. Zo zijn de relatieve horizontale verplaatsingen van de top van de muur ter plaatse van tilsensor 07TM13 en 07TM14 respectievelijk 4,4 cm en 5,1 cm op basis van de gemeten tilt en 5-7 cm op basis van de laserscan data. Voor tilsensor 07\_TM\_02 is goed zichtbaar dat de gevel inderdaad enigszins krom is gaan staan, aangezien de bovenzijde 0 tot 3 cm uitwijkt terwijl de onderzijde nauwelijks roteert (0,4 cm aan de top van de muur op basis van de tilt).

Bovendien zakt de roterende gevel uniform (hetgeen blijkt uit analyse van de laserscanning/ de locaties van de meetboutsen), wat verklaart dat de tilsensoren in de x-richting niet of nauwelijks verschuiving in de tilt weergeven, zie Figuur 4-24 op pagina 28.

Voor de tilsensoren in het algemeen betekent dit een bevestiging van de correcte werking op basis van de laserscan metingen.

Tabel 4.11: Relatieve hoekverdraaiing en horizontale verplaatsing aan de top van de muur op basis van de laserscan aanzichten en de gemeten tilt. In deze tabel geeft een naar buiten roterende muur een positieve waarde en een naar binnen roterende muur een negatieve waarde.

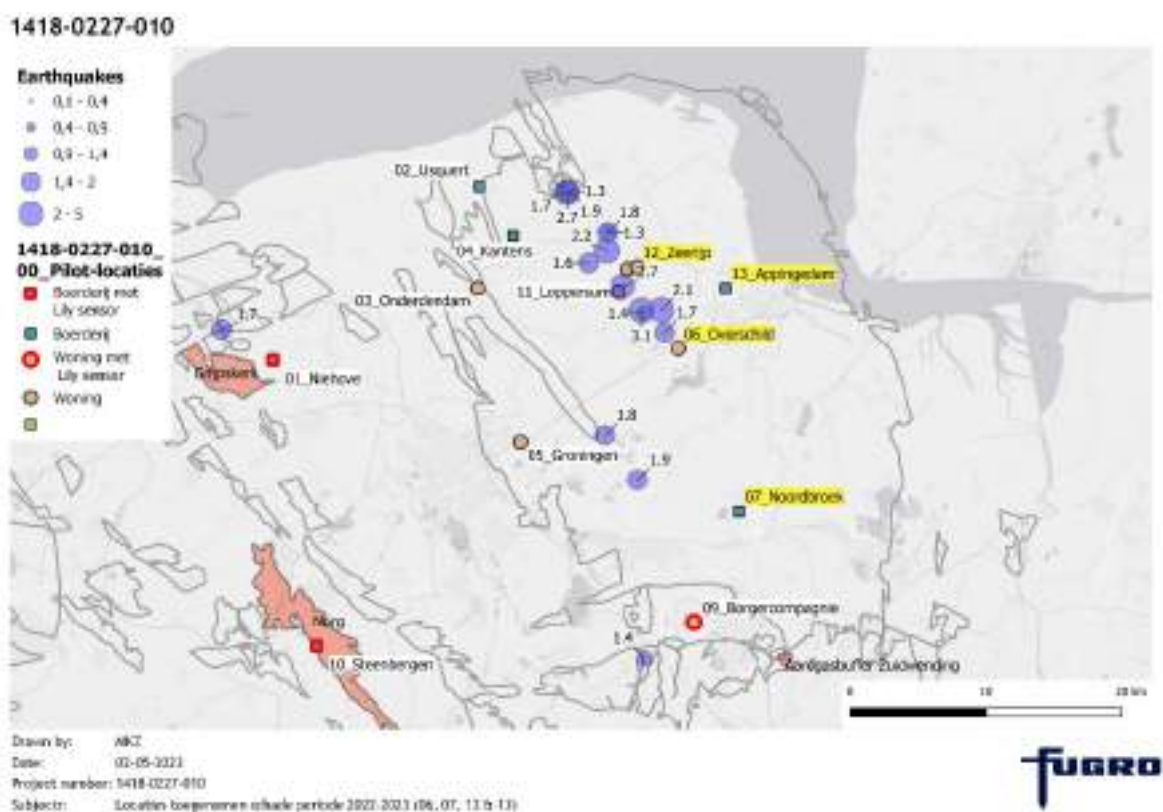
Sensor	Relatieve hoekverdraaiing (°)		Schatting hoogte top muur (m t.o.v. MV)	Relatieve horizontale verplaatsing top muur (cm)	
	Laserscan	Tilsensoren		Laserscan	Tilsensoren
07_TM_01	0,0 – 0,2	0,15	7,0	0-3	1,8
07_TM_02	0,0 – 0,2	0,03	7,0	0-3	0,4
07_TM_03	0,3 – 0,6	0,41	2,0	1-2	1,4
07_TM_13	1,4 – 2,0	1,26	2,0	5-7	4,4
07_TM_14	1,4 – 2,0	1,47	2,0	5-7	5,1

## 4.6 Schadeontwikkeling

### 4.6.1 Algemeen

De schadeontwikkeling is gerapporteerd in rapport 1418-0227-010.CM. Het betreft de beoordeling of bestaande schades wel of niet zijn toegenomen. Na fase 1 is in overleg met opdrachtgever en technische commissie besloten om het onderzoek te richten op de bestaande schades. Dit minimaliseert de onzekerheid van de schade-opnames.

Het meest relevante is dat van de 694 door Hanselman opgenomen schades, een 7-tal schades is toegenomen. Eventuele nieuwe schades zijn niet opgenomen en kunnen niet worden uitgesloten. Tijdens bewonersavonden is gemeld dat er op enkele locaties sprake zou zijn geweest van nieuwe schades. Op verzoek van de opdrachtgever zijn bewoners in de gelegenheid gesteld om informatie te verschaffen over nieuwe schades, zodat deze in onderhavige rapportage kunnen worden meegenomen.



Figuur 4-26: Locaties waarbij door Hanselman een toename van bestaande schades is gerapporteerd in 2022

### 4.6.2 Gerapporteerde toegenomen schades

Na de twee opnames van de schade door Hanselman in 2022, zijn er 7 schades gerapporteerd als zijnde toegenomen tussen de eerste opname in februari/maart en de tweede opname in november/december. Deze zeven schades bevinden zich op vier locaties zoals weergegeven in Figuur 4-26 en Tabel 4.12. Een gedetailleerdere beschrijving van de schades is weergegeven in 1418-0227-010.CM.

Tabel 4.12: Gerapporteerde toegenomen schades

ID	Opmerking Archipunt tijdens opname	Opmerking Hanselman tijdens opname	
		Nulopname	Heropname
06_231 <sup>1</sup>	-	-	-
07_058 <sup>1</sup>	-	-	-
07_059	-	-	Schade lijkt te zijn toegenomen bij heropname
07_066 <sup>1</sup>	-	-	-
12_041	Geen foto beschikbaar van Opname 2	-	20221223; schade lijkt te zijn toegenomen bij heropname
12_244	Geen foto beschikbaar van Opname 2	-	20221214: schade lijkt in lengte iets te zijn toegenomen bij heropname
13_064	Ander referentiepunt tussen nul-opname en de 1 <sup>e</sup> herhaalmeting? Schade is door en door gescheurd met schade 43	Schade is hersteld	Schade is na eerste opname opnieuw ontstaan (na reparatie)

1) Op basis van voortschrijdend inzicht is door Hanselman geconcludeerd dat de schade is toegenomen

Aangezien slechts zeven van de 694 schades zijn aangemerkt als toegenomen door Hanselman, is besloten om na te gaan of de schades inderdaad niet zijn toegenomen voor

- a) schades nabij grote anomalieën (4 schades) en
- b) drie willekeurige schades per locatie (36 schades).

Voor nadere informatie omtrent de kwaliteitscontrole wordt verwezen naar 1418-0227-010.CM.

Uit de kwaliteitscontrole blijkt dat geen van de 40 gecontroleerde schades is toegenomen op basis van de opnames van Hanselman. Wel is in enkele gevallen geconstateerd dat de definitie van de schade is veranderd, terwijl de schade zelf niet veranderd is. Ook is enkele keren vastgesteld dat de schade in één van beide opnames niet volledig is vastgelegd, waardoor de schade niet volledig gecontroleerd kon worden. Voor deze schades is in samenspraak met Hanselman besloten dat de oorspronkelijke beoordeling op basis van de opnames geldig blijft, en er dus geen sprake is van een toename in schade.

### 4.6.3 Gemelde nieuwe schades

Enkele bewoners van de pilot locaties hebben na afloop van de pilot aangegeven dat er nieuwe schades zijn ontstaan gedurende de meetperiode/ fase 2. Op vier pilot locaties zijn door bewoners in totaal 23 nieuwe schades gemeld. Deze 23 schades zijn door Fugro beoordeeld op relevantie en bruikbaarheid voor het onderzoek, waarbij de criteria zijn toegepast die in overleg met de opdrachtgever en de Technische Commissie waren overeengekomen. Er is tevens gekeken of de nieuw gemelde schade wordt ondersteund door beschikbaar beeldmateriaal. In Tabel 4.13 is deze beoordeling samengevat. In kolom "Loc" is het locatienummer weergegeven en in kolom "Nr." het volgnummer per locatie van de door bewoners gemelde nieuwe schade(s).

8 van de 23 gemelde schades zijn eerder opgenomen door Archipunt en/of Hanselman. Door ontbrekend beeldmateriaal doordat de schade door Hanselman als "niet relevant" is beoordeeld of "onbereikbaar", is bij 7 van de 8 schades niet vast te stellen of de schade is veranderd. Een veel voorkomende reden van niet relevant zijn van de schade is dat het een onderlinge aansluiting van verschillende materialen betreft. Bij 1 van de 8 schades is vastgesteld dat er geen verandering is opgetreden.

Van de 15 schades die niet eerder zijn opgenomen zijn 3 beoordeeld als niet relevant volgens de criteria die Hanselman conform het overeengekomen protocol heeft gehanteerd (aansluiting van 2 materialen).

Van de 12 overgebleven schades is gekeken of deze zichtbaar zijn in beschikbaar beeldmateriaal (foto's en/of laser scan). 3 uit deze 12 schades zijn zichtbaar. Als de schade zichtbaar is in beeldmateriaal van begin 2022 is hiermee vast te stellen dat het geen nieuwe schade is. Omdat de schade niet bewust is opgenomen is het beeldmateriaal veelal van minder gedetailleerde kwaliteit en is bij deze schades niet vast te stellen of er een kleine verandering van de schade heeft plaatsgevonden. Wel is duidelijk dat er geen forse toename heeft plaatsgevonden.

Van de overgebleven 9 schades is gekeken of er (naast de foto's aangeleverd door de bewoners) aanvullend beeldmateriaal beschikbaar is van de schade dat kan uitsluiten dat de schade begin 2022 al aanwezig is, maar toen niet is opgenomen. Bij 1 schade is dit aanvullende beeldmateriaal beschikbaar, namelijk schade 19 op locatie 11 (Loppersum). De overige 8 nieuw gemelde schades zijn als nieuw geclassificeerd maar er is geen beeldmateriaal dat kan aantonen dat de schade eerder niet aanwezig was.

Tabel 4.13: Door bewoners gemelde nieuw (in 2022) ontstane schades. Nieuwe schades met en zonder ondersteunend bewijs zijn vet gedrukt.

Locatie	Schade nr.	Bestaande schade ID	Relevant	Nieuwe schade	toename	Ondersteunend bewijs beschikbaar
1	1		Ja	nee	niet vast te stellen	ja
1	2	01_072.0	Nee	nee	niet vast te stellen	ja
1	3	-	ja	nee	niet vast te stellen	ja
<b>1</b>	<b>4</b>	-	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>nee</b>
1	5	01_104.0	ja	nee	nee	ja
1	6	01_111.0	ja	nee	niet vast te stellen	ja
1	7	01_110.0	nee	nee	niet vast te stellen	ja
<b>9</b>	<b>8</b>	-	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>nee</b>
9	9	-	nee	n.v.t.	niet vast te stellen	nee
9	10	-	nee	n.v.t.	niet vast te stellen	nee
9	11	09_233.0	nee	nee	niet vast te stellen	ja
9	12	-	nee	nee	niet vast te stellen	ja
9	13	09_235.0	nee	nee	niet vast te stellen	ja
9	14	-	ja	nee	niet vast te stellen	ja
<b>9</b>	<b>15</b>	-	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>nee</b>
9	16	09_240.0	nee	nee	niet vast te stellen	ja
9	17	09_223.0	nee	nee	niet vast te stellen	ja
<b>9</b>	<b>18</b>	-	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>nee</b>
<b>11</b>	<b>19</b>	-	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>ja</b>
<b>11</b>	<b>20</b>	-	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>nee</b>
<b>13</b>	<b>21</b>	-	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>nee</b>
<b>13</b>	<b>22</b>	-	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>nee</b>
<b>13</b>	<b>23</b>	-	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>nee</b>

#### 4.6.4 Vergelijking toegenomen schades volgens Hanselman en vergelijking met tilsensoren

Met behulp van de anomalie database kan gekeken worden of de toename van de schade zichtbaar is in de sensormetingen. In Tabel 4.14 zijn de afwijkende meetbeelden genoteerd nabij de zeven toegenomen schades in de periode tussen de nul- en heropname van Hanselman. Tabel 4.15 weergeeft de vastgestelde nieuwe schades in 2022 en de afwijkende meetbeelden in de periode tussen de nulopname van de laserscanning en einde meetperiode.

Tabel 4.14: Toegenomen schades en afwijkende meetbeelden van tilsensoren in de periode tussen de schadeopnames

ID	Datum schadeopname		Dichtstbijzijnde tilsensor	Afwijkend meetbeeld		
	Nulopname	Heropname		Type	Afwijking in graden	Datum
06_231	09-03-2022	09-11-2022	06TM01 <sup>4</sup>	geen	geen	geen
07_058 & 07_059	22-03-2022	22-11-2022	07TM01	1	>0.05	30-05-2022
				1	>0.05	10-06-2022
				1	>0.05	21-07-2022
				2	<0.025	25-08-2022
				1	>0.05	06-09-2022
			07TM14	1	>0.05	06-07-2022
				1	>0.05	01-08-2022
				1	>0.05	01-09-2022
07_066	22-03-2022	22-11-2022	07TM12	geen	geen	geen
			07TM13	1	>0.05	01-07-2022
				1	>0.05	01-08-2022
				1	>0.05	01-09-2022
				1	<0.05	01-10-2022
1	<0.05	07-11-2022				
12_041	14-04-2022	23-12-2022	12TM01	geen	geen	geen
12_244	12-04-2022	14-12-2022	12TM06	2	<0.025	14-12-2022
13_064	01-04-2022	08-11-2022	13TM02	geen	geen	geen
			13TM03	geen	geen	geen

1) Blijvende verschuiving meetbeeld omhoog of omlaag  
 2) Abrupte sprong  
 3) Afwijkende piek, meetbeeld terug naar normaal na piekwaarde  
 4) Schade 06\_231 bevindt zich op een binnenmuur van een woning, terwijl de dichtstbijzijnde sensor (06TM01) zich op een buitenmuur bevindt.



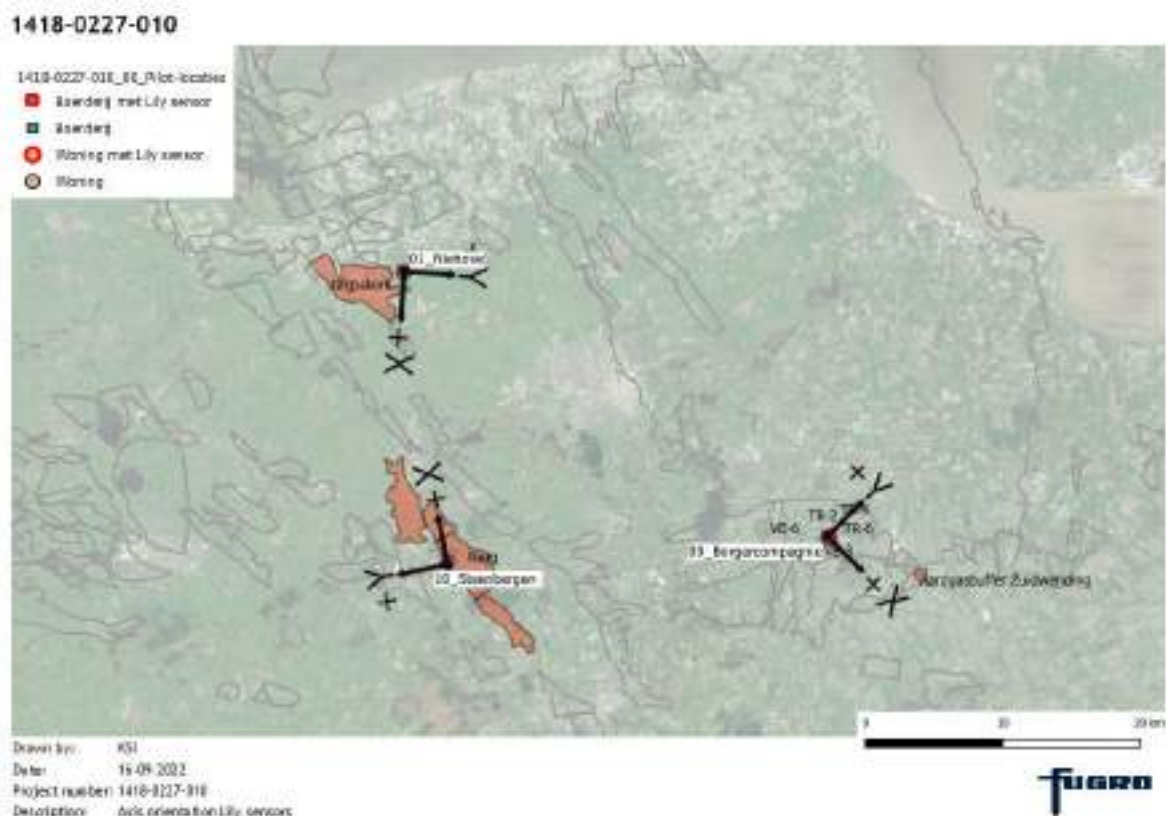
Tabel 4.15: Vastgestelde nieuwe schades in 2022 en afwijkende meetbeelden van tilsensoren in de periode tussen de eerste laserscan opname en einde meetperiode

ID	Datum		Dichtstbijzijnde tilsensor	Type	Afwijkend meetbeeld	
	Laserscan Nulopname	Einde meetperiode			Afwijking in graden	Datum
11_1x	13-04-2022	01-01-2023	11TM05	3	<0.05	08-10-2022
			11TM06	3	<0.10	29-06-2022
1) Blijvende verschuiving meetbeeld omhoog of omlaag 2) Abrupte sprong 3) Afwijkende piek, meetbeeld terug naar normaal na piekwaarde						

## 5. Tiltensoren in de vaste bodem en vergelijkingen

### 5.1 Meetlocaties en relatie met geleidelijke bodembewegingen door mijnbouw

Voor het zeer nauwkeurig meten van de bodembeweging zijn zeer nauwkeurige Lily-tiltsensoren aangebracht. De LILY sensoren zijn zeer gevoelige sensoren welke tilt registreren in een boorgat. Daarmee is het mogelijk om eventuele invloed (hoekverdraaiing) door bodemdaling of -stijging nabij het maaiveld te meten. In Figuur 5-1 is de oriëntatie van de assen weergegeven ten opzichte van het noorden. Deze wordt in de sensor geregistreerd door een kompas.



Figuur 5-1: Oriëntatie Lily sensoren

In Figuur 5-2 is de bodemdaling door gaswinning weergegeven, zodat de ligging van de sensoren ten opzichte van de bodemdaling duidelijk is (NAM, 2020). Opgemerkt wordt dat deze bodemdaling de totale bodemdaling betreft ten gevolge van alle gasvelden van NAM. Aangezien de LILY-sensoren buiten het Groningen gasveld staan, wordt de bodemdaling ook veroorzaakt door andere gasvelden.

In Figuur 5-5, Figuur 5-6 en Figuur 5-8 is een overzicht van de meetresultaten weergegeven in de periode juli 2020-januari 2023 voor de volgende sensoren:

- 01TP01, Niehove, oostelijk van gasopslag Grijskerk
- 10TP01, Steenberg, westzuidwestelijk van gasopslag Langelo
- 09TP01 Borgercompagnie, westzuidwestelijk van zoutwinning

De LILY sensoren laten een min of meer stabiel beeld zien over de beschouwde meetperiode, met rotaties tussen juli 2020 en januari 2023 van 0 tot 0,012 graad. Opvallend is dat vrijwel alle sensoren een rotatie aangeven in de positieve X en Y richting, terwijl de oriëntatie willekeurig is ten opzichte van de aarde/noorden en ten opzichte van de veronderstelde bodembeweging.



**Figuur 21; Contourkaart voor bodemdaling door gaswinning opgetreden tussen start van de productie en de waterpassing in 2018, bepaald met het aan de metingen gekalibreerde geomechanisch model (cm). De gearceerde velden zijn de in 2020 niet producerende velden of de UGS-velden (Norg en Grijskerk).**

Figuur 5-2: Bodemdaling door gaswinning in periode tussen circa 1970 en 2018

Er zijn naast de gasopslag respectievelijk zoutwinning nog 2 mogelijke oorzaken van rotatie vanuit de diepe ondergrond, namelijk

- isostasie
- bodemdaling door gaswinning.

Isostasie is de beweging van de aardkorst, welke volgens (Hijma en Van Onselen, 2019) in Groningen circa 0,6 mm/jaar bedraagt met een maximum verhang van 0,1 mm/jaar per 50 km. Dit komt overeen met een rotatie van 0,0001 milligrad. Dit verschijnsel kan niet worden onderscheiden door de Lily-sensoren, omdat de nauwkeurigheid van de sensoren beperkt is en omdat de andere verschijnselen van een andere orde van grootte zijn (dominant).

De bodemdaling door compactie van het Groningenveld vertraagt de laatste jaren door de afnemende gaswinning. De drie Lily-locaties liggen aan de rand van het effectgebied van het Groningenveld en worden ook beïnvloed door andere gasvelden. De gerapporteerde bodemdaling tot 2018 en de bijbehorende gradiënt bedragen ongeveer als volgt (NAM, 2020):

- 01TP01, Niehove, bodemdaling door gaswinning 40 mm; gradiënt ca. 4 mm/km
- 10TP01, Steenberg, bodemdaling door gaswinning 80 mm; gradiënt ca. 8 mm/km
- 09TP01 Borgercompagnie, bodemdaling door gaswinning 100 mm; gradiënt ca. 8 mm/km

De jaarlijkse toename van de bodemdaling vanuit het Groningen gasveld bedraagt voor de periode van de pilot (2020-2023) circa 2% per jaar. Als de onderzoekslocaties in datzelfde tempo zakken dan neemt de gradiënt van de bodemdaling in 2,5 jaar tijd (de meetperiode) toe met maximaal  $8 \times 2\% \times 2,5 = 0,4 \text{ mm/km} = 0,0000004 = 0,000023 \text{ graden} = 0,023 \text{ milligrad}$ . De verticaal geplaatste tiltsensoren roteren maximaal met dezelfde snelheid als het maaiveld. Voor een relevante invloed op gebouwen wordt een gradiënt van minimaal 100 maal deze waarde pas relevant. Het is niet te verwachten dat een eventuele toename van de gradiënt in deze orde van grootte is te onderscheiden in de tiltmetingen. Op gebouwniveau gaat het bovendien om de relatieve rotatie van de ondergrond binnen de afmeting van de fundering, in combinatie met de rek. De rek kan niet worden gemeten met tiltsensoren en de rotatieverschillen in de ondergrond als gevolg van de compactie van gasvelden (op 3 km diepte) en binnen de afmeting/breedte van de gebouwen is veel kleiner dan de gemeten rotatie, aangezien de rotatie van de ondergrond zeer geleidelijk verloopt over een afstand van meer dan 10 km. Het lijkt niet mogelijk om met tiltsensoren de toename van de hoekverdraaiing door de gaswinning te meten.

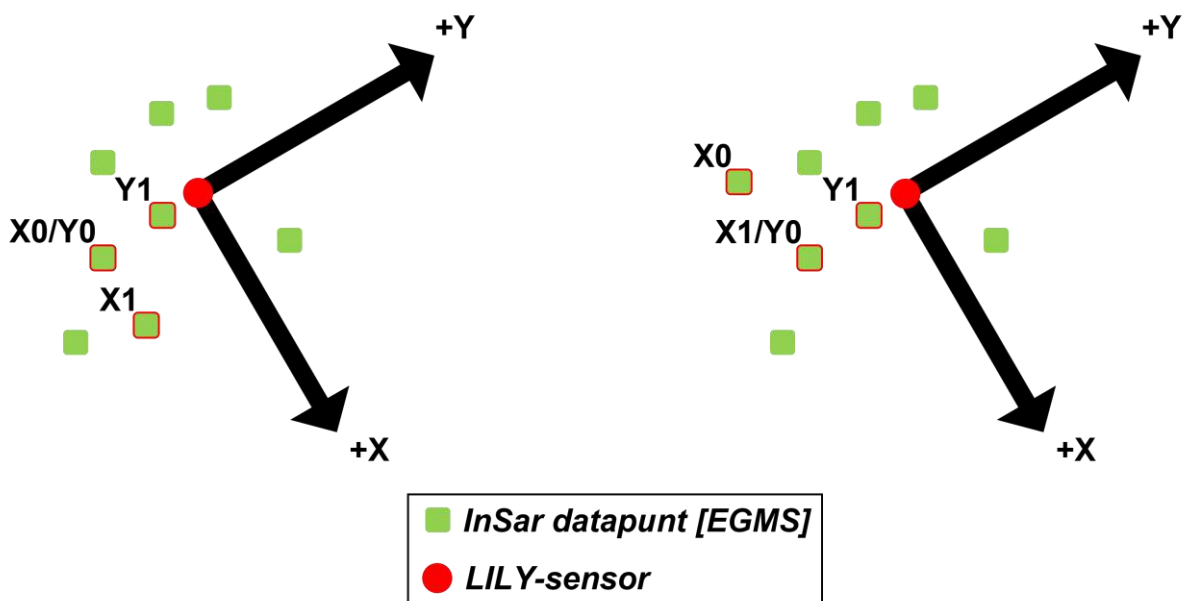


Figuur 5-3: InSar datapunten [EGMS] nabij Niehove



Voor de analyse van de bodemdaling uit de diepe ondergrond lijken op voorhand derhalve alleen de gasopslag en zoutwinning relevant. LILY-sensor 01TP01 en 10TP01 bevinden zich bij gasopslagen en 09TP01 bij zoutwinning. Voor alle 3 locaties geldt dat de verticale maaiveldbeweging nabij de meetlocaties kan worden achterhaald via de InSAR data van de site, zie Figuur 5-3. De InSAR data wordt aan het eind van elk jaar bijgewerkt tot het einde van het voorgaande jaar en is daarom beschikbaar tot eind 2021.

De maaiveldrotatie op basis van de InSAR data kan vervolgens vergeleken worden met de gemeten tilt door de LILY-sensoren (geplaatst in het Pleistoceen welke per locatie varieert). Belangrijk is dat deze maaiveldrotatie bepaald wordt met behulp van de (relatieve) verticale maaiveldbewegingen van drie punten in het veld. Deze punten zijn gekozen op basis van hun nabijheid van het object en de oriëntatie van de LILY-sensor (positieve x- en y-richting in Figuur 5-1). De maaiveldrotatie in de x- en y-richting wordt bepaald met behulp van de relatieve verticale beweging van de punten "X1" en "Y1" ten opzichte van de punten "X0" en "Y0" en de onderlinge afstanden  $|X1-X0|$  en  $|Y1-Y0|$ , zie Figuur 5-4. De gemeten tilt door de LILY-sensoren en de maaiveldrotaties zijn weergegeven in Figuur 5-5, Figuur 5-6 en Figuur 5-8 voor respectievelijk locatie 01, 10 en 09.



Figuur 5-4: Twee definities van de drie InSar datapunten nabij het object en de oriëntatie van de LILY-sensor.

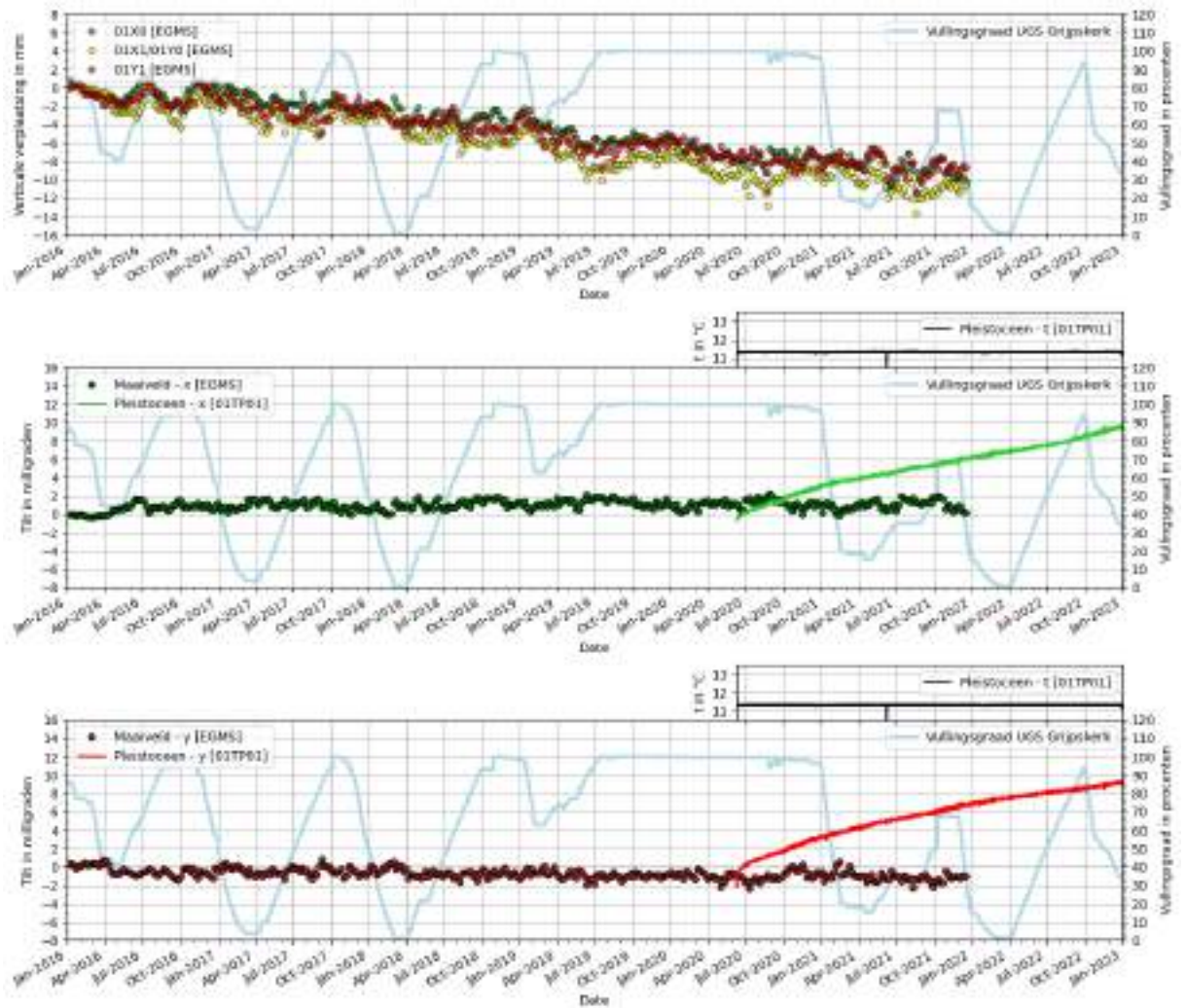
Belangrijk voor de tiltmetingen van de LILY-sensor is dat de gemiddelde gemeten tilt over een periode van 10 minuten is geplot voor de periode 2020-2022. De temperatuur gemeten door de LILY-sensor is ook geplot, maar aangezien de sensor zich redelijk diep in de ondergrond bevindt, fluctueert de temperatuur maximaal twee graden. Opmerkelijk is wel dat de temperatuur in de ondergrond op locatie 09 (sensorniveau = NAP -7,10 m) en 10 (sensorniveau = NAP -2,38 m) hoger is in de winter dan in de zomer. Op locatie 01 is de temperatuur in de ondergrond nagenoeg constant, maar de sensor bevindt zich hier op grotere diepte (NAP -14,00 m).

Een verklaring hiervoor is de vertraagde reactie van de ondergrond op de jaarlijkse temperatuurwisselingen. De temperatuur van de grond aan het aardoppervlak volgt de buitentemperatuur. Hoe dieper in de grond, hoe langer het duurt tot de warmte is doorgedrongen en hoe kleiner de invloed van de weersomstandigheden. Op grotere diepte is de invloed van het weer nagenoeg nul en is de temperatuur in de ondergrond, bij benadering, constant. In de tussenliggende zone is er dus wel een jaarlijkse trend zichtbaar in de grondtemperatuur, maar deze is, afhankelijk van de diepte, enigszins vertraagd in verhouding tot de buitentemperatuur. In de eerste paar meter onder maaiveld kan deze vertraging zelfs oplopen tot ongeveer een half jaar, wat de shift verklaard op locatie 09 en 10. Hierbij dient opgemerkt te worden dat op locatie 09 de sensor dieper zit dan op locatie 10 en dat het maximaal temperatuurverschil op locatie 9 dan ook slechts 1 graad is vergeleken met 1,5 graad op locatie 10. De sensor op locatie 01 bevindt zich nog een stuk dieper, waardoor het effect van de buitentemperatuur niet meer zichtbaar is.

## 5.2 Locatie Niehove nabij gasopslag Grijpskerk

Bij sensor 01TP01 is een licht stijgende tilt te zien voor zowel de x- als y-richting, welke oorspronkelijk ingeschat was als stabiliserend effect. Hoewel de toename vanaf begin 2021 kleiner is dan daarvoor, is deze echter nog steeds duidelijk aanwezig in 2021 en 2022. In de InSAR data nabij Niehove is geen effect van de vullingsgraad zichtbaar. De gemiddelde zakkingsnelheid van de representatieve meetpunten is bijna rechtlijnig en bedraagt circa 1-2 mm per jaar, zoals zichtbaar in Figuur 5-5. De effecten van het vullen en legen van de gasopslag bij Grijpskerk lijken ook bij de tiltsensor nauwelijks zichtbaar. In 2021 en 2022 laten de tiltmetingen zien dat er zowel in X-richting als in Y-richting sprake is van een vrijwel rechtlijnige doorgaande tiltverandering die op basis van de tekenrichting en plaatsingsrichting in de richting van zuidoost zou moeten optreden.

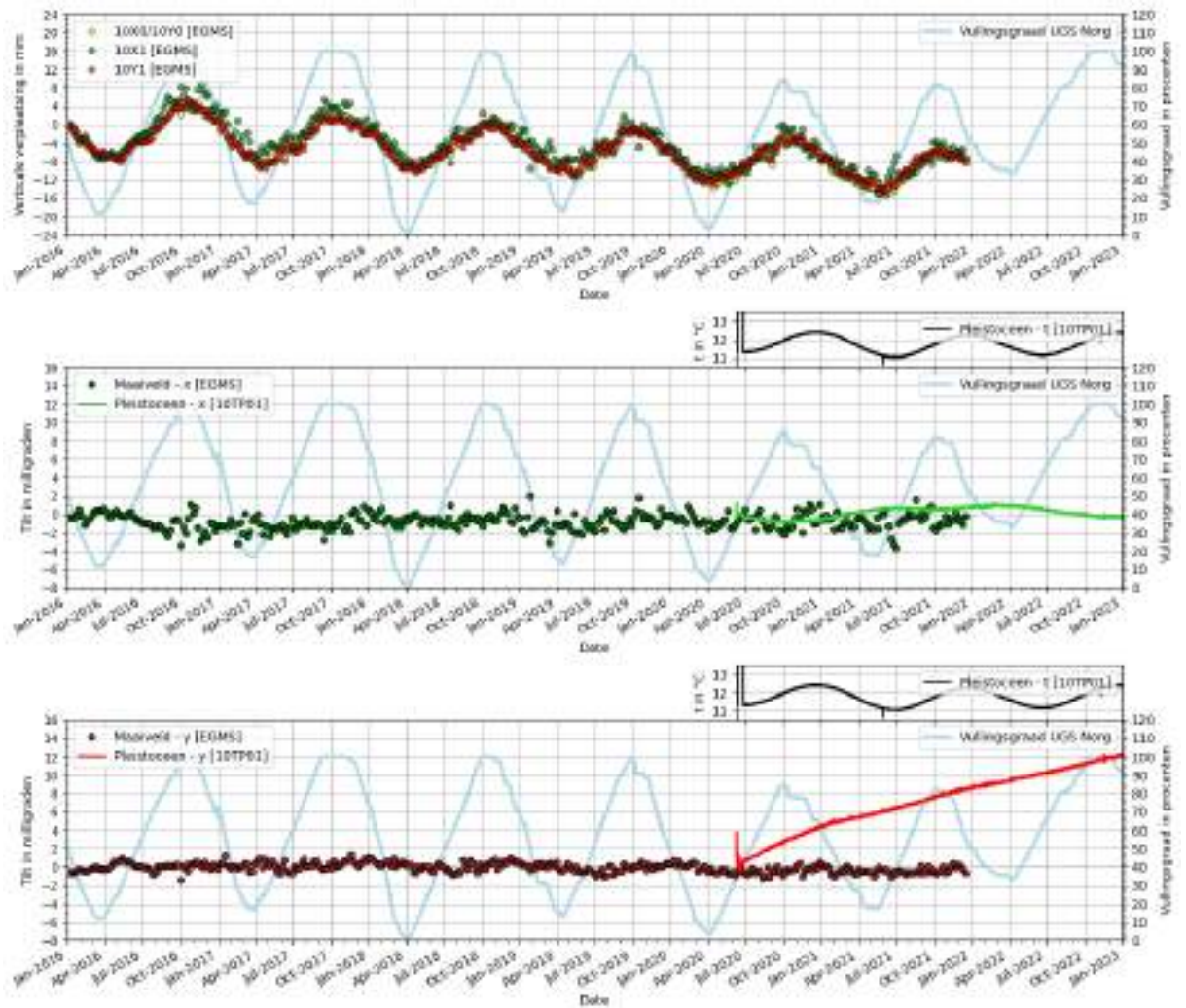
Aangezien de locatie zich ten (noord-) oosten van de gasvulling bevindt, is dit een onlogische tiltrichting. Dit wordt bevestigd door de licht negatieve rotatie van het maaiveld in de Y-richting en de licht positieve rotatie in de X-richting welke een (marginale) maaiveldrotatie richting het zuidoosten zou betekenen. De zeer gevoelige LILY-sensoren lijken een drift van het signaal in de tijd te laten zien, die weliswaar afneemt, maar ook na 2 jaar meten nog duidelijk aanwezig is. De orde van grootte van de verandering van de meetwaarde is in beide richtingen 10 milligrad in 2,5 jaar. Zelfs al zou de verandering zijn veroorzaakt door een hoekverdraaiing van de ondergrond, dan blijft het verschil in rotatie een fractie van deze waarde binnen de afmeting van het gebouw (minder dan 1 milligrad), en is daarmee dus niet relevant als mogelijke schade-oorzaak.



Figuur 5-5: Vergelijking van de vullingsgraad UGS Grijpskerk met de verticale verplaatsing van de InSar datapunten 01X1/01Y0, 01X0 en 01Y1 (boven) en gemeten tilt door LILY-sensor 01TP01 (NAP -14,00 m) op locatie 01 en maaiveldrotatie o.b.v. InSar data in de x-richting (midden) en y-richting (onder) voor de periode 2016-2022. De temperatuur gemeten door de LILY-sensor is ook geplot (midden en onder).

### 5.3 Locatie Steenbergens nabij gasopslag Norg

Bij locatie 10 is in de InSAR data (Figuur 5-6) een duidelijk verband tussen vullingsgraad en meetwaarden zichtbaar. De samenhang van de vullingsgraad van UGS Norg met de gemeten tilt lijkt ook heel subtiel terug te komen bij sensor 10TP01, hoewel andere seizoensafhankelijke effecten zoals temperatuur en grondwaterstand niet bij voorbaat uit te sluiten zijn. Met name in de x-richting is een jaarlijkse trend zichtbaar, waarbij een toename in tilt lijkt samen te hangen met een afname in de vullingsgraad. In de y-richting is ook een lichte golvende trend zichtbaar, al is deze nauwelijks te onderscheiden. Bij de Y-richting lijkt net als bij de locatie Niehove sprake bij een verloop van de meetwaarden (drift) die het eerste halfjaar iets groter is en daarna vrijwel lineair. Dit verloop houdt waarschijnlijk verband met de meettechniek en niet met bodembeweging. Opgemerkt wordt dat de schaal van de grafiek fijn is: van -8 tot +16 milligrad.



Figuur 5-6: Vergelijking van de vullingsgraad UGS Norg met de verticale verplaatsing van de InSar datapunten 10X0/10Y0, 10X1 en 10Y1 (boven) en gemeten tilt door LILY-sensor 10TP01 (NAP -2,38 m) op locatie 10 en maaiveldrotatie o.b.v. InSar data in de x-richting (midden) en y-richting (onder) voor de periode 2016-2022. De temperatuur gemeten door de LILY-sensor is ook geplot (midden en onder).

Uit de EGMS-data blijkt dat de verticale verplaatsing op locatie 10 ongeveer 2 mm per jaar bedraagt, met een jaarlijks golvende beweging met een amplitude van circa 6 mm. Sensor 10TP01 laat in de Y-richting nauwelijks een golfbeweging met een golflengte van 1 jaar zien. In de X-richting is min of meer een golf herkenbaar met een maximum hoekverdraaiing van circa 1/1000 graad. Het maaiveld lijkt op jaarbasis ongeveer 2-3/1000 graad te roteren in de X-richting en ongeveer 2/1000 graad in de Y-richting. De hoekverdraaiing volgens de LILY-sensor is daarmee vergelijkbaar met de hoekverdraaiing van het maaiveld volgens de InSar metingen. De orde van grootte is ver beneden waarden waarbij schade kan ontstaan.



## 5.4 Locatie Borgercompagnie nabij zoutwinning

In opdracht van Nedmag heeft Deltares een studie uitgevoerd naar de invloed van deze zoutwinning (Brinkman, 2018). Hierin wordt een diepste punt van de bodemdaling vermeld van circa 360 mm in 2014. In combinatie met de gegevens van 2020 (Figuur 5-7) betekent dit dat in 6 jaar de toename van de zakking circa 205 mm was, dit is gemiddeld 34 mm/jaar op het diepste punt. Uit het rapport blijkt dat de grootste helling van het maaiveld tussen 500 en 2000 meter vanaf het hart van de trog optreedt. De pilot locatie bevindt zich in deze zone.

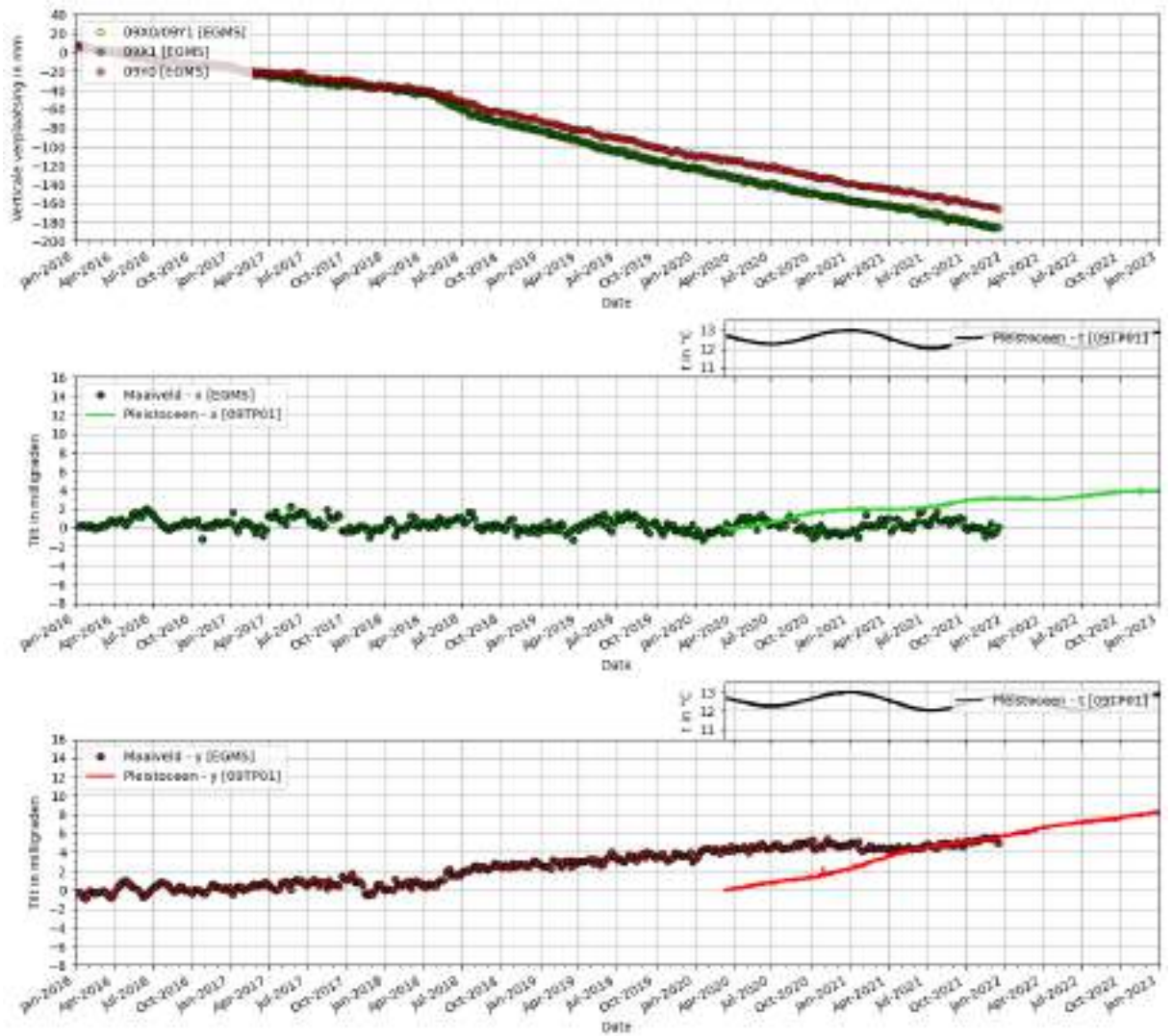


Figuur 5-7: Bodemdaling door zoutwinning volgens [www.nedmag.nl](http://www.nedmag.nl)

Tussen 2014 en 2020 nam de zakking op de onderzoekslocatie volgens de gegevens van Nedmag en Deltares toe van 250 tot 370 mm (gemiddeld circa 20 mm/jaar). Uit de InSAR-metingen blijkt een zakkingsnelheid van circa 30 mm/jaar (12 mm/jaar voor 2018; 40 mm/jaar na 2018), zie Figuur 5-8. De versnelling van de zakkingsnelheid vanaf 2018 in de InSAR-metingen houdt verband met een calamiteit die optrad op 20 april 2018.

De beide richtingen van de Lily-sensor 09TP01 laten een oplopende waarde voor de helling zien, met circa 4 milligrad voor de X-richting en 8 milligrad voor de Y-richting. Voor de sensor 09TP01 is echter ook een subtiele jaarlijks golvende beweging waargenomen in beide richtingen, terwijl deze locatie niet nabij een gasopslag ligt en informatie over de zoutwinning niet duidt op een seizoenseffect. De InSAR metingen laten in de X-richting echter wel een seizoenseffect zien van ongeveer 3/1000 graad per jaar. Andere seizoensafhankelijke effecten kunnen dus ook een rol spelen, zoals temperatuur.

Volgens de verklaring van de operator Nedmag van begin 2021 stroomde er na de calamiteit van april 2018 circa 50 m<sup>3</sup> pekelwater uit de bodem en is de bodemdaling vanaf dat moment het gevolg van deze squeeze. De hoeveelheid squeeze per jaar neemt langzaam af zoals ook zichtbaar in de InSAR metingen. De jaarlijkse zakking nabij locatie 09 lijkt op basis van EGMS-data circa 30-40 mm te bedragen.



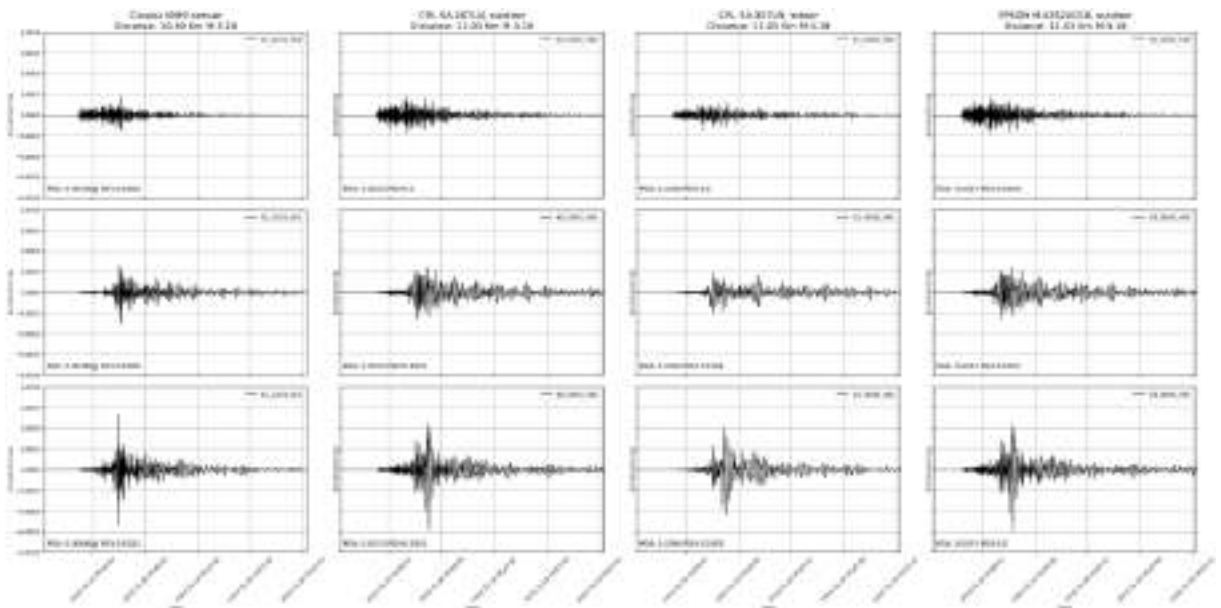
Figuur 5-8: Verticale verplaatsing van de InSar datapunten 09X0/09Y1, 09Y0 en 09X1 (boven) en gemeten tilt door LILY-sensor 09TP01 (NAP -7,10 m) op locatie 09 en maaiveldrotatie o.b.v. InSar data in de x-richting (midden) en y-richting (onder) voor de periode 2016-2022. De temperatuur gemeten door de LILY-sensor is ook geplott (midden en onder).

De grafiek van de y-richting van de LILY-sensoren 09TP01 laat een hoekverdraaiing van circa 3/1000 graad per jaar zien richting het noordoosten, terwijl in de InSar metingen in dezelfde richting vanaf 2018 een jaarlijks afnemende toename zichtbaar is in de tilt van ongeveer 1-2/1000 graad. De hoekverdraaiing volgens de LILY-sensor is daarmee vergelijkbaar met de hoekverdraaiing van het maaiveld volgens de InSar metingen. Waarschijnlijk wordt echter een deel van de gemeten tilt veroorzaakt door drift van de tiltsensor, analoog aan hetgeen op de andere locaties verondersteld wordt.

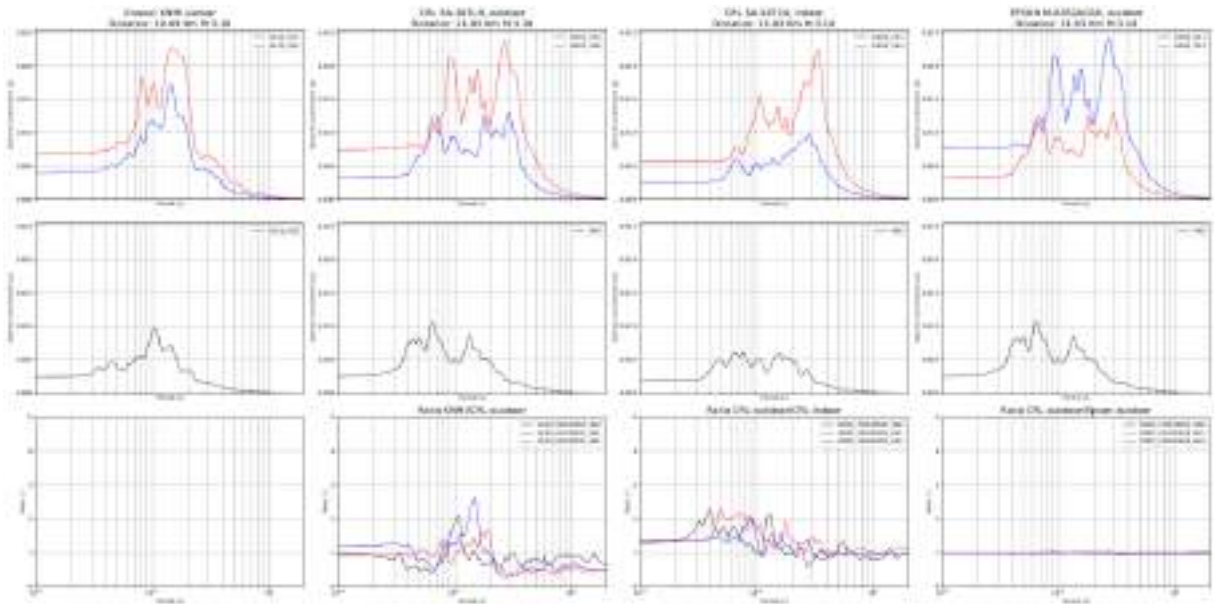
## 6. Accelerometers

### 6.1 Algemeen

Per pilot locatie zijn 2 accelerometers (CRL) en 1 dynamische tilt / accelerometer (EPSON). 1 CRL-sensor is binnen in het object geplaatst en 1 CRL-sensor is buiten op de meetplaat geplaatst, waar ook de EPSON sensor is geplaatst. In Tabel 4.8 is een overzicht gegeven van de aardbevingen met grootste magnitude die in de meetperiode beschouwd in dit rapport hebben plaatsgevonden. In Figuur 6-1 en Figuur 6-2 is een voorbeeld gegeven van de grafieken van aardbevingen. In het voorbeeld in Figuur 6-1 is de gemeten versnelling uitgezet tegen de tijd voor de 2 accelerometers (CRL-sensors) en de digitale tiltensor (Epson). Ter vergelijking is tevens de meetdata van de dichtstbijzijnde accelerometer van het G-netwerk van het KNMI-netwerk geplot. In Figuur 6-2 is het response spectrum met 5% demping weergegeven van de gemeten versnellingen. In de bovenste rij zijn de 2 horizontale assen (x en y) weergegeven. Op de middelste rij is de verticale component weergegeven en op de onderste rij de verhouding tussen de KNMI-sensor en de accelerometer op de betonnen plaat buiten. Daarnaast is de verhouding tussen CRL-sensor binnen en buiten geplot en de verhouding tussen de CRL-sensor buiten en de Epson sensor buiten (op dezelfde betonnen plaat, verhouding daardoor rond 1). De verhouding tussen de KNMI-sensor en de buiten-accelerometer is ter controle van de geregistreerde meetwaarden. Afhankelijk van de afstand, bodemgesteldheid en directionaliteit van de aardbeving wordt een vergelijkbaar meetbeeld verwacht. De verhouding tussen de accelerometer binnen en buiten het gebouw laat de mate van demping of versterking zien door de eigenschappen/invloed van het gebouw.



Figuur 6-1: Voorbeeld van Time History plot van een aardbeving gemeten door de accelerometers. Van links naar rechts 1.) de data gemeten door de meest nabij KNMI-sensor uit het G-netwerk 2.) de data gemeten door de CRL sensor bevestigd buiten op de meetplaat. 3.) de data gemeten door de CRL-sensor binnen in het gebouw. 4.) de Epson-sensor bevestigd buiten op de meetplaat.



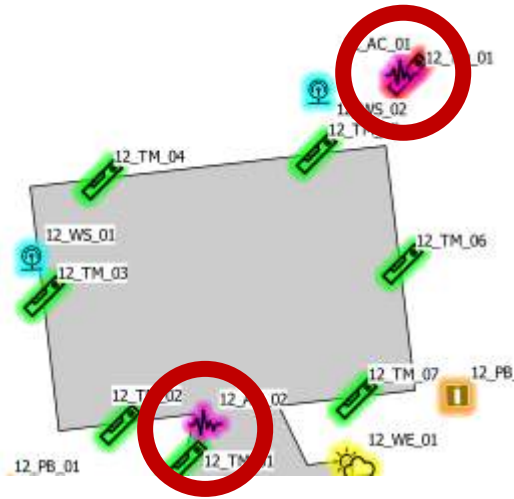
Figuur 6-2: Voorbeeld van respons spectra van de meetdata, van boven naar beneden. 1.) respons spectra van de 2 horizontale componenten (x en y). 2.) response spectra van de verticale component. 3.) ratio's tussen de KNMI-sensor en de CRL-buiten sensor, CRL-buiten/CRL-binnen

In Appendix D is een voorbeeld van de meetdata van de accelerometers gegeven. In de bijlage zijn de gemeten versnellingen voor de M3.1 aardbeving op 08-10-2022 in Wirdum voor locatie 11 (Loppersum) gegeven.

## 6.2 Meerwaarde dataset accelerometers binnen en buiten

In (Fugro, 2019) is een analyse van SEISTER gepresenteerd waarin verschillen in karakteristieken van het Building (B) netwerk en Ground (G) netwerk van het KNMI gepresenteerd zijn. In deze analyse werd geconstateerd dat de registraties door sensoren welke binnenin gebouwen geplaatst zijn, mogelijk worden beïnvloed door de eigenschappen en invloed van het gebouw. Het verschil tussen het B-netwerk en G-netwerk wordt ook beschreven in (Bommer, et al., 2022) en er wordt aangegeven wat mogelijke oorzaken en implicaties zijn voor het gebruik van de metingen.

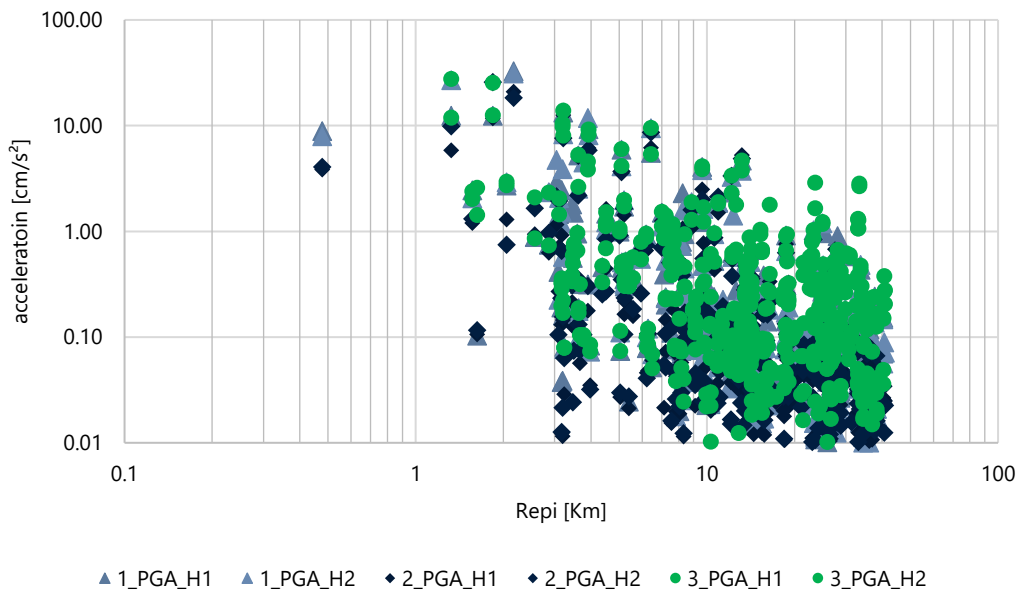
De sensor-combinatie van accelerometers binnen en buiten de gebouwen van de pilot tiltsensor biedt een dataset voor nadere analyse van potentiële invloeden en oorzaken van afwijkingen bij het meten van versnellingen in gebouwen. Dit kan van belang zijn bij het verder verminderen van onzekerheden van historische en nieuwe waarnemingen van KNMI. In Figuur 6-3 is een voorbeeld gegeven van de locatie van de accelerometer binnen en buiten voor locatie 12\_Zeerijp.



Figuur 6-3: Locatie accelerometer binnen en buiten voor locatie 12\_Zeerijp, afstand hemelsbreed ca. 13m

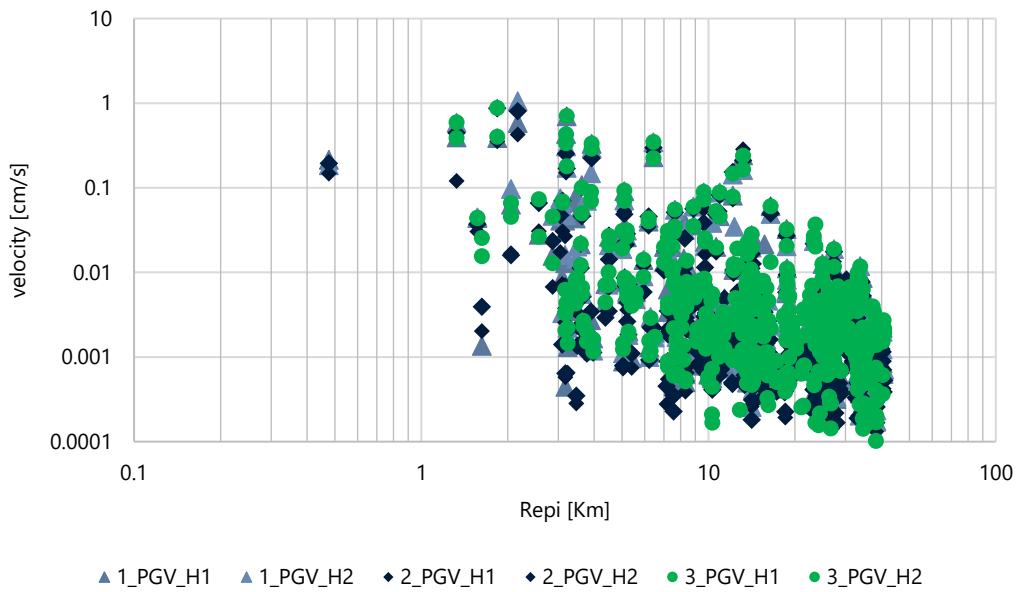
### 6.3 Gemeten PGV en PGA

In Figuur 6-4 en Figuur 6-5 zijn respectievelijk de gemeten versnelling en snelheid tijdens aardbevingen in 2022 met een magnitude groter dan 1.0 [-] weergegeven t.o.v. de epicentrische afstand.



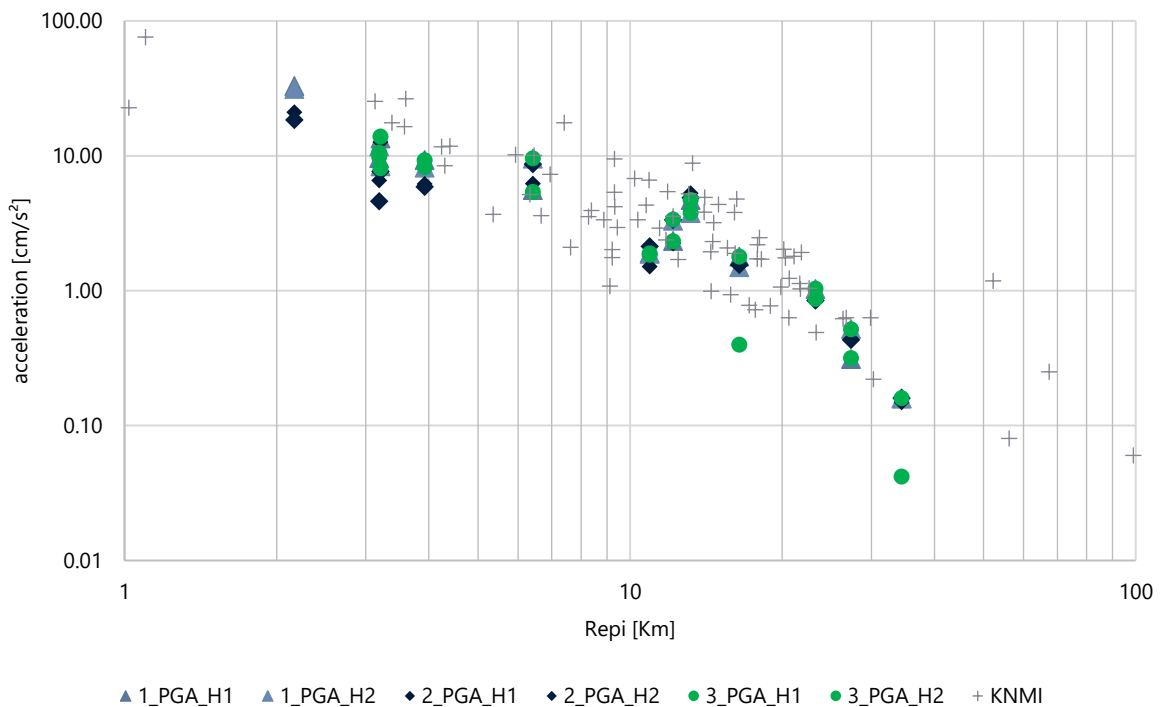
Figuur 6-4: Gemeten PGA tijdens aardbevingen in 2022



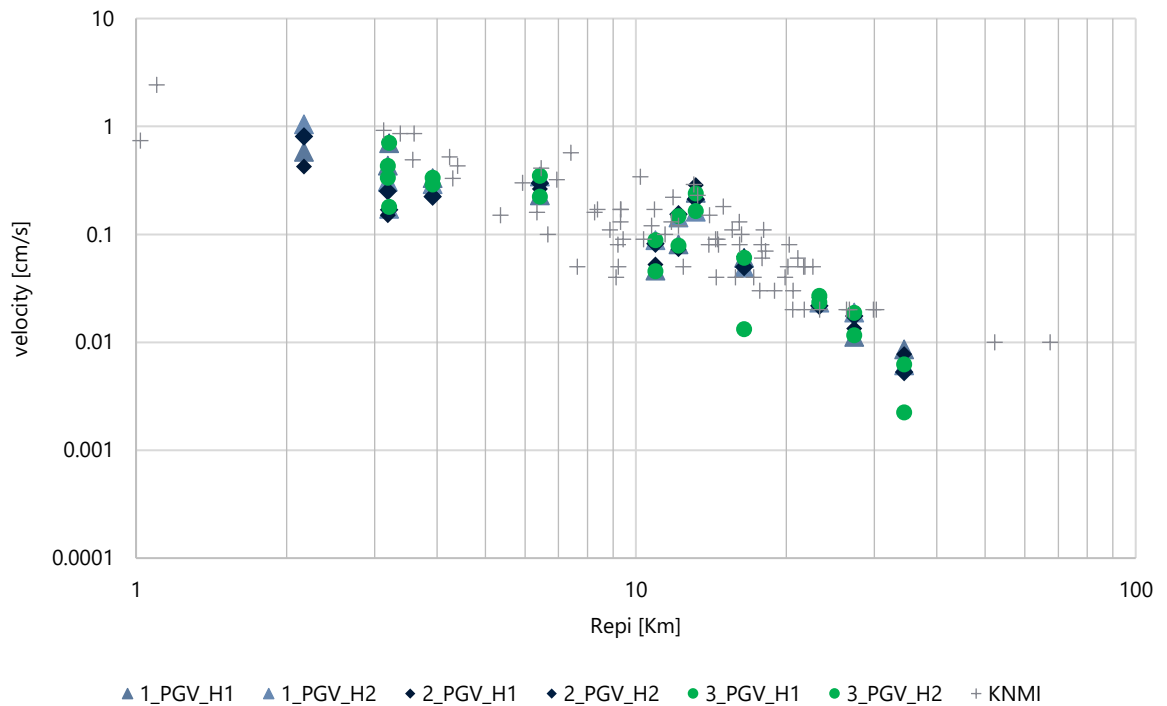


Figuur 6-5: Gemeten PGV tijdens aardbevingen in 2022

In Figuur 6-6 en Figuur 6-7 zijn de gemeten versnellingen en afgeleide snelheden door de accelerometers van de pilot tilsensoren weergegeven en vergeleken met de meetdata van het KNMI-netwerk. Over het algemeen geldt dat de accelerometers vergelijkbare meetwaarden registreren als de accelerometers van het KNMI-netwerk.



Figuur 6-6: Gemeten versnellingen op de Pilot locaties en het KNMI-netwerk ten opzichte van de afstand tot het epicentrum voor de magnitude 3.1 aardbeving op 8 oktober 2022 nabij Wirdum



Figuur 6-7: Gemeten snelheden op de Pilot locaties en het KNMI-netwerk ten opzichte van de afstand tot het epicentrum voor de magnitude 3.1 aardbeving op 8 oktober 2022 nabij Wirdum

In Tabel 6.1 zijn de maximaal gemeten versnellingen ( $PGA_{max;measured}$ ) en de afgeleide snelheden ( $PGV_{max;measured}$ ) tijdens aardbevingen in 2022 per locatie weergegeven. Daarnaast is ook voor alle locaties de maximaal berekende snelheid volgens de empirische GMPE van (Bommer, et al., 2021) (ESV) ( $PGV_{MaxRot;Bommer}$ ) weergegeven waarbij de waarde van  $PGV_{MaxRot}$  is berekend met een vaste waarde voor  $vs,30=200$ [m/s]. Bij de gemeten en berekende waarde is de aardbeving aangegeven waarbij de maximale waarden zijn gemeten of waarvan de combinatie van magnitude en afstand (Repi) tot de grootste berekende waarde hebben geleid voor de desbetreffende locatie.

Over het algemeen is de aardbeving welke de grootste  $PGA_{max;measured}$ ,  $PGV_{max;measured}$  en  $PGV_{MaxRot;Bommer}$  heeft veroorzaakt gelijk per locatie. Indien er meerdere aardbevingen verantwoordelijk zijn voor de maximale waarde(n) is dit aangegeven door de cel van een afwijkende aardbeving rood te arceren. Bij de locaties waarbij een aardbeving op een afstand groter dan 20 km de maximale waarde(n) heeft veroorzaakt (9 en 10) is het aardbevingssignaal lastig te onderscheiden van de dagelijkse achtergrondtrillingen.

Uit de vergelijking tussen de gemeten en berekende waarden blijkt dat de verschillen beperkt zijn. De gemeten PGV-waarden vallen binnen de onzekerheidsmarges van het model.

Tabel 6.1: Overzicht afgeleide  $PGV_{max;measured}$ , berekende  $PGV_{maxrot;Bommer}$  en gemeten  $PGA_{max;measured}$

ID	Name	$PGV_{max;measured}$			$PGV_{MaxRot;Bommer}$			$PGA_{max;measured}$		
		PGV [cm/s]	Event [-]	Repi [km]	PGV [cm/s]	Event [-]	Repi [km]	PGA [cm/s <sup>2</sup> ]	Event [-]	Repi [km]
1	Niehove	0.03	A	4.5	0.02	B	27.3	1.6	A	4.5
3	Onderdendam	0.15	B	12.2	0.11	B	12.2	4.1	C	9.6
4	Kantens	0.09	C	5.1	0.13	C	5.1	6.0	C	5.1
5	Groningen	0.29	B	13.2	0.09	B	13.2	5.3	B	13.2
6	Overschild	0.33	B	3.9	0.52	B	3.9	9.3	B	3.9
7	Noordbroek	0.06	B	16.5	0.06	B	16.5	1.8	B	16.5
8	Zeerijp	0.59	D	1.3	0.72	B	3.2	27.7	D	1.3
9	Borgercompagnie	0.03	B	23.3	0.03	B	23.3	1.3	E	33.1
10	Steenbergen	0.01	B	34.4	0.01	B	34.4	0.2	D	34.8
11	Loppersum	1.05	B	2.2	1.11	B	2.2	33.3	B	2.2
12	Zeerijp	0.87	D	1.8	0.71	B	3.2	25.8	D	1.8
13	Appingedam	0.35	B	6.4	0.20	B	6.4	9.6	B	6.4
Event code		Event date		Magnitude						
A		2022-11-17T11:27:43		1.7						
B		2022-10-08T02:17:17		3.1						
C		2022-09-24T10:20:38		2.7						
D		2022-04-01T17:11:08		2.7						
E		2022-08-19T05:49:14		1.9						



## 7. Weer en grondwater

### 7.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt een drietal onderwerpen behandeld:

- Windsnelheden, 3 stormen, waaronder Eunice op 18 februari 2022
- Extreme droogte en grondwater
- Controle wateroverspanningen tijdens aardbevingen

### 7.2 Drielingstorm februari 2022

Op 16, 18 en 20 februari 2022 trokken de stormen Dudley, Eunice en Franklin over Nederland, waarbij Eunice geklasseerd was als zware storm met pieken van windkracht 11, zie Figuur 7-1. Eunice was de op 2-na-zwaarste storm in 50 jaar. (KNMI, 2022)



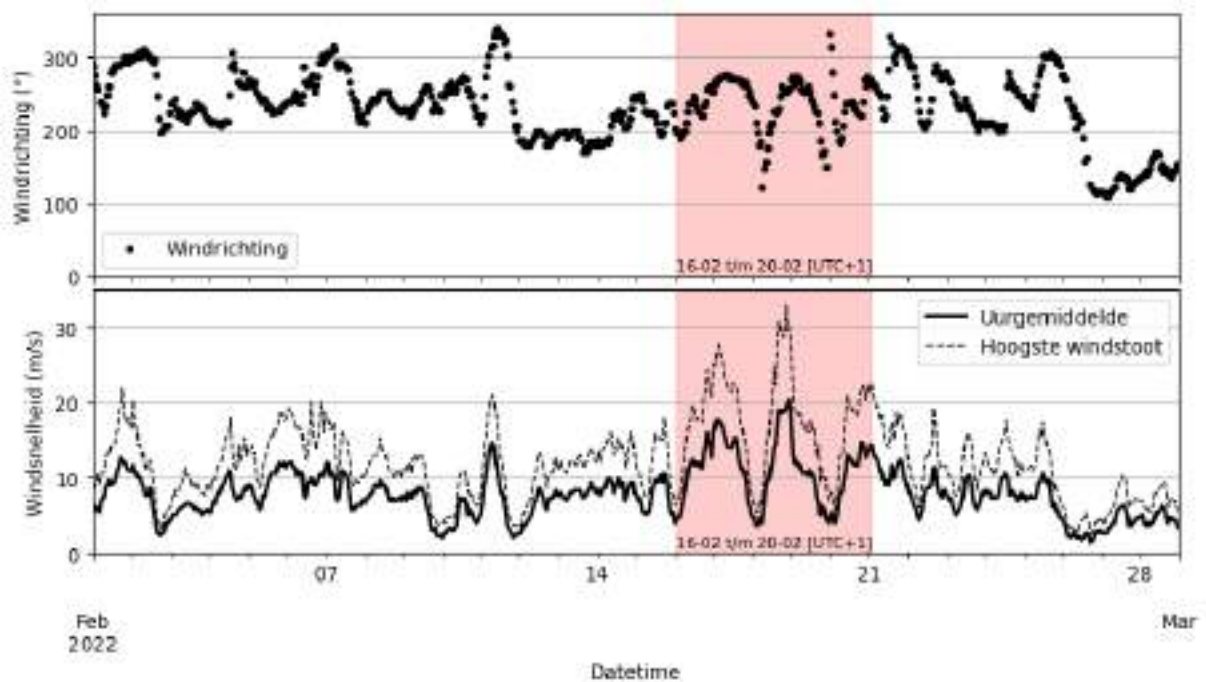
Figuur 7-1: Drielingstorm in februari 2022 (Weerplaza, 2023)

Of deze storm tot blijvende hoekverdraaiing van de tiltsensoren heeft geleid, is gecontroleerd door de tilt van de sensoren te vergelijken met de windsnelheden. De windsnelheden worden op locatie gemeten door middel van weerstations. De weerstations zijn weergegeven in Tabel 7.1. De meeste weerstations staan echter niet in het open veld en meten de windsnelheid op beperkte hoogte, waardoor er aanzienlijk lagere windsnelheden zijn gemeten dan door het KNMI. Het KNMI presenteert de (uur- en etmaalgemiddelde) windsnelheden op 10 m hoogte in het open veld. De metingen van KNMI geven dus mogelijk een betrouwbaarder beeld van de opgetreden windsnelheden op de pilotlocaties. Er zijn meerdere KNMI-metstations aanwezig in het gebied van de pilot, namelijk Eelde, Lauwersoog en Nieuw-Beerta. De uurgemiddelde windsnelheden, de hoogste gemeten windsnelheden en de windrichtingen nabij de pilotlocaties op basis van de drie genoemde weerstations zijn weergegeven in Figuur 7-2.

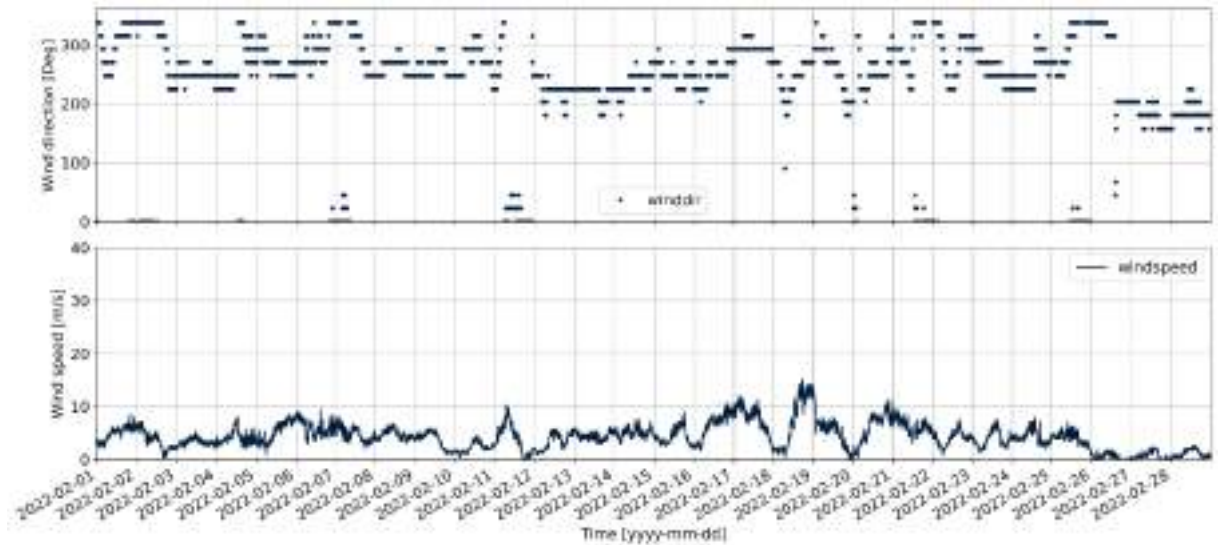
Ter vergelijking is tevens een voorbeeld gegeven van de registraties van een meetstation van een Pilot locatie. De gemeten windrichting en -snelheid voor 04\_WE\_01 op ongeveer 2 m hoogte is gegeven in Figuur 7-3, met aanzienlijk lager gemeten windsnelheden dan door het KNMI ondanks de nabijheid van het open veld. Globaal zijn de meetwaarden bij deze locatie circa 30% tot 50% lager dan het gemiddelde van de nabijgelegen KNMI-stations. Een deel van het verschil wordt veroorzaakt door de afwijkende plaatsingshoogte.

Tabel 7.1: Weerstations op pilotlocaties

Loc.	ID	Locatiebeschrijving	Hoogte t.o.v. MV in meters	Open veld?
01	01_WE_01	Buiten aan de zuidwest	2,0	Ja
03	03_WE_01	Achter de schuur in tuin	2,0	Nee
04	04_WE_01	Achter de boerderij	1,7	Ja
05	05_WE_01	Achtertuint	2,1	Nee
06	06_WE_01	Naast woonhuis nabij afwateringsloot	1,6	Ja
07	07_WE_01	Naast schuur nabij 07_TM_14	1,7	Nee
08	08_WE_01	Hoekpunt toren [oostzijde]	3,4	Nee
09	09_WE_01	Bij voorgevel	1,5	Nee
10	10_WE_01	Aan de kapschuur	4,2	Nee
11	11_WE_01	Aan berging in tuin	5,0	Nee
12	12_WE_01	Aanbouw achter de woning	3,1	Nee
13	13_WE_01	Naast de schuur	2,9	Ja



Figuur 7-2: Windrichting (boven) en uurgemiddelde en hoogst gemeten windsnelheid (onder) in februari 2022 op basis van de gemiddelde metingen door de KNMI-meetstations Eelde, Lauwersoog en Nieuw-Beerta met N=360°, O=90°, Z=180° en W=270°.



Figuur 7-3: Gemeten windrichtingen (boven) en windsnelheden (onder) van 04-WE-01, met N=360°, O=90°, Z=180° en W=270°

Er is in de anomaliedatabase gefilterd op de data van 16-02-2022 t/m 22-02-2022 (uitloop van storm Franklin). Bij locatie 04 en 08 gaf dit respectievelijk 6 en 2 afwijkende meetbeelden, zie Tabel 7.2.

Tabel 7.2: Afwijkende meetbeelden van 16-02-2022 t/m 22-02-2022

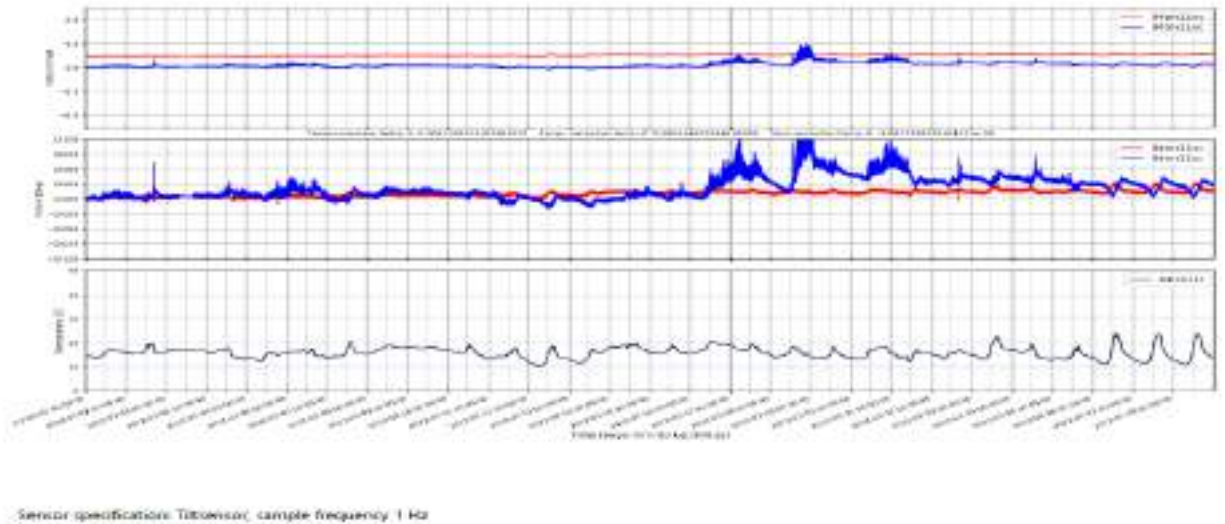
Loc.	Sensor	Object			Afwijkende meetbeelden		
		Type	Plaatsing	Gevel	Type	Afwijking in graden	Datum
04	04TM01	Schuur	Buiten	Z	2	<0,025	17-02-2022
04	04TM06	Woning	Binnen	N	3	<0,05	18-02-2022
04	04TM10	Schuur	Buiten	N	1	>0,05	16-02-2022
04	04TM11	Schuur	Buiten	W	1	<0,05	16-02-2022
					3	<0,05	22-02-2022
04	04TM13	Schuur	Buiten	W	1	<0,025	16-02-2022
08	08TM04	Woning	Buiten	NW	3	>0,10	21-02-2022
08	08TM05	Woning	Buiten	NO	3	<0,05	18-02-2022

1.	Blijvende verschuiving meetbeeld omhoog of omlaag
2.	Abrupte sprong
3.	Afwijkende piek, meetbeeld terug naar normaal na piekwaarde

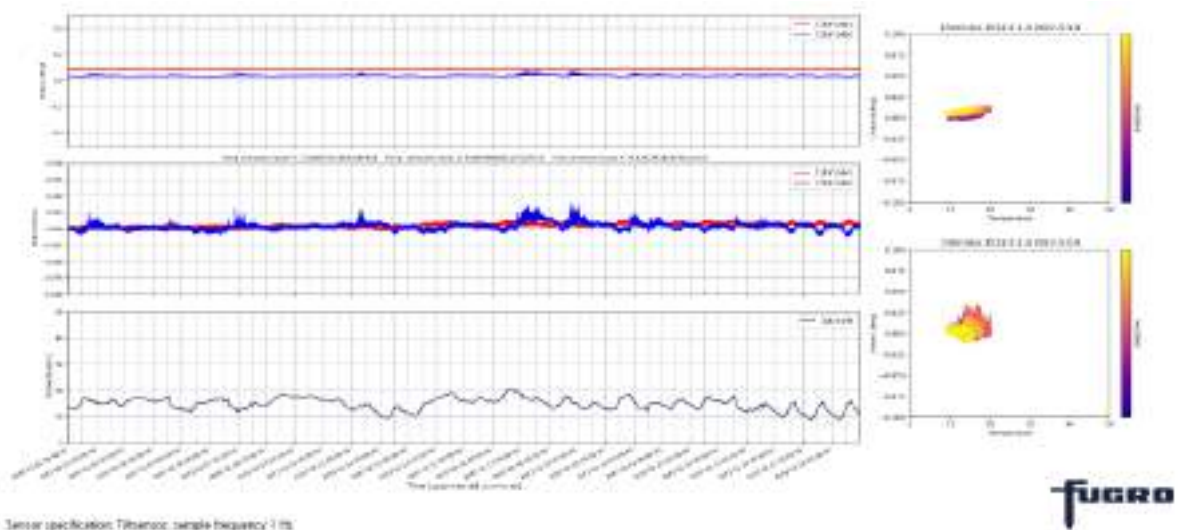
Locatie 04 bevindt zich in het open veld en de afwijkende meetbeelden vinden voornamelijk plaats bij sensoren op schuurgevels gericht op het noorden en westen. Sensoren 08TM04 en 08TM05 bevinden zich onderaan een ruim 35 meter hoge toren en zijn gericht op respectievelijk het noordwesten en noordoosten. In Figuur 7-2 is te zien dat de overheersende windrichting tijdens de pieken van de drie stormen in februari voornamelijk rond de 270° ligt (W), wat betekent dat sensoren op gevels gericht op het westen het meest getroffen werden, uitgaande van een redelijk uniforme windrichting voor alle pilot locaties.

Niet alle sensoren op locatie 04 in Tabel 7.2 bevinden zich op gevels op het westen gericht, maar ze bevinden zich wel op een schuur die op basis van de andere sensoren gevoelig is voor extreme windsnelheden. In Figuur 7-4 is de meetdata van sensor 04TM11 weergegeven, waarin zichtbaar is dat de westgevel een blijvende hoekverdraaiing van ongeveer  $0,05^\circ$  naar binnen ondergaat. Dit komt overeen met de westelijke windrichting waargenomen door het KNMI, wat betekent dat de gevel naar binnen is gedrukt door de storm.



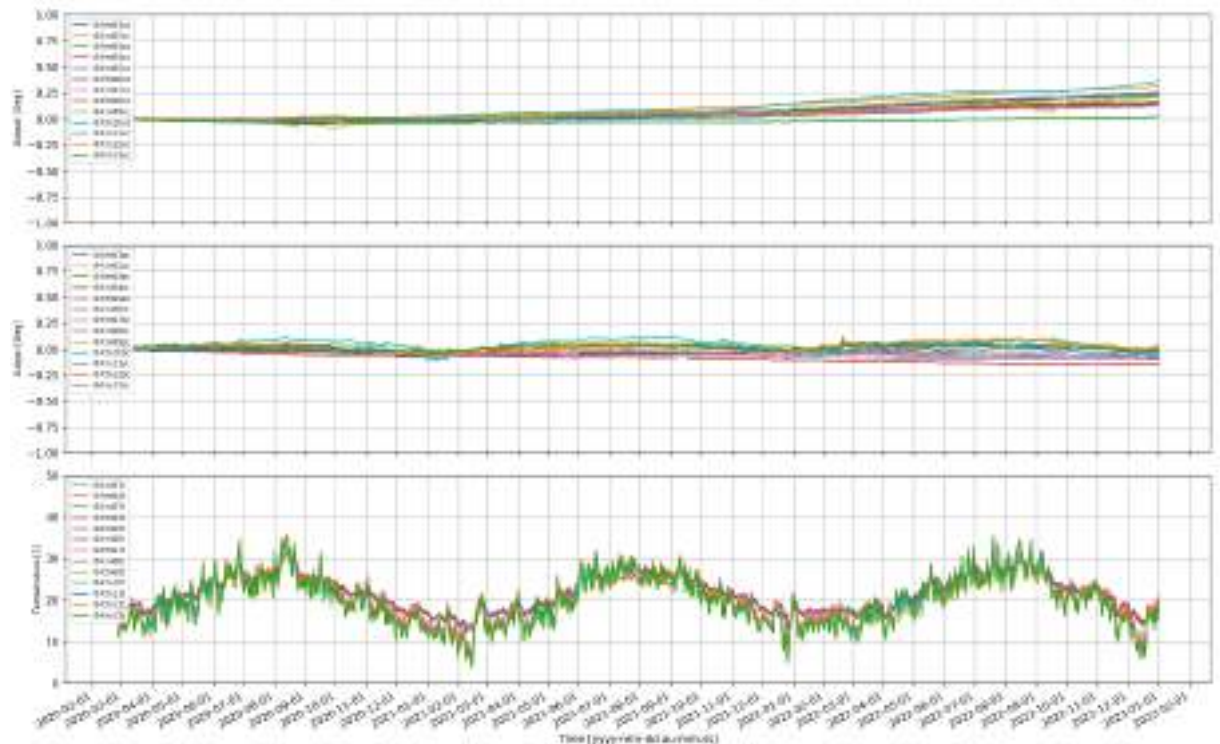
Figuur 7-4: Meetdata sensor 04TM11 voor februari 2022 met een blijvende verschuiving meetbeeld omhoog of omlaag  $<0,05$  vanaf 16-02-2022.

In de meeste meetgegevens van de tilsensoren zijn de stormen niet herkenbaar. Het dynamische gedrag van schuren in of nabij open velden (zoals locatie 04) is vaak wel zichtbaar in de meetgegevens van de tilt. Ook op pilotlocaties zonder afwijkende meetbeelden (volgens de gehanteerde definitie) tussen 16 en 22 februari 2022 (zoals locatie 13) zijn de extreme windsnelheden in meer of mindere mate zichtbaar, zie Figuur 7-5. Ook hier is de noordwestelijk gerichte gevel van een schuur iets naar binnen gedrukt.



Figuur 7-5: Meetdata sensor 13TM14 voor februari 2022 met licht verhoogde (niet-blijvende) tiltwaarden tussen 16-02-2022 en 20-02-2022.

Uit de tiltmetingen blijkt dat buitengevels van schuren gericht op het (noord-) westen tijdens hoge windsnelheden over het algemeen iets naar binnen wordt gedrukt. Alleen op locatie 04 is een blijvende rotatie zichtbaar in de tiltgegevens voor met name de westelijk gerichte gevel van de schuur, zie ook Figuur 7-6. De nulmeting en heropname van de laserscanning van object 04 vond plaats op 24 februari 2022 en 5 december 2022, dus pas na de stormen. De blijvende rotatie kan dus niet gecontroleerd worden met de laserscan data. Alleen object 08 is voor de stormen in februari gescand (25 januari), maar uit zowel de tiltdata als de laserscandata blijkt geen blijvende rotatie te hebben plaatsgevonden op deze locatie.

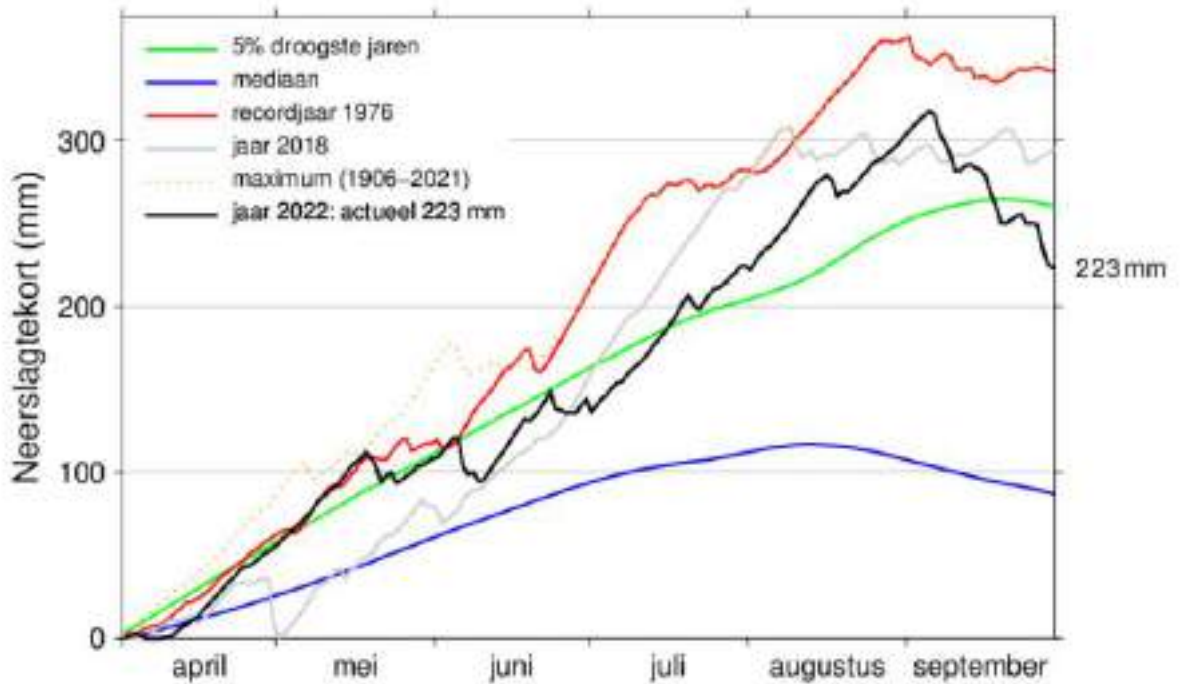


Figuur 7-6: Gecorrigeerde tilt (temperatuur en drift) voor 13 sensoren op object 04 tussen februari 2020 en januari 2023. Voor sensoren 04TM10, 04TM11, 04TM12 en 04TM13 is in februari 2022 een blijvende verschuiving van de tilt zichtbaar.

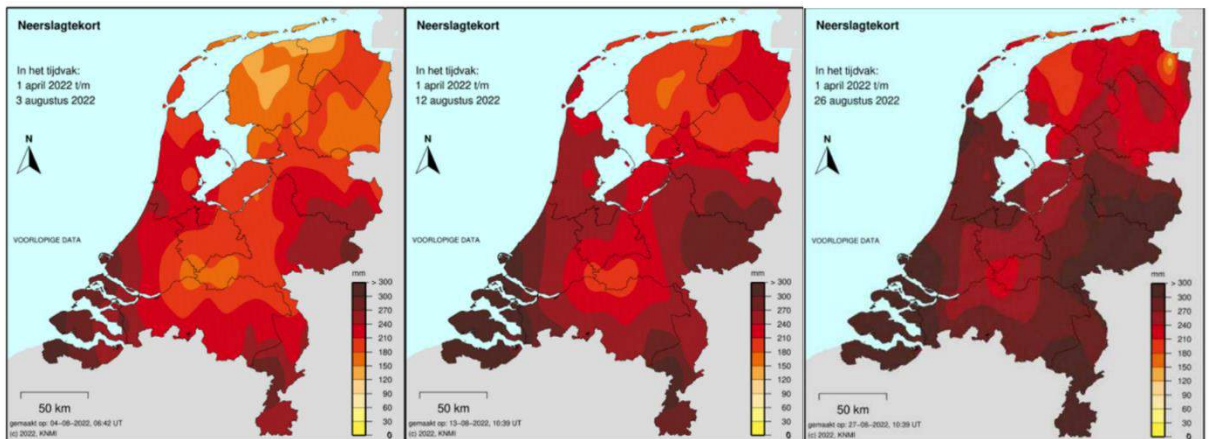


### 7.3 Extreme droogte en grondwater

Het jaar 2022 was bijzonder droog, met name tot eind augustus. Dit is te zien in onderstaande grafiek (Figuur 7-7) en kaarten (Figuur 7-8):



Figuur 7-7: Neerslagtekort in Nederland 2022 (landelijk gemiddelde over 13 stations) (KNMI, 2022)

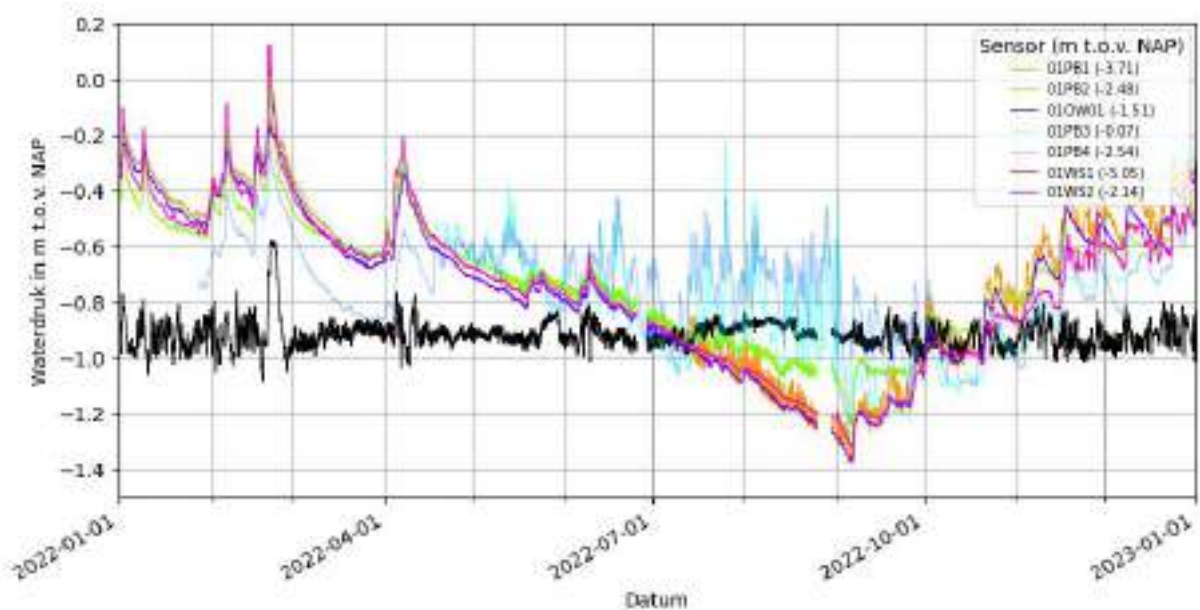


Figuur 7-8: Neerslagtekort in Nederland in tijdvakken 1 april t/m 2 augustus 2022 (links), 1 april t/m 12 augustus 2022 (midden) en 1 april t/m 26 augustus 2022 (rechts).

De droogte is zichtbaar in de peilbuismetingen en waterspanningsmetingen in de periode juli t/m oktober 2022. Als voorbeeld zijn de metingen van pilotlocatie 01 weergegeven in onderstaande grafiek, zie Figuur 7-9.

Op locatie 13 weergeeft waterspanningsmeter 13WS02 een vreemd beeld gedurende o.a. de extreem droge zomer van 2022, zie Figuur 9-26 in Appendix B. In het algemeen is op locatie 13 een verval in de waterdruk van één meter zichtbaar tussen april en augustus 2022, maar 13WS02 toont een verval van meer dan twee meter. De aanwezigheid van een grote boom in

de nabijheid van de watersensor is een verklaring hiervoor. Het wortelsysteem neemt in de zomerperiode een zodanige hoeveelheid water op, dat dit zorgt voor een extra afname van één meter waterdruk. Verticale verplaatsingen en/of rotaties ten gevolge van deze lokale lage grondwaterstand zijn niet vastgesteld in de laserscan data en tiltmetingen.



Figuur 7-9: Meetdata van verscheidene sensoren op verschillende dieptes op locatie 01 (OW: Open waterpeil; PB: Peilbuis; WS: Waterspanning). De waterdruk van sensoren PB3 en PB4 is elke 10 minuten gemeten, terwijl de overige sensoren een gemiddelde waarde van de waterdruk geven over 10 minuten o.b.v. 200 Hz metingen. PB4 is eind januari vervangen en toont daarom slechts de meetwaarden vanaf februari 2022.

Het is bekend dat (extreme) droogte kan leiden tot krimp en zettingen van samendrukbare grondsoorten zoals klei, en oxidatie van veen. Dit veroorzaakt zakking van het maaiveld in de zomer en in geval van klei in de natte seizoenen weer een rijzing door zwel. Bij de pilot zijn de meeste gebouwen gefundeerd op staal. Extreme droogte kan bij funderingen op staal ook leiden tot zakking en fluctuaties van gebouwen en schade, met name bij slappere ondergrond.

Bij veel gebouwen is in de tiltsensoren een seizoenseffect zichtbaar. Het lijkt echter op basis van de beperkte hoeveelheid metingen en meetduur niet mogelijk om eventuele zakkingsverschillen (en rijzingen) van de fundering toe te schrijven aan deze seizoensvariatie van de tilt. De gemeten variatie in tilt kan ook te verklaren zijn door temperatureffecten van het gebouw of de tiltsensoren. Gezien de beperkte meetperiode is het ook lastig om onderscheid te maken tussen elastisch gedrag en permanente extra zettingen van de fundering.

## 7.4 Controle wateroverspanningen tijdens aardbevingen

Bij zeer zware aardbevingen kan, afhankelijk van de grondsoort en grondwaterstand, verweking van de ondergrond optreden. Bij gevoelige grondsoorten bestaat de kans op verweking volgens (Everts, 2020) vanaf een versnelling van  $PGV > 16$  mm/s. Verweking zorgt voor kortdurend sterkteverlies van de ondergrond. Bij volledige (100%) verweking gedraagt de ondergrond zich als een zware stroperige vloeistof. Tijdens de verweking en het wegvloeien van de wateroverspanningen treden zettingen op. Bij minder grote grondversnellingen treedt geen volledige verweking op. Het is niet duidelijk of in Groningen ooit verweking is opgetreden ten gevolge van aardbevingen. Peilbuismetingen en waterspanningsmetingen tijdens aardbevingen kunnen meer duidelijkheid geven over het mogelijke optreden van verweking. Volledige verweking wordt namelijk (bij kortere of minder heftige trillingen) voorafgegaan door wateroverspanningen. Voor de M3.1 aardbeving bij Wirdum (08-10-2022) is voor de locaties nabij deze aardbeving (06, 08, 11 en 12) gecontroleerd of er sprake was van wateroverspanningen in de ondergrond, zie Tabel 7.3.

Tabel 7.3: Sensoren in de ondergrond op de pilotlocaties 06, 08, 11 en 12 (OW: Open waterpeil; PB: Peilbuis; WS: Waterspanning).

Loc.	Sensor	Niveau sensor in m t.o.v. NAP	Niveau filter in m t.o.v. NAP		Grondlaag filter <sup>1</sup>
			b.k.	o.k.	
06	06PB01	-6,22	-8,24	-9,24	Klei, zwak siltig
	06PB02	-3,96	-3,31	-4,31	Veen/klei, matig siltig
	06WS01	-8,50	-8,50	-8,60	Klei, zwak siltig
	06WS02	-3,50	-3,50	-3,60	Klei, matig siltig
	06OW01	-3,10	-	-	-
08	08PB01	-3,79	-5,95	-6,95	Zand, uiterst fijn, uiterst siltig
	08PB02	-1,70	-0,87	-1,87	Klei, sterk zandig
	08WS01	-3,46	-3,46	-3,56	Klei, sterk siltig, zwak humeus
	08WS02	-3,19	-3,19	-3,29	Klei, sterk siltig, zwak humeus
11	11PB02	-1,70	2,83	1,83	Zand, zeer fijn, matig siltig
	11WS01	-2,01	-2,01	-2,11	Klei, matig siltig
	11WS02	-2,17	-2,17	-2,27	Klei, matig siltig
12	12PB01	-4,52	-12,2	-13,2	Zand, zeer fijn, uiterst siltig
	12PB02	-2,04	-1,40	-2,40	Klei, sterk siltig
	12PB03	-2,38	-1,60	-2,60	Klei, sterk siltig
	12WS01	-2,29	-2,29	-2,39	Klei, sterk siltig
	12WS02	-2,30	-2,30	-2,40	Klei, sterk siltig
1. Op basis van het door Fugro uitgevoerde grondonderzoek (boringen en/of sonderingen) op de pilotlocaties					

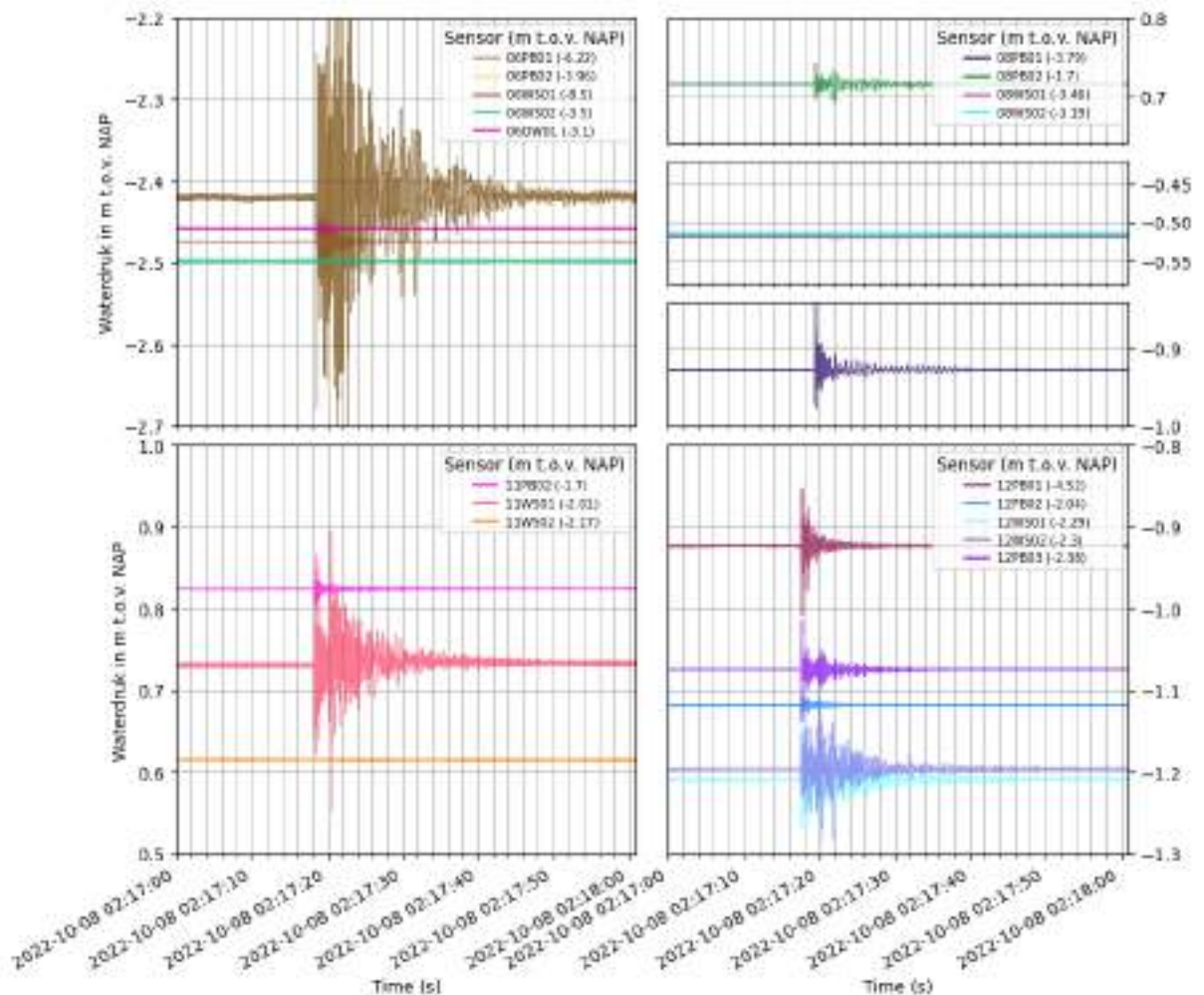




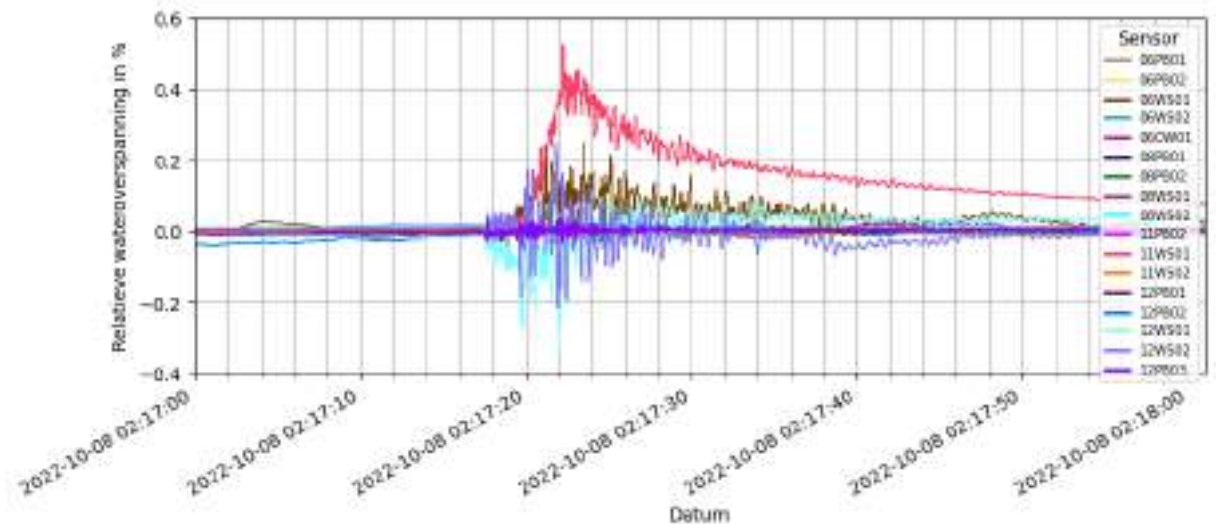
In Figuur 7-10 is de 200-Hz data van de sensoren in Tabel 7.3 geplot voor ongeveer 60 seconden rond het tijdstip van het M3.1 event nabij Wirdum op 08-10-2022. Voor enkele sensoren is een trilling zichtbaar met amplitudes tot ongeveer 25 cm (06WS01). Goed zichtbaar is de aankomst van de snellere P-golf en de tragere S-golf ten gevolge van de aardbeving, zie bijvoorbeeld sensor 11WS01 (Figuur 7-10, linksonder, waterdruk  $\approx 0,73$  m).

Van alle sensoren in de ondergrond op locaties 06, 08, 11 en 12 is de waterdruk in m t.o.v. NAP omgerekend naar de waterdruk in meter t.o.v. het sensorniveau. Vervolgens is van deze 200 Hz data het voortschrijdende gemiddelde berekend o.b.v. de voorgaande 2 s (400 metingen).

De wateroverspanning is gedefinieerd als het verschil tussen de in-situ waterdruk en de statische waterdruk. De in-situ waterdruk is het berekende voortschrijdende gemiddelde van de gemeten waterdruk en de statische waterdruk is aangenomen als de gemiddeld gemeten waterdruk voorafgaand aan de trilling. De wateroverspanning is weergegeven in Figuur 7-11 als percentage van de statische waterdruk.



Figuur 7-10: Gemeten waterdruk van verscheidene sensoren op verschillende dieptes op locatie 06, 08, 11 en 12 rond het M3.1 event op 08-10-2022 (OW: Open waterpeil; PB: Peilbuis; WS: Waterspanning)



Figuur 7-11: Relatieve wateroverspanning ten opzichte van de oorspronkelijke waterspanning op basis van de gemeten waterdrukken van verscheidene sensoren rond het M3.1 event op 08-10-2022.

Wateroverspanningen ten gevolge van aardbevingen zouden zichtbaar moeten zijn als (tijdelijke) verhoging. Dit bleek voor vrijwel alle sensoren en peilbuizen niet het geval. Alleen voor sensoren 06WS01, 11WS01, 12WS01 en 12WS02 (alle in klei variërend van zwak tot sterk siltig) is een marginale (tijdelijke) toename van de waterspanning zichtbaar van 0,1%-0,5% van de statische waterdruk op basis van het voortschrijdende gemiddelde over de voorgaande 2 s. Er zijn dus geen significante wateroverspanningen gemeten die op verweking zouden kunnen duiden.

---

## 8. Datasynthese

### 8.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt relevante data gecombineerd en geanalyseerd.

### 8.2 Conditie monitoring

In het conditiemonitoringrapport (1418-0227-010.CM) zijn per locatie het aantal beoordeelde schades en de toename van de schade gerapporteerd. In dit rapport zijn ook de resultaten van de deformatiemetingen/laserscans van de objecten gepresenteerd.

### 8.3 Datasynthese

In Tabel 8.1 is per locatie een overzicht gegeven van het aantal beoordeelde schades (1) en het aantal gerapporteerde schadetoenames door Hanselman (2) en diverse andere data. In kolom 3 is aangegeven of uit de deformatiemeting/laserscan substantiële vervormingen zijn gemeten. Uit de tilt anomaliedatabase is per locatie het aantal grotere anomalieën bepaald. Een grote anomalie zijn anomalieën met het label "Abrupte sprong > 0.05" en "Blijvende verschuiving meetbeeld omhoog of omlaag > 0.05" (4). In kolom (5) en (6) zijn de maximale PGV en PGA gemeten tijdens aardbevingen nabij het Groningen gasveld met een magnitude groter dan 1.0 [-] volgens de catalogus van het KNMI (KNMI, 1993) gepresenteerd. In kolom (7) is ter referentie de berekende  $PGV_{MaxRot}$  met (Bommer, et al., 2021) gegeven.

In kolom 8 is een schatting van de kans op schade gepresenteerd, deze waarden dienen met zorg te worden geïnterpreteerd omdat de gebruikte methode niet is ontwikkeld om te worden gebruikt voor het bepalen van de kans op schade ten gevolge van een aardbeving. De kans op schade is berekend volgens de procedure beschreven in (SBRCURnet, 2017). Per locatie is de maximaal gemeten PGV tijdens een aardbeving bepaald welke ook is weergegeven in Tabel 9.1 in kolom (4) (SBRCURnet, 2017) schrijft voor dat afhankelijk van het de omvang van de meting er een veiligheidsfactor dient te worden toegepast. Uit een vergelijking van de maximaal gemeten PGV bij de sensoren binnen in het object en buiten op de meetplaat blijkt dat afhankelijk van de sensor en aardbeving beide sensoren de maximale waarde registreren. Aangezien er 1 sensor in het object aanwezig is, is een partiële factor  $\gamma_v$  van 1.6 [-] op de gemeten PGV toegepast. Aanvullend is uitgegaan van een bouwkundige staat "gevoelig en/of monumentale status: monument" met een partiële factor  $\gamma_s$  van 1.7 [-]. Voor  $V_r$  is een waarde van 5 [mm/s] aangehouden. Voor locatie 01\_niehove als voorbeeld is de berekening:

$$\frac{V_d}{V_r} = \frac{V_{top} \cdot \gamma_v}{\left(\frac{V_{kar}}{(\gamma_t \cdot \gamma_s)}\right)} = \frac{0.3 \cdot 1.6}{\left(\frac{5}{(1.0 \cdot 1.7)}\right)} = 0.16[-]$$

Op basis van de tabel gegeven in hoofdstuk 9.5 van (SBRCURnet, 2017) en aanvullende informatie uit (SBRCURnet, 2017) is de kans op schade berekend. De schade is berekend aan

de hand van een lognormale verdeling met een verwachtingswaarde van  $\mu = 1.4146$  en een standaardafwijking van  $\sigma = 0.592$ . De berekende kansen zijn gepresenteerd in kolom 8 van Tabel 8.1. Voor bovenstaande voorbeeld voor locatie 01\_Niehove resulteert de berekening in een kans op schade kleiner dan 0.1[%].

Tabel 8.1: Datasynthese

Locatie	(1) Aantal beoordeelde schades [-]	(2) Aantal gerapporteerde toegenomen schades door Hansleman [-]	(3) Substantiële afwijking in Laserscan geconstateerd	(4) Aantal grote anomalieën in gemeten tilt [-]	(5) Max gemeten PGV tijdens aardbeving [cm/s]	(6) Max gemeten PGA tijdens aardbeving [cm/s <sup>2</sup> ]	(7) Berekende PGVmaxrot met GMPE [cm/s]	(8) Kans op schade volgens SBR met waarden [%] (5)
01_Niehove	97	0	nee	1	0.03	1.64	0.02	0.0%
02_Usquert	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
03_Onderdendam	31	0	nee	1	0.15	4.13	0.11	0.4%
04_Kantens	30	0	nee	5	0.09	6.03	0.13	0.0%
05_Groningen	43	0	nee	0	0.29	5.27	0.09	5.0%
06_Overschild	47	1	nee	0	0.33	9.30	0.52	8.3%
07_Noordbroek	110	3	ja	16	0.06	1.79	0.06	0.0%
08_Zeerijp-kerk	43	0	nee	0	0.59	27.66	0.72	33.6%
09_Borgercompagnie	48	0	nee	0	0.03	2.83	0.03	0.0%
10_Steenbergen	42	0	nee	0	0.01	0.21	0.01	0.0%
11_Loppersum	91	0	nee	0	1.05	33.35	1.11	70.8%
12_Zeerijp	59	2	nee	1	0.87	25.82	0.71	59.6%
13_Appingedam	53	1	nee	1	0.35	9.56	0.20	9.4%

---

## 9. Literatuur

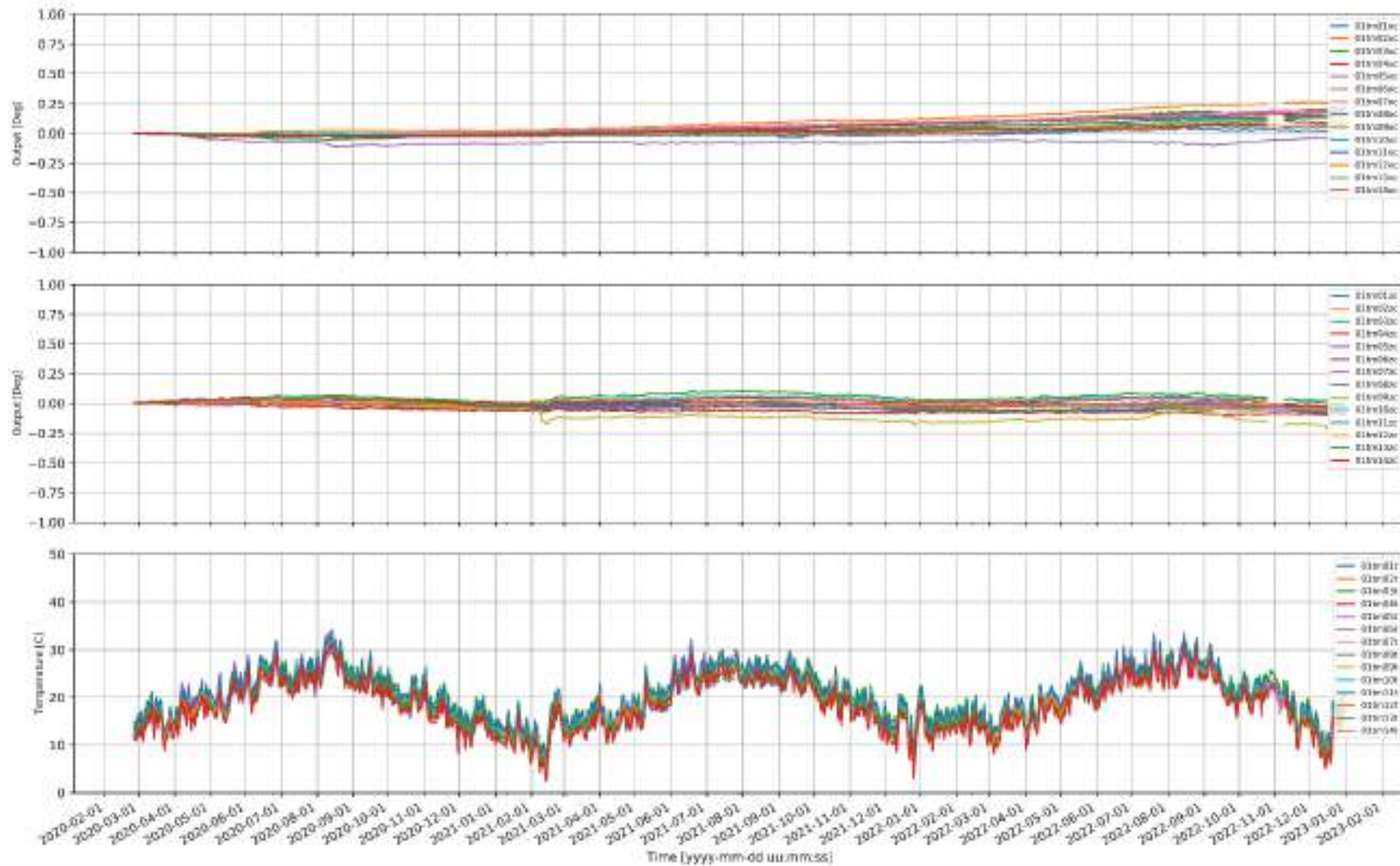
- Bommer, J. J. et al., 2022. *V7 Ground-Motion Model for Induced Seismicity in the Groningen Gas Field (Update) With Assurance Letter*, s.l.: NAM.
- Bommer, J. J., Stafford, P. J. & Ntinalexis, M., 2021. *Empirical Equations for the Prediction of Peak Ground Velocity due to Induced Earthquakes in the Groningen Gas Field – October 2021*, s.l.: NAM.
- Brinkman, 2018. *Invloed van bodemdaling door zoutwinning Nedmag op bebouwing en infrastructuur*, Delft: Deltares.
- Everts, S. e., 2020. *Over de invloed van trillingen door bevingen op zettingen van gebouwen*, Groningen: IMG.
- Fugro, 2019. *Quality check of the Groningen accelerometer network*, s.l.: Fugro.
- Fugro, 2021. *Pilot Tiltensoren, Algemene Data Analyse*, sl: Fugro.
- Geurts, C., Pluymaekers, M. & Rots, J., 2021. *Schade aan gebouwen door diepe bodemdaling en -stijging, TNO 2021 R10325*, s.l.: TNO en TU Delft.
- Hijma en Van Onselen, 2019. *Bodemdalingsmonitor 2019, kustfundament en getijdenbekkens*, Delft: Deltares.
- KNMI, Weer en klimaatdiensten, n.d. *Jaar 2022*. [Online]  
Available at: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maand-en-seizoensoverzichten/2022/jaar>
- KNMI, 1993. *Netherlands Seismic and Acoustic Network*, s.l.: Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI).
- KNMI, 2022. *Drielingstorm Dudley, Eunice en Franklin*. [Online]  
Available at: <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/drielingstorm-dudley-eunice-en-franklin>  
[Accessed 26 april 2023].
- KNMI, 2022. *Historisch verloop neerslagtekort*. [Online]  
Available at: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografische-overzichten/historisch-neerslagtekort>  
[Accessed 1 may 2023].
- NAM, 2020. *Statusrapport 2020 en prognose tot het jaar 2080, Bodemdaling door aardgaswinning*, Assen: NAM.
- SBRCURnet, 2017. *SBR Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken: 2017*, s.l.: SBRCURnet.
- Staalduinen et al, 2019. *Onderzoek naar de oorzaken van bouwkundige schade in Groningen, Methodologie en case studies ter duiding vande oorzaken*, Delft: TU Delft.
- Weerplaza, 2023. *Februari 2022: 3 stormen op rij*. [Online]  
Available at: <https://www.weerplaza.nl/weerinhetnieuws/februari-2022-3-stormen-op-rij/8116/>  
[Geopend 26 april 2023].

# Appendix A

Gecorrigeerde tiltmetingen fase

1 en 2

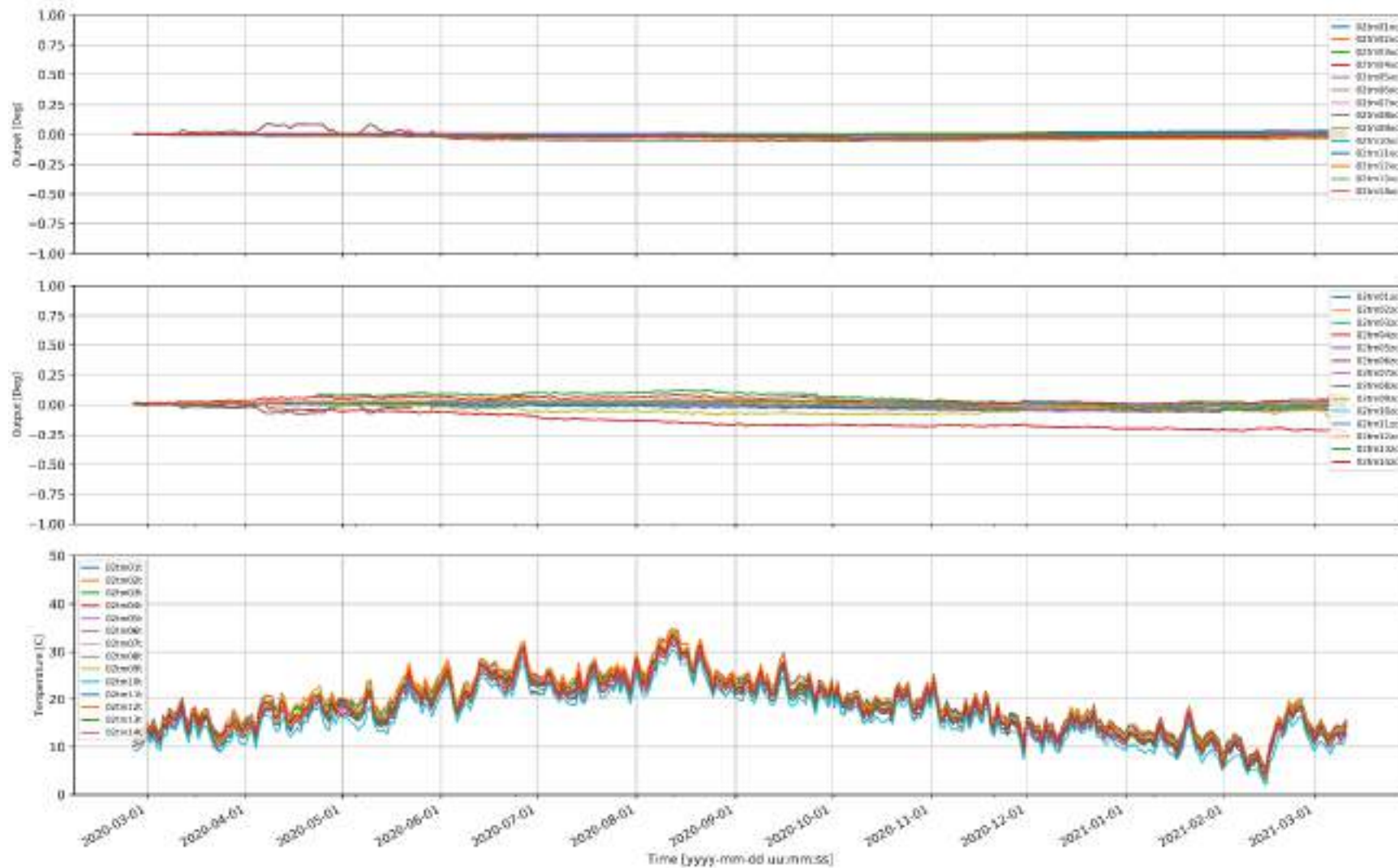
## A.1 Object 01



Figuur 9-1: Gecorrigeerde tiltmetingen en temperatuur van sensoren 01TM01 t/m 01TM14 in fase 1 en 2.

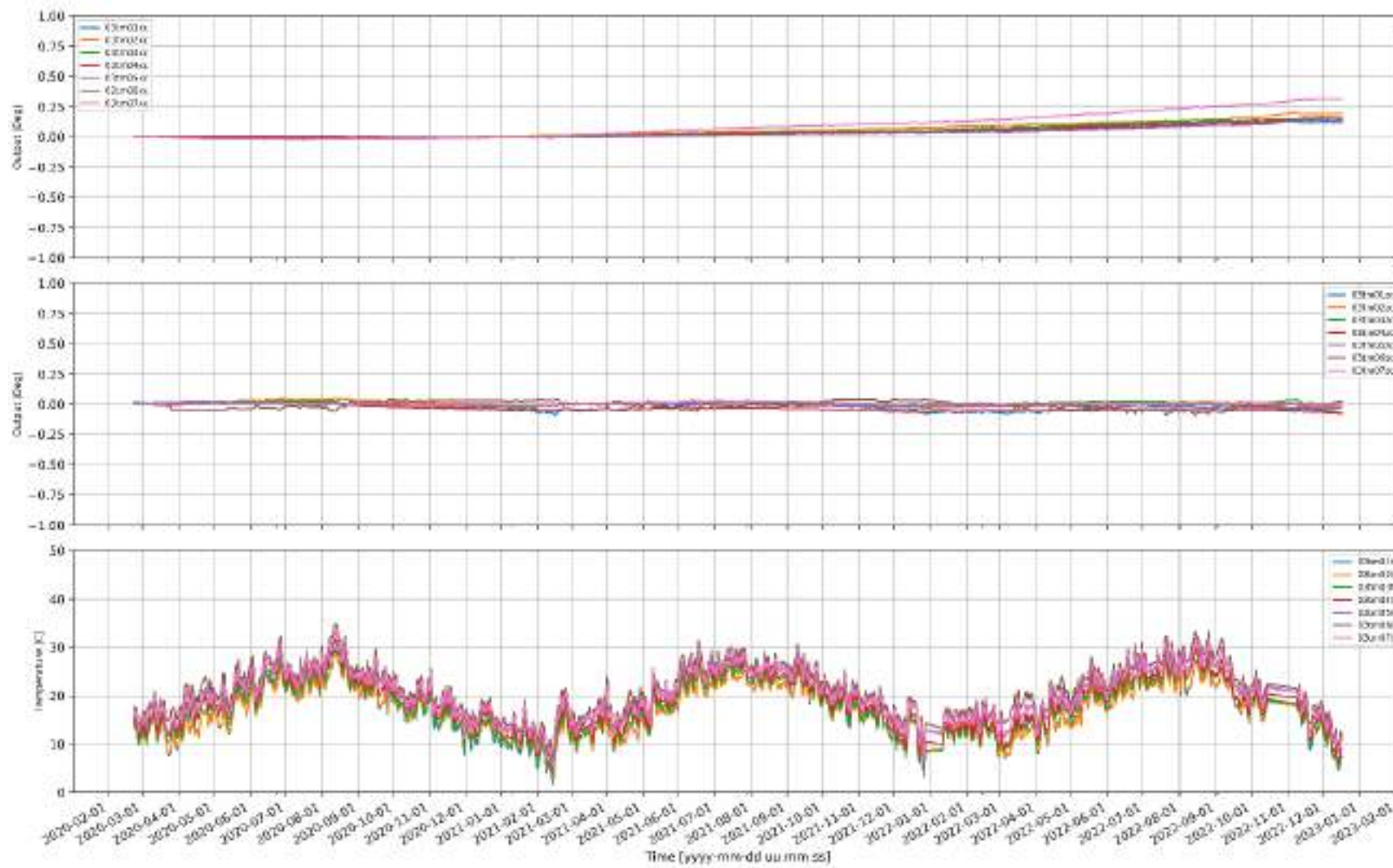


## A.2 Object 02



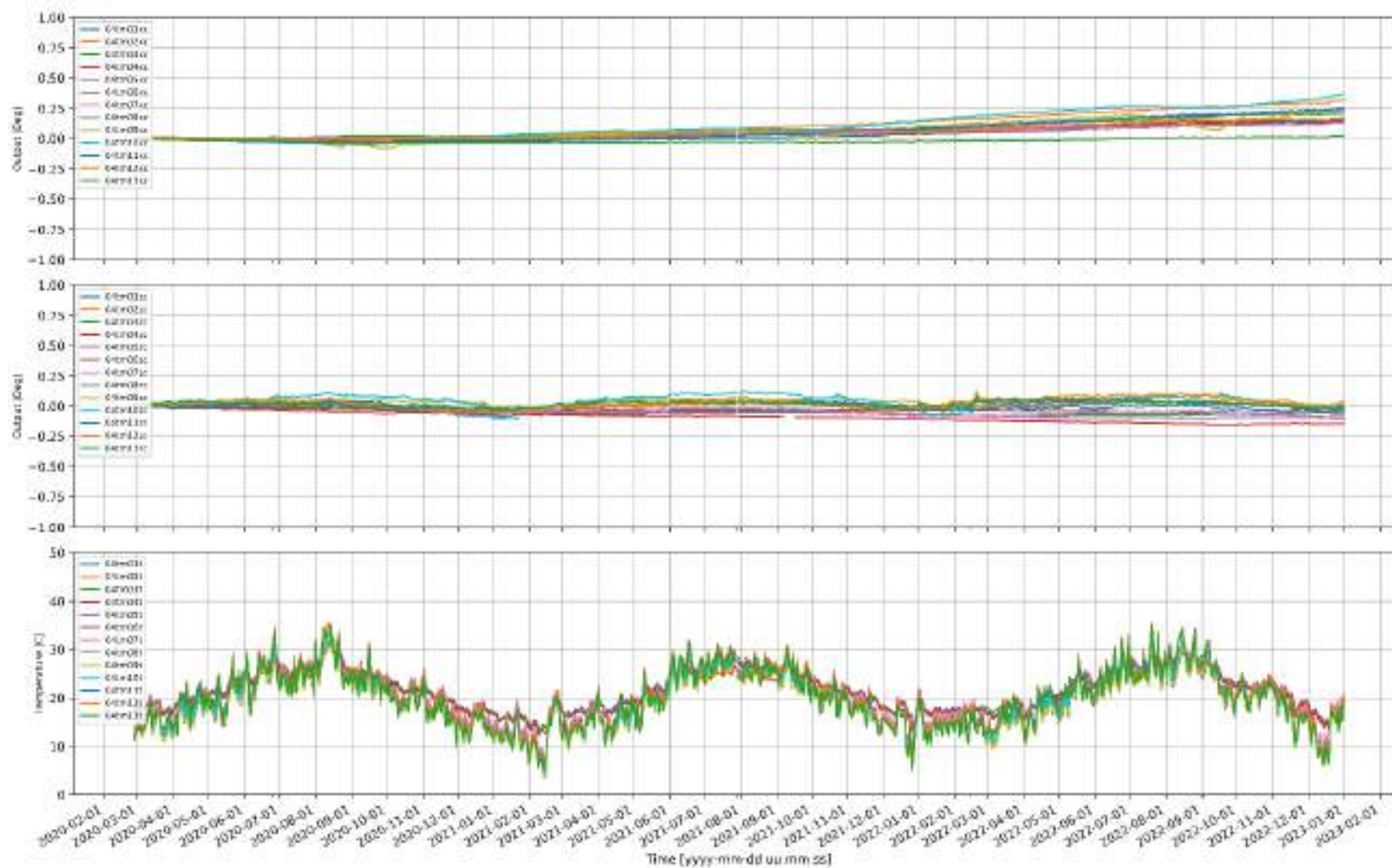
Figuur 9-2: Gecorrigeerde tiltmetingen en temperatuur van sensoren 02TM01 t/m 02TM14 in fase 1.

### A.3 Object 03



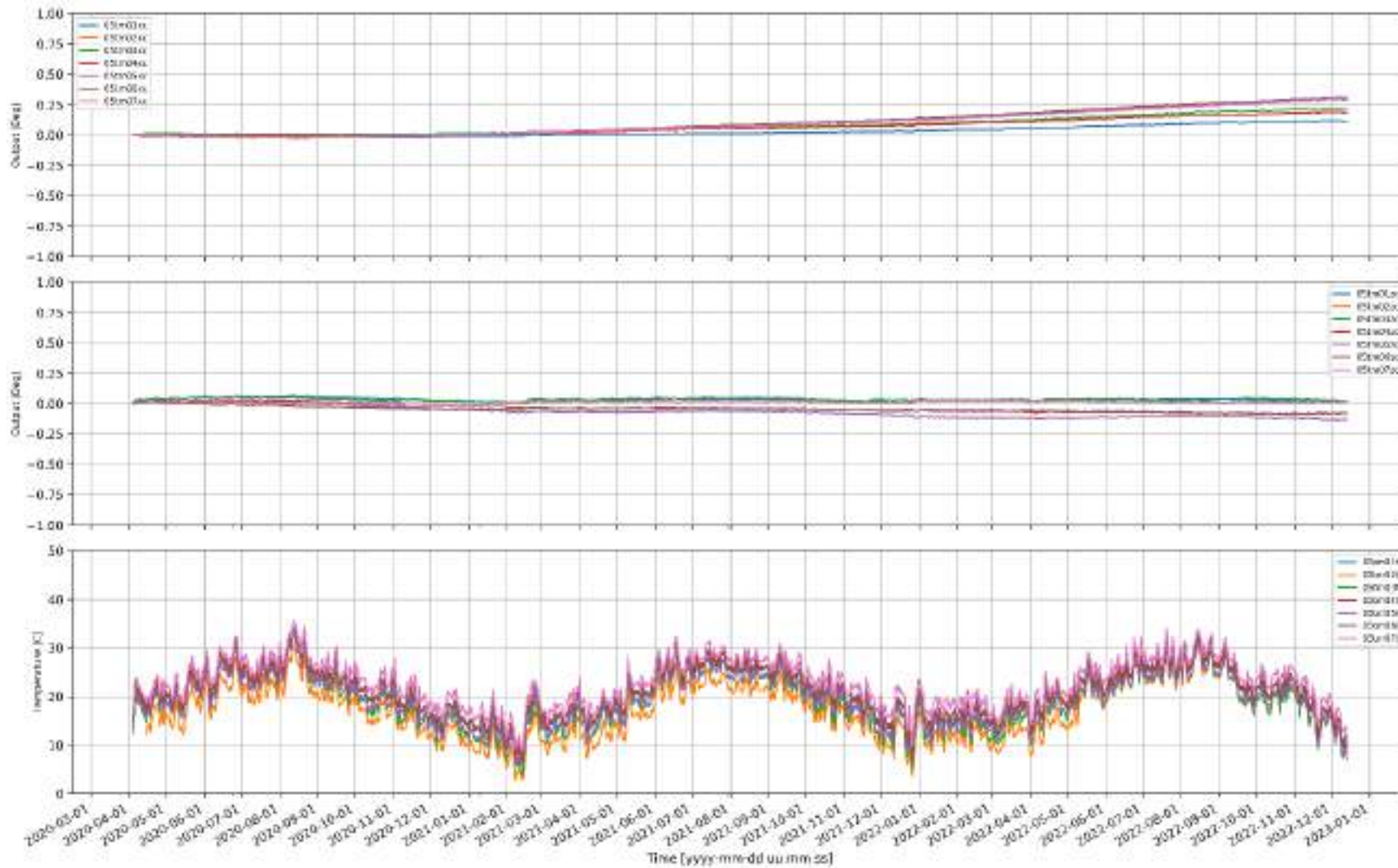
Figuur 9-3: Gecorrigeerde tilmetingen en temperatuur van sensoren 03TM01 t/m 03TM07 in fase 1 en 2.

## A.4 Object 04



Figuur 9-4: Gecorrigeerde tilmetingen en temperatuur van sensoren 04TM01 t/m 04TM14 in fase 1 en 2.

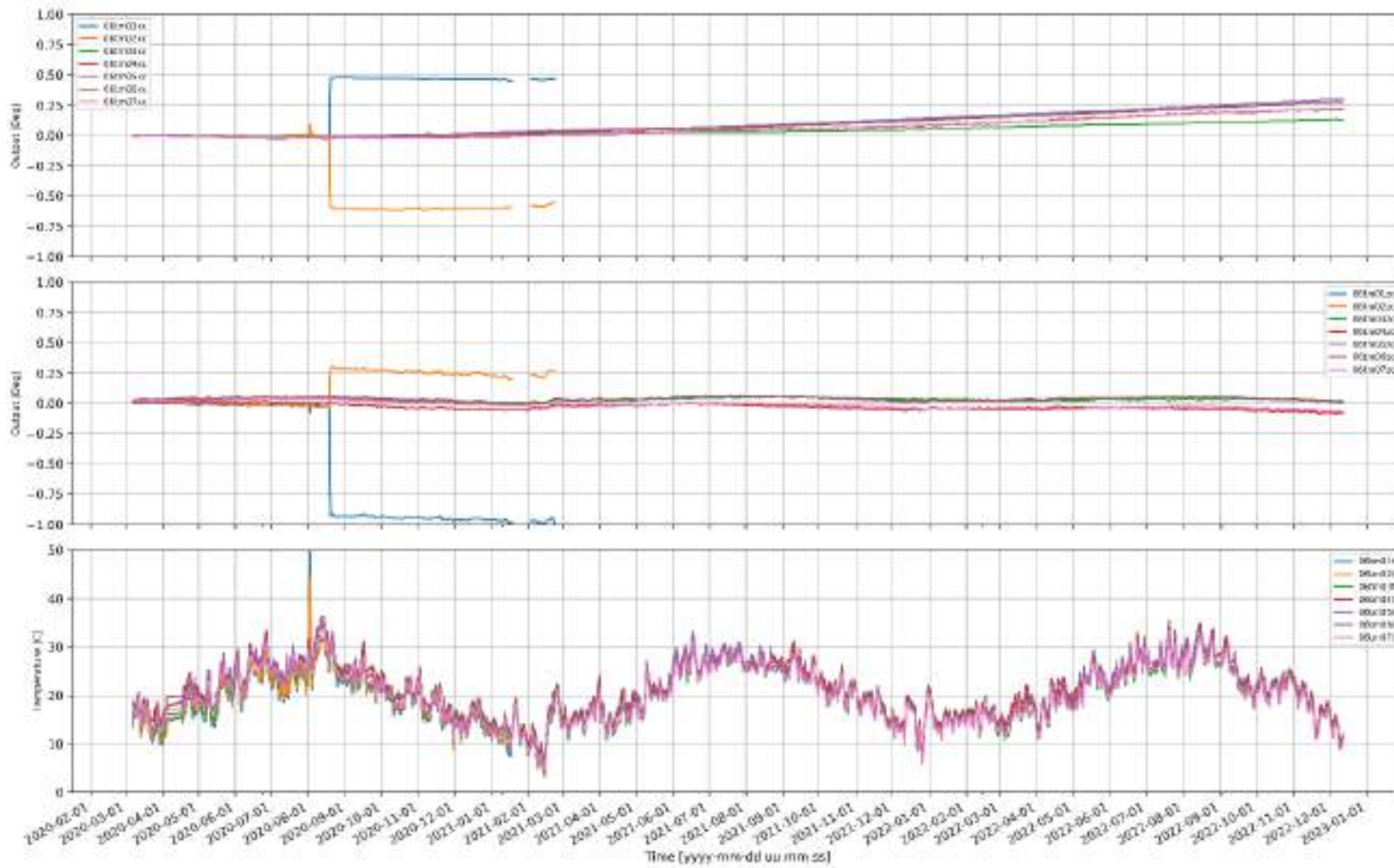
## A.5 Object 05



Figuur 9-5: Gecorrigeerde tilmetingen en temperatuur van sensoren 05Tm01 t/m 05TM07 in fase 1 en 2.

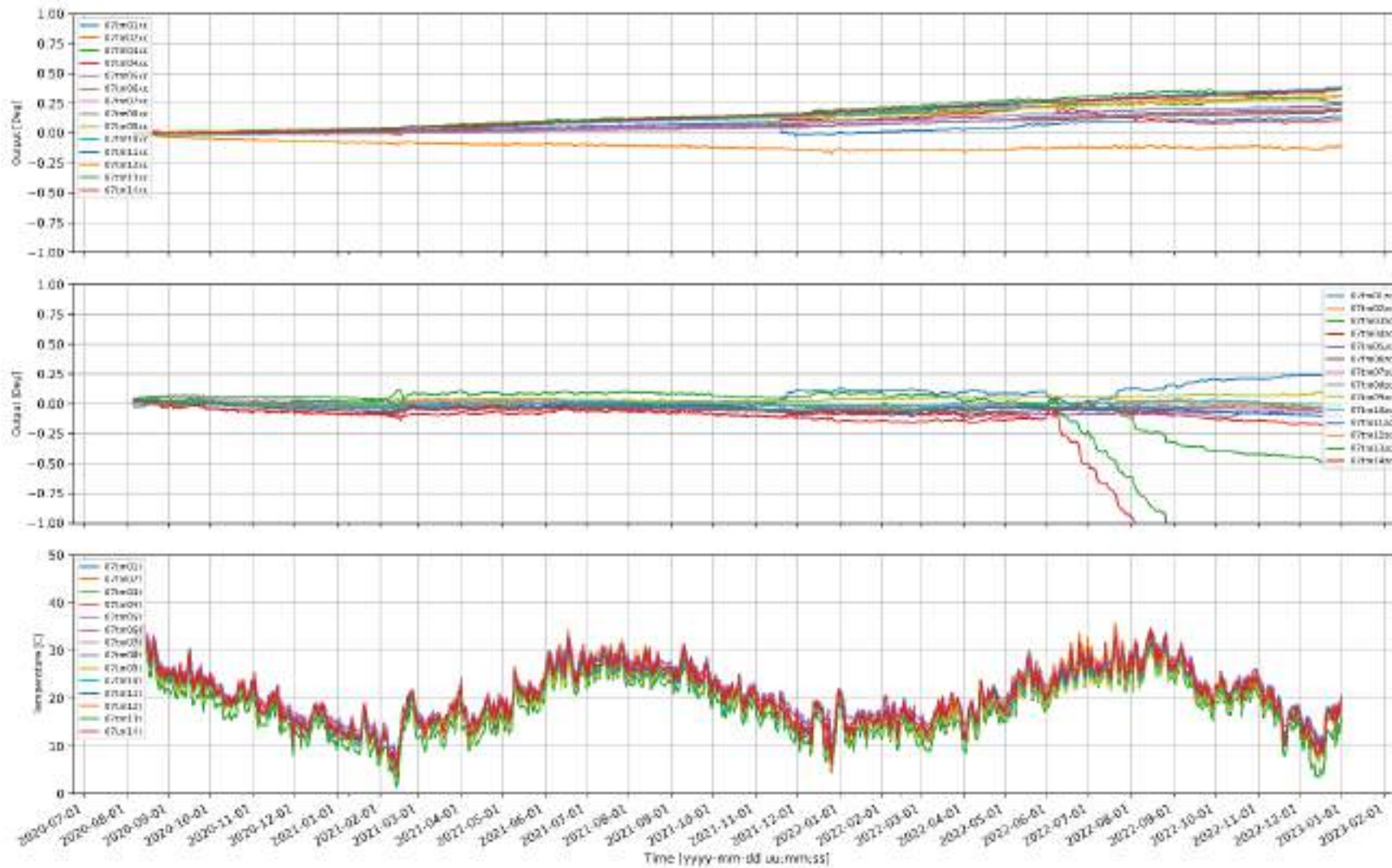


## A.6 Object 06



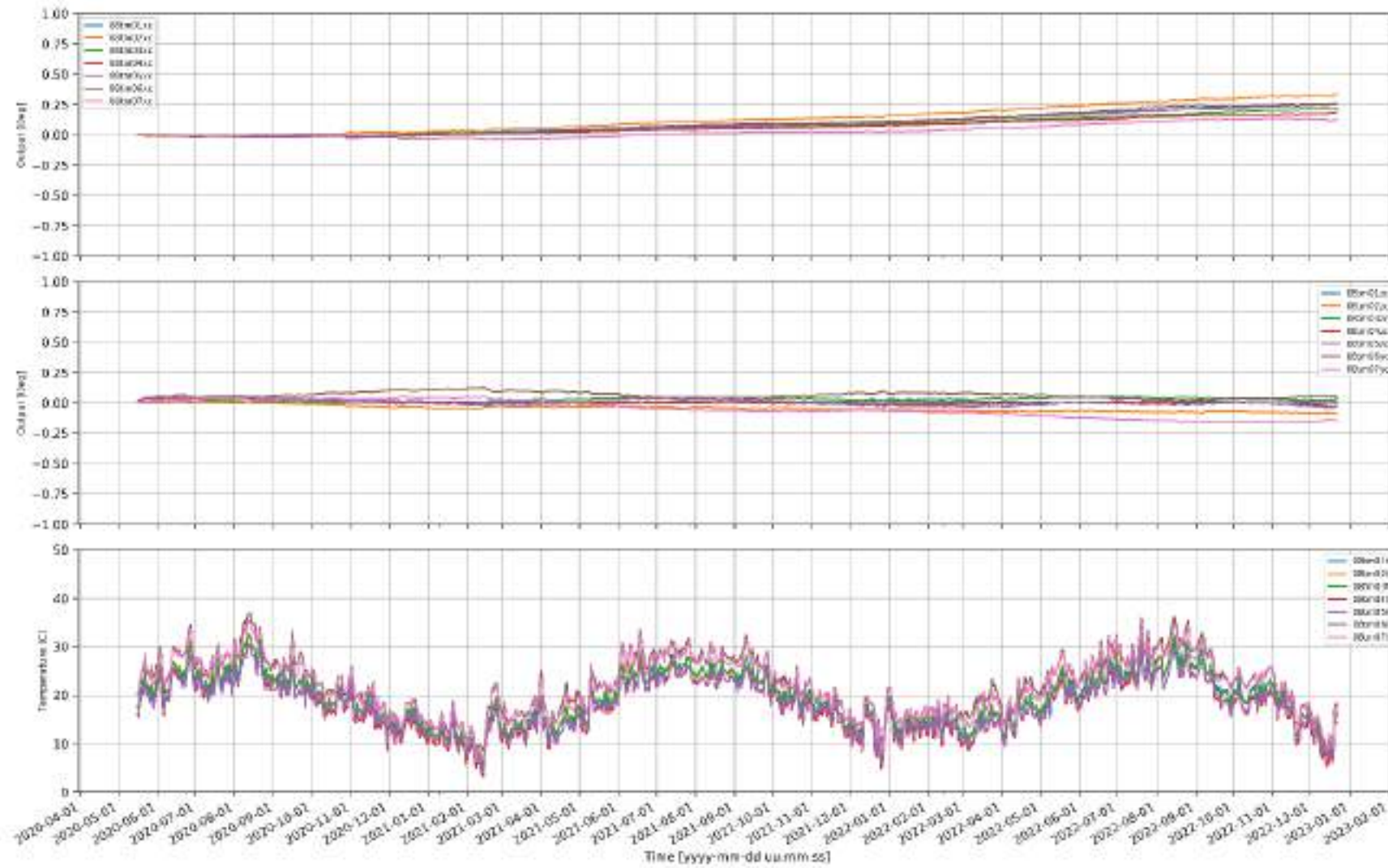
Figuur 9-6: Gecorrigeerde tiltmetingen en temperatuur van sensoren 06TM01 t/m 06TM07 in fase 1 en 2.

## A.7 Object 07



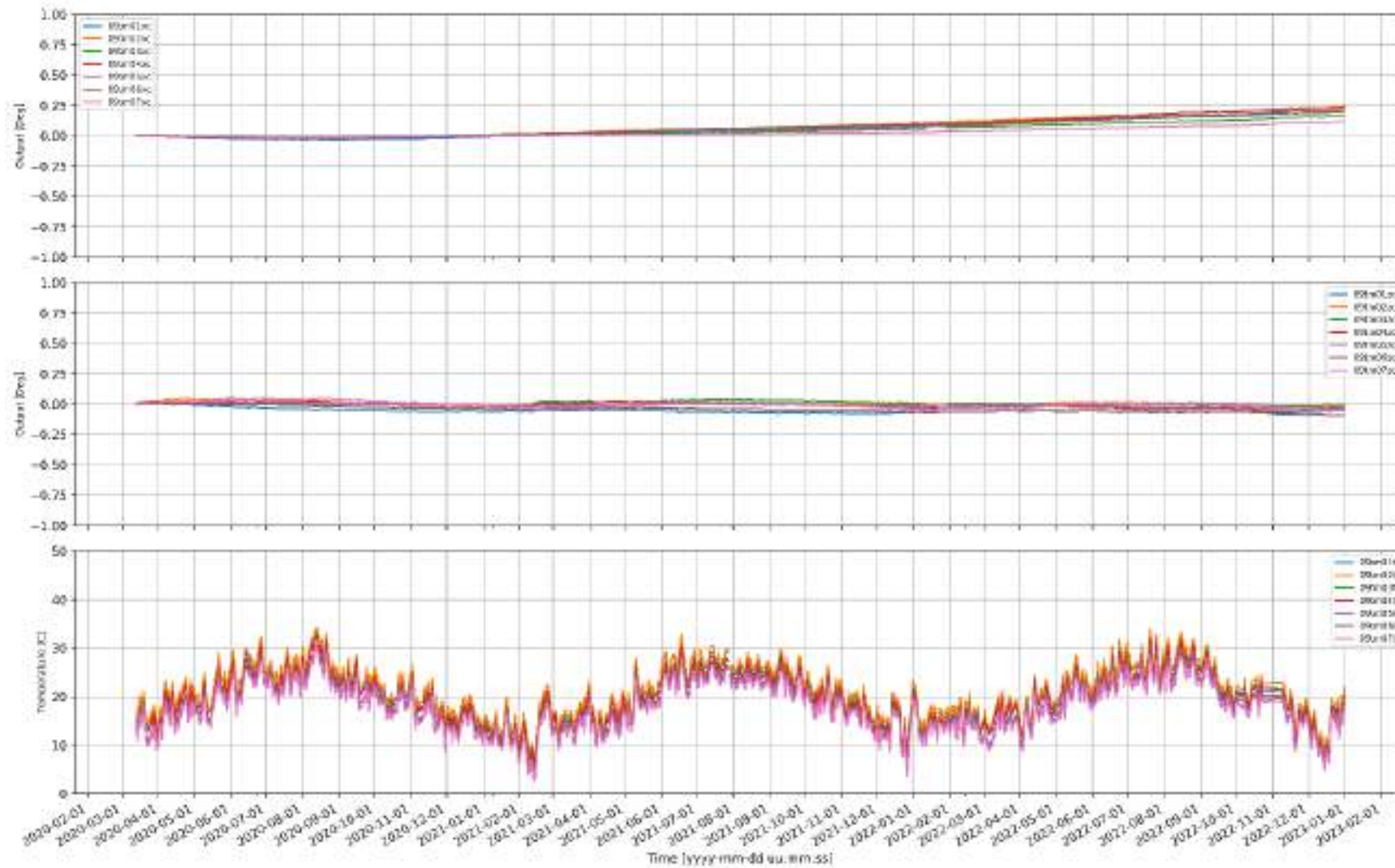
Figuur 9-7: Gecorrigeerde tilmetingen en temperatuur van sensoren 07TM01 t/m 07TM14 in fase 1 en 2.

## A.8 Object 08



Figuur 9-8: Gecorrigeerde tilmetingen en temperatuur van sensoren 08TM01 t/m 08TM07 in fase 1 en 2.

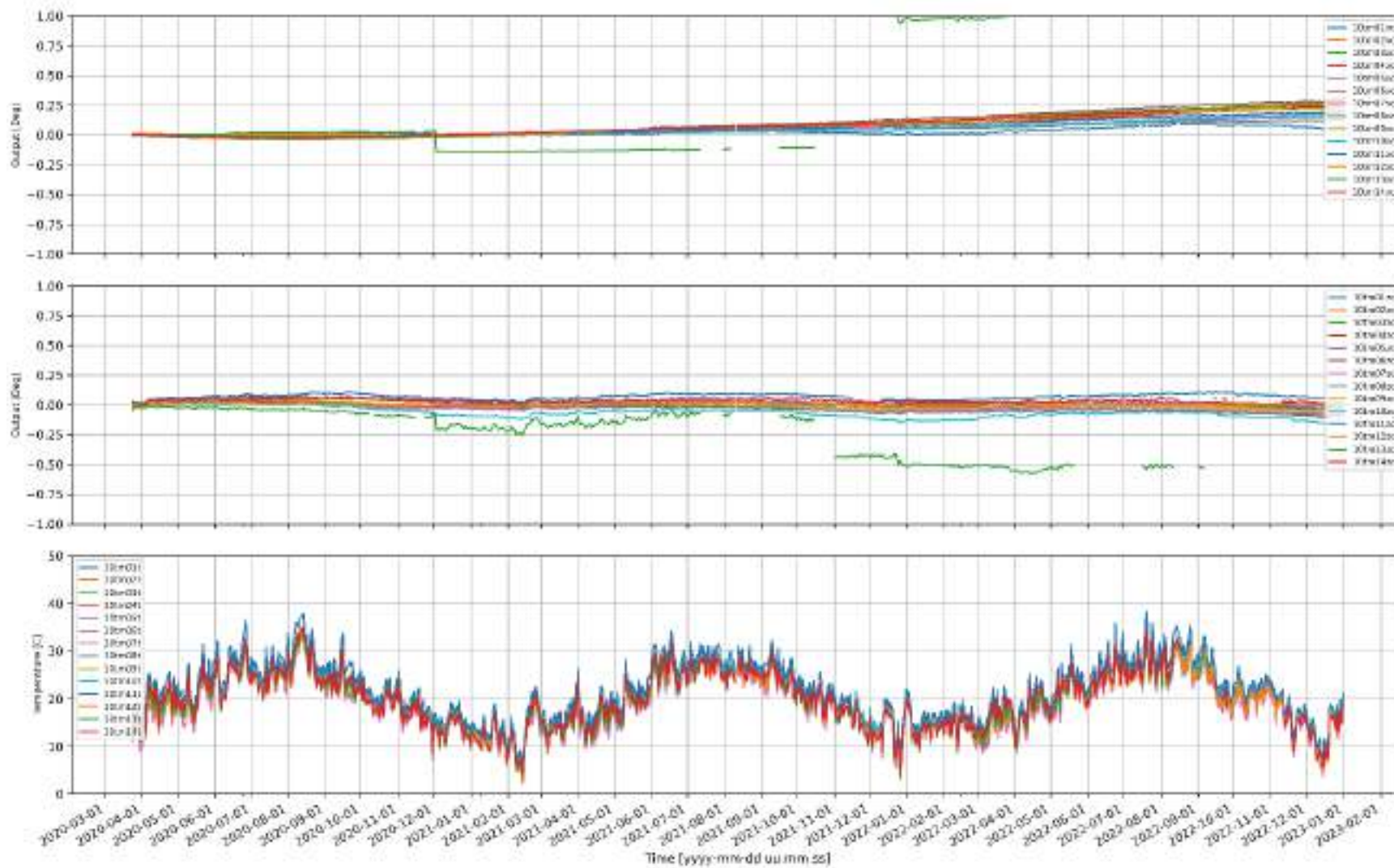
## A.9 Object 09



Figuur 9-9: Gecorrigeerde tilmetingen en temperatuur van sensoren 09TM01 t/m 09TM07 in fase 1 en 2.

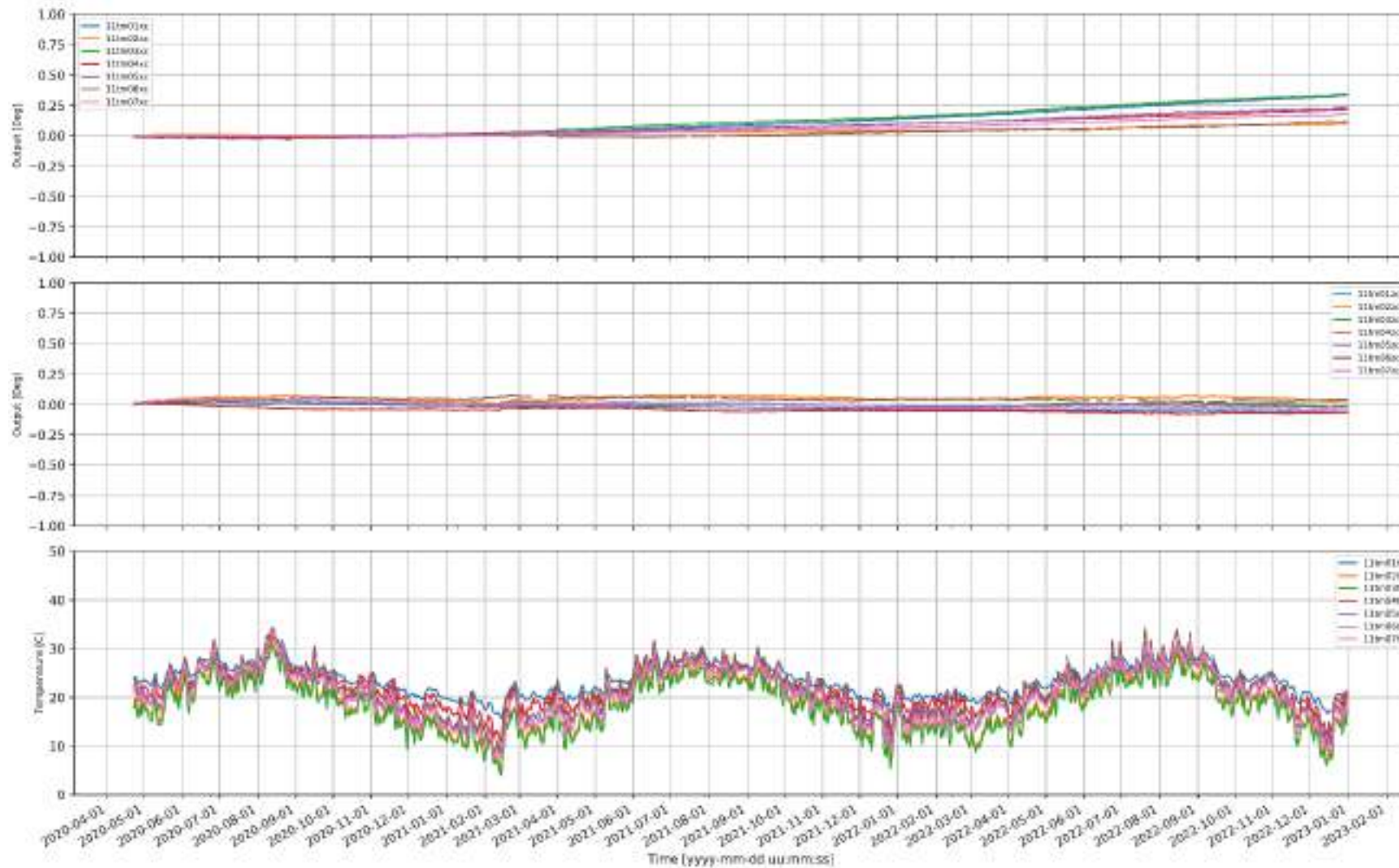


## A.10 Object 10



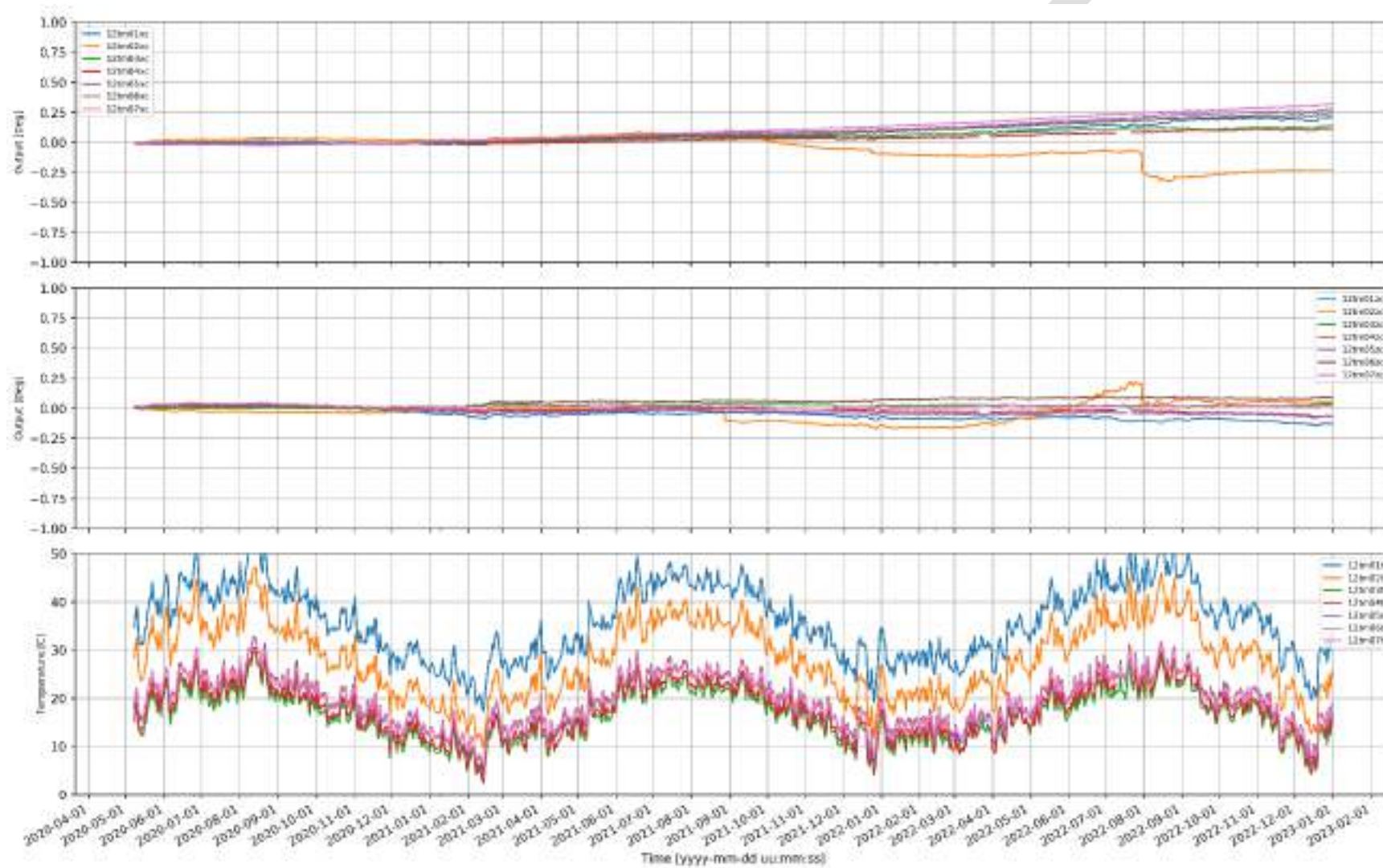
Figuur 9-10: Gecorrigeerde tiltmetingen en temperatuur van sensoren 10TM01 t/m 10TM14 in fase 1 en 2.

## A.11 Object 11



Figuur 9-11: Gecorrigeerde tiltmetingen en temperatuur van sensoren 11TM01 t/m 11TM07 in fase 1 en 2.

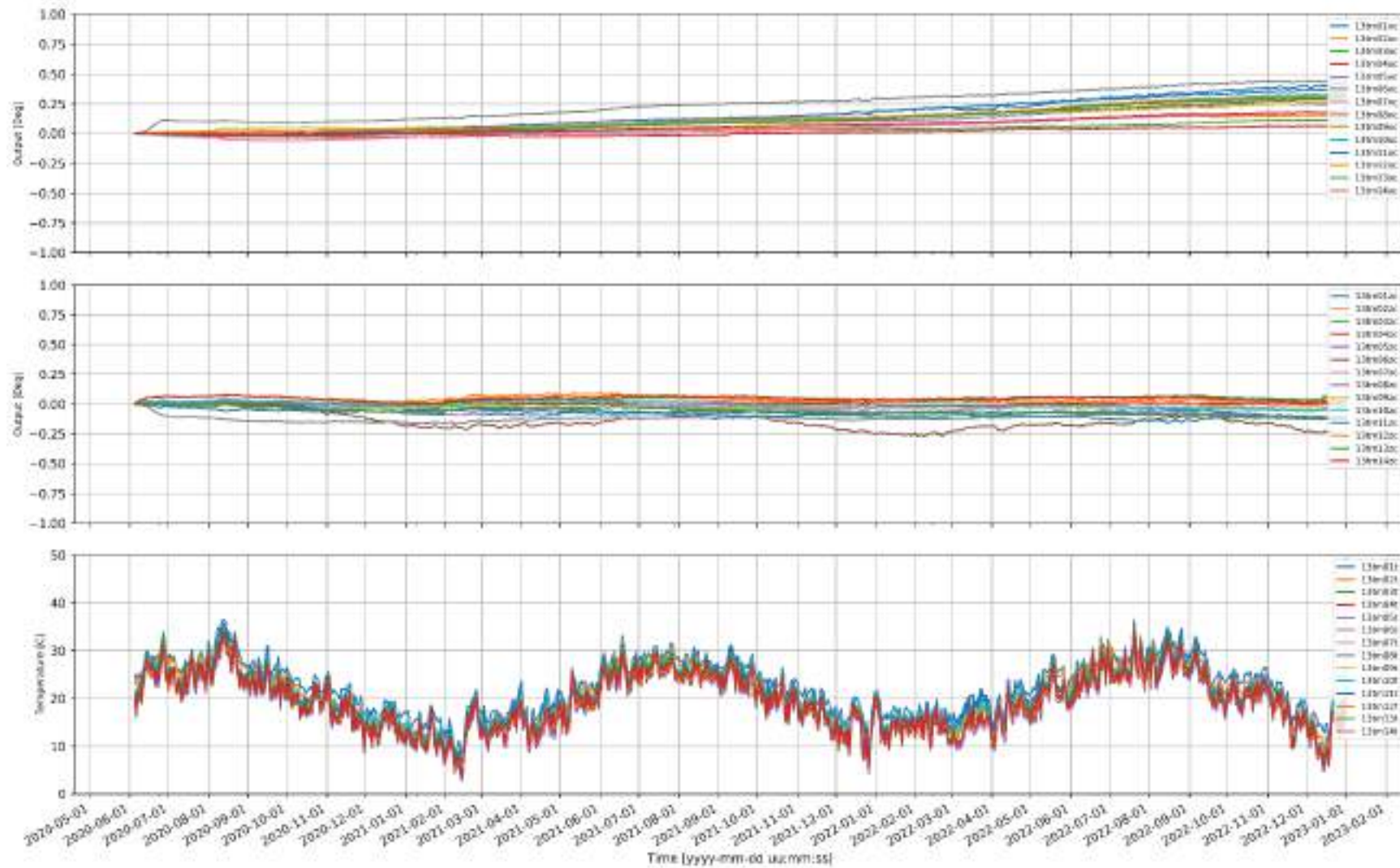
## A.12 Object 12



Figuur 9-12: Gecorrigeerde tiltmetingen en temperatuur van sensoren 12TM01 t/m 12TM07 in fase 1 en 2.



## A.13 Object 13

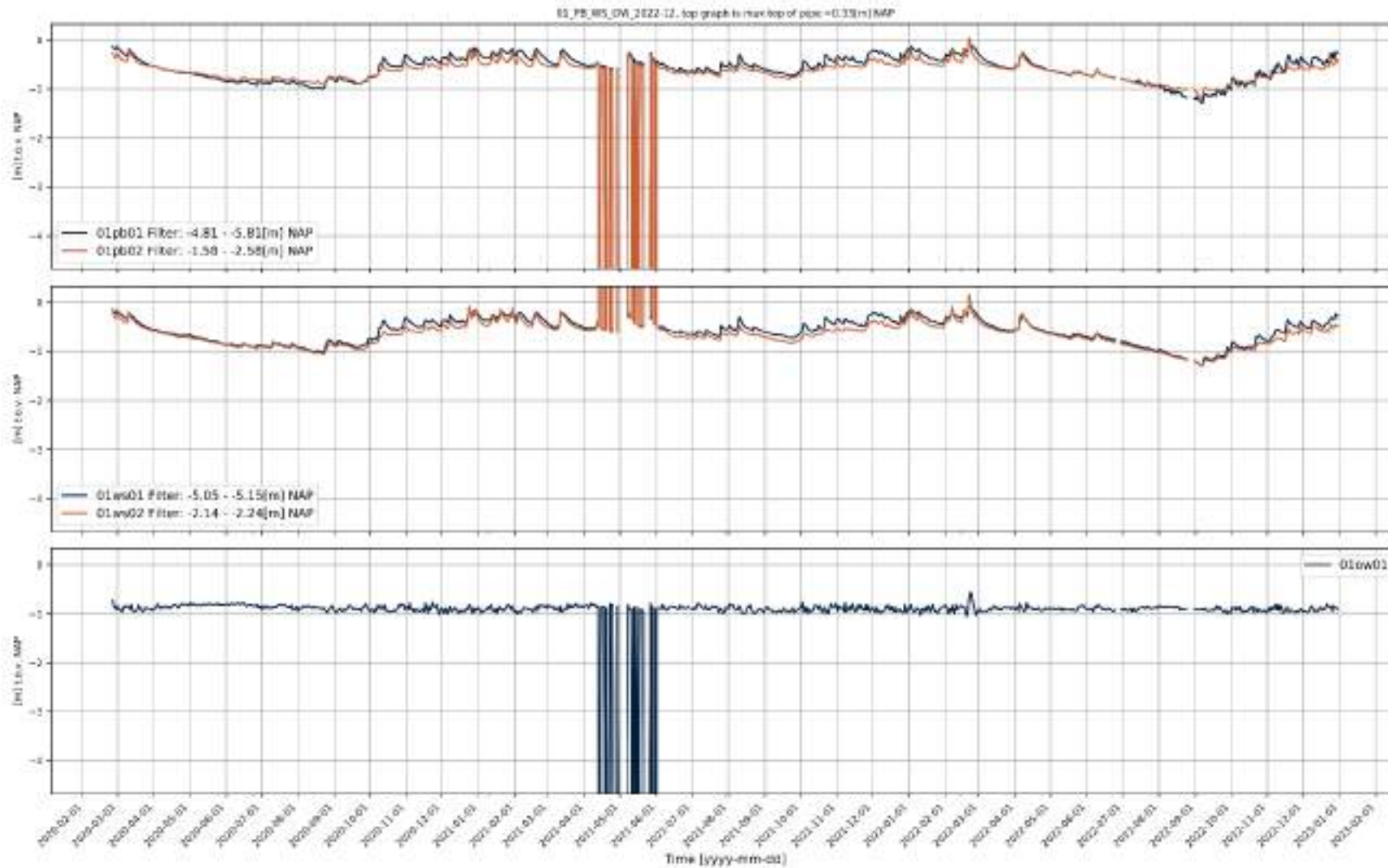


Figuur 9-13: Gecorrigeerde tiltmetingen en temperatuur van sensoren 13TM01 t/m 13TM14 in fase 1 en 2.

# Appendix B

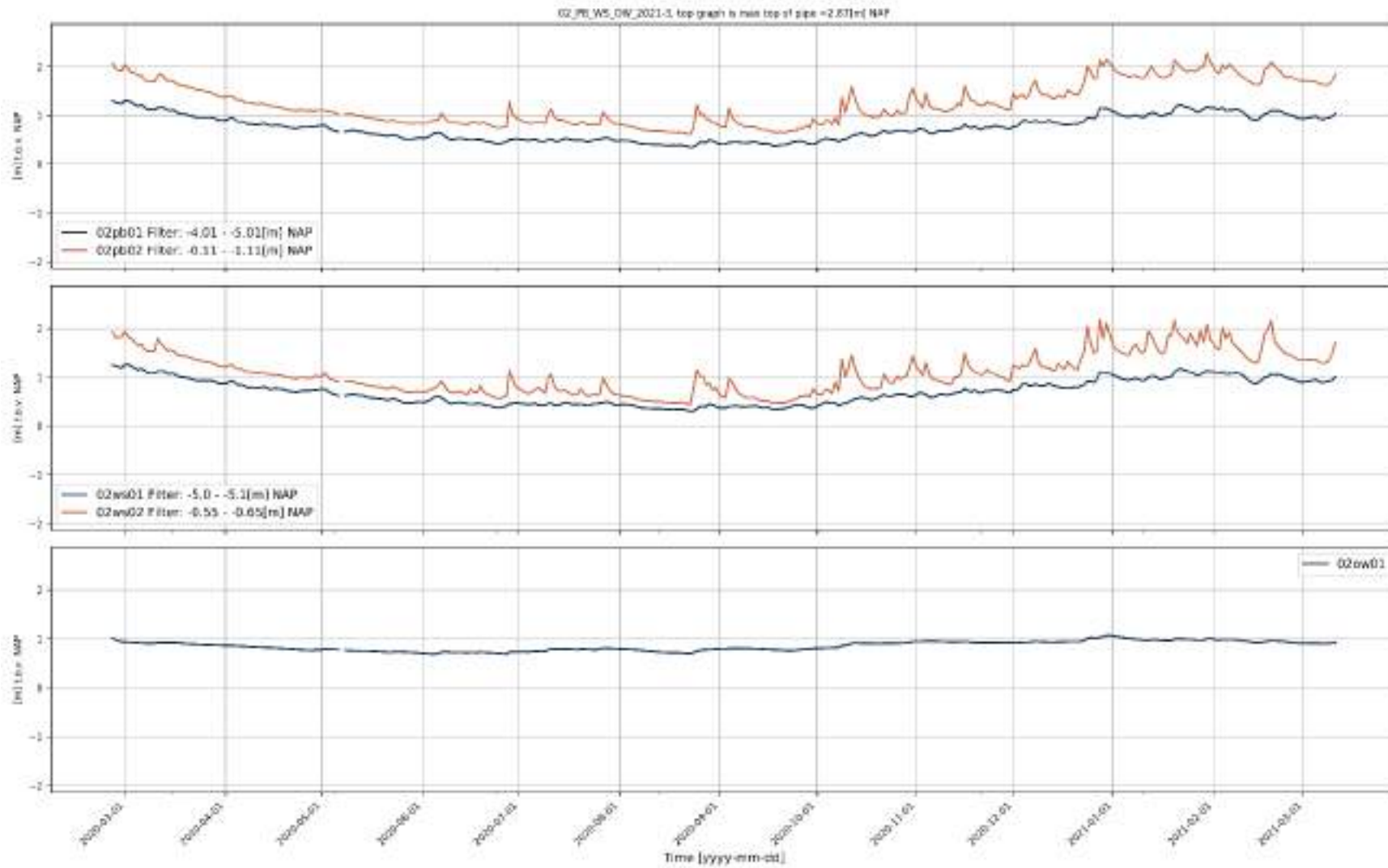
PB-WS-OW metingen fase 1 en  
2

## B.1 Object 01



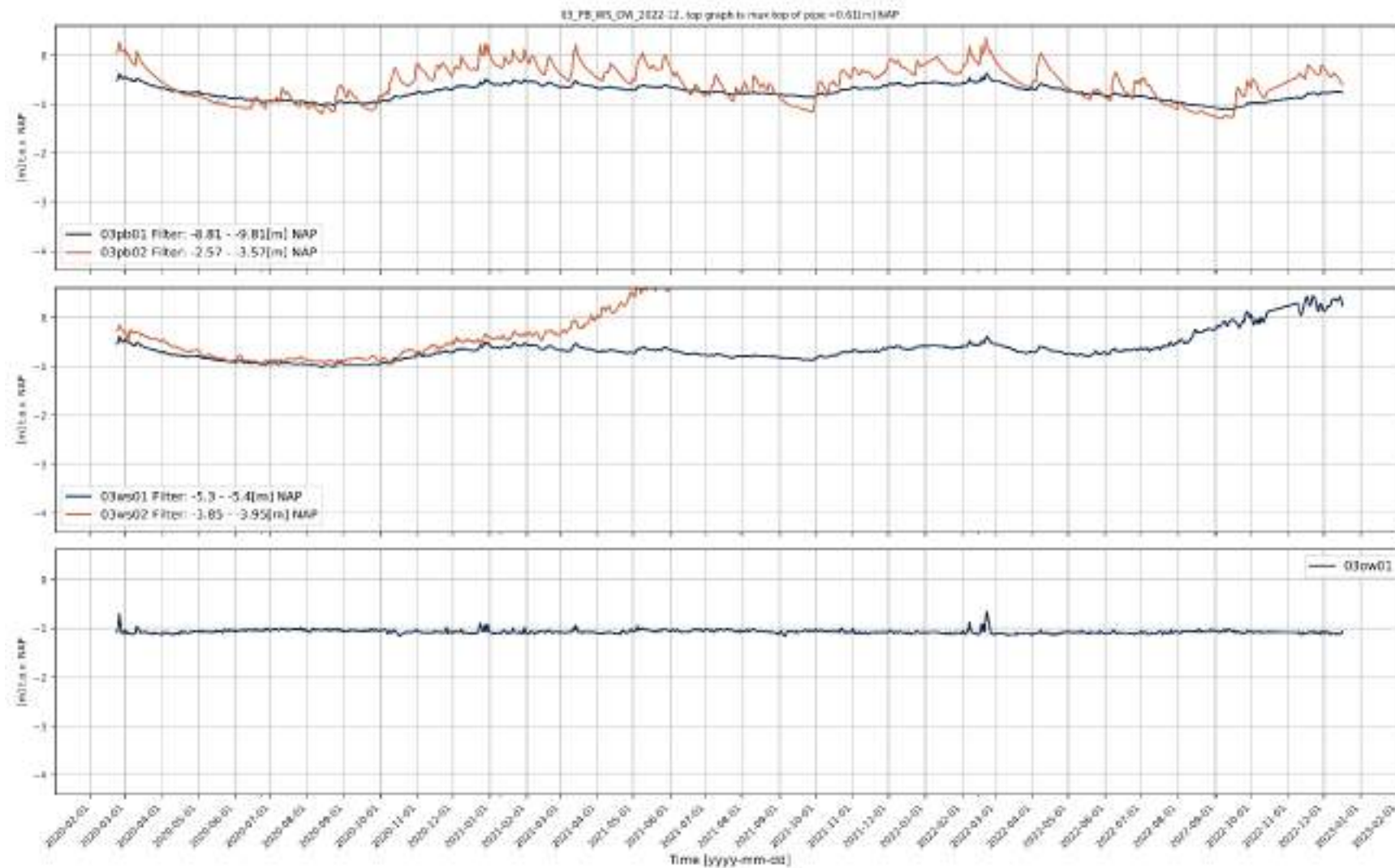
Figuur 9-14: Metingen van peilbuis-, waterspannings- en open water sensoren (PB-WS-OW) nabij object 01 in fase 1 en 2.

## B.2 Object 02



Figuur 9-15: Metingen van peilbuis-, waterspannings- en open water sensoren (PB-WS-OW) nabij object 02 in fase 1.

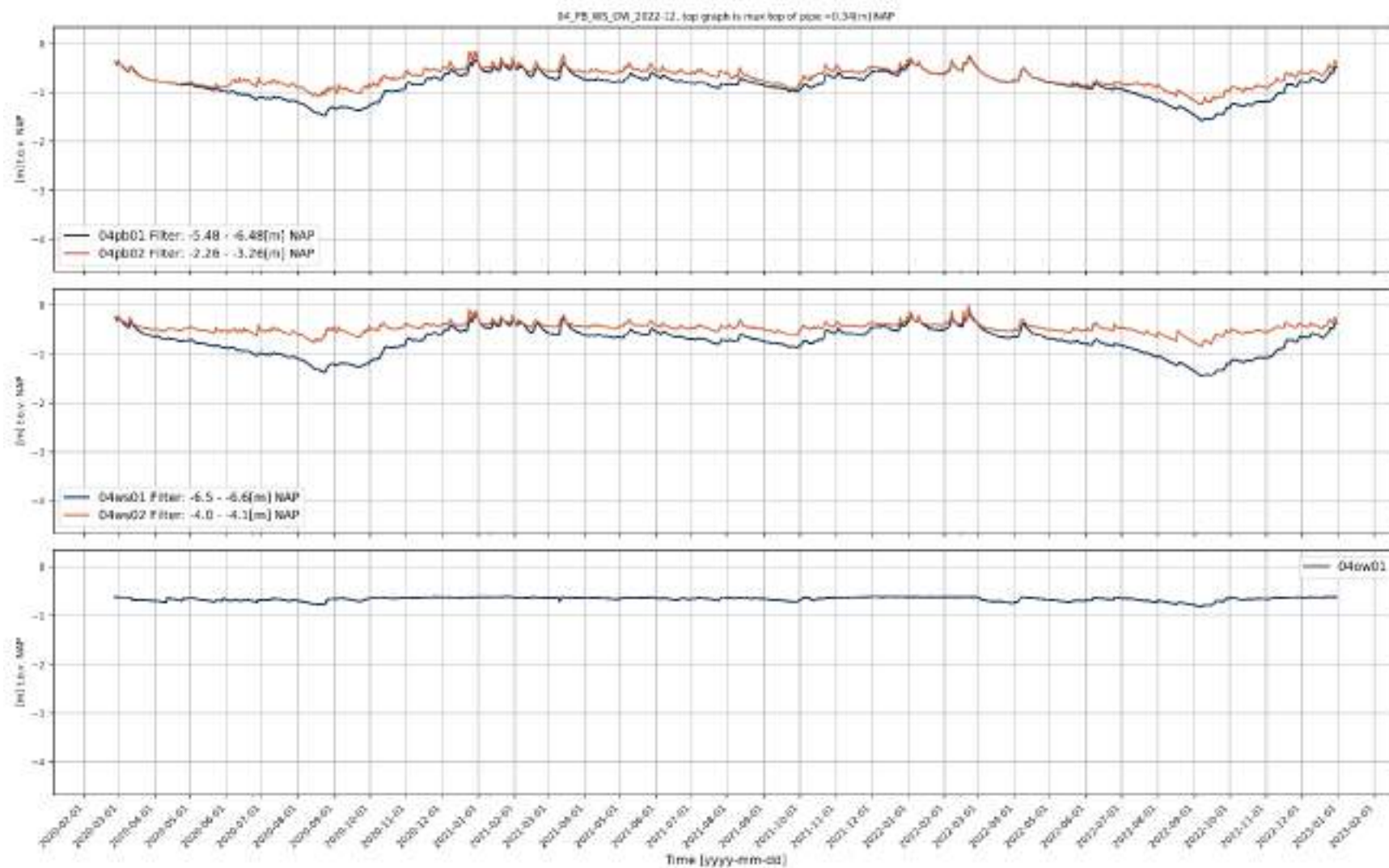
### B.3 Object 03



Figuur 9-16: Metingen van peilbuis-, waterspannings- en open water sensoren (PB-WS-OW) nabij object 03 in fase 1 en 2.

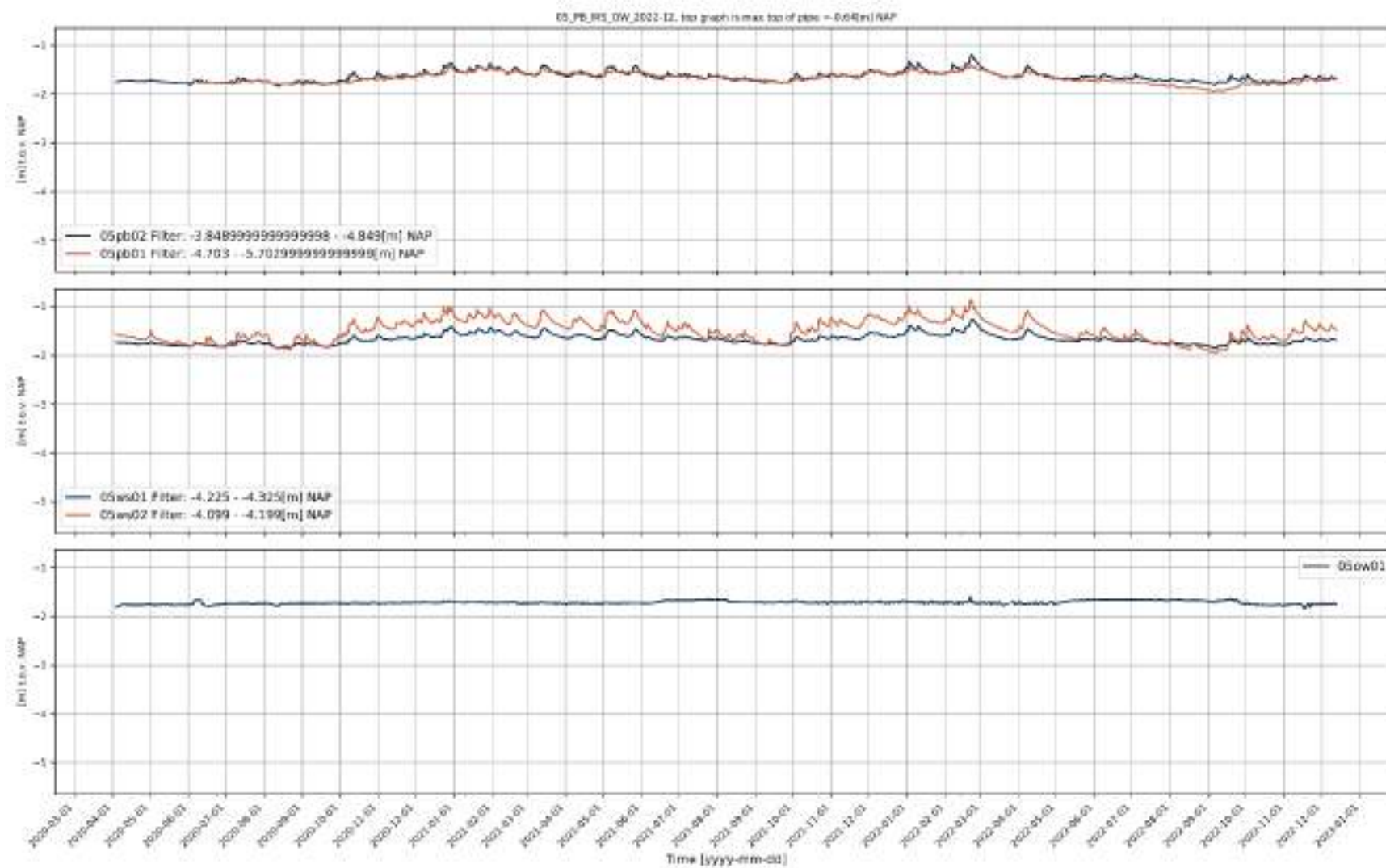


## B.4 Object 04



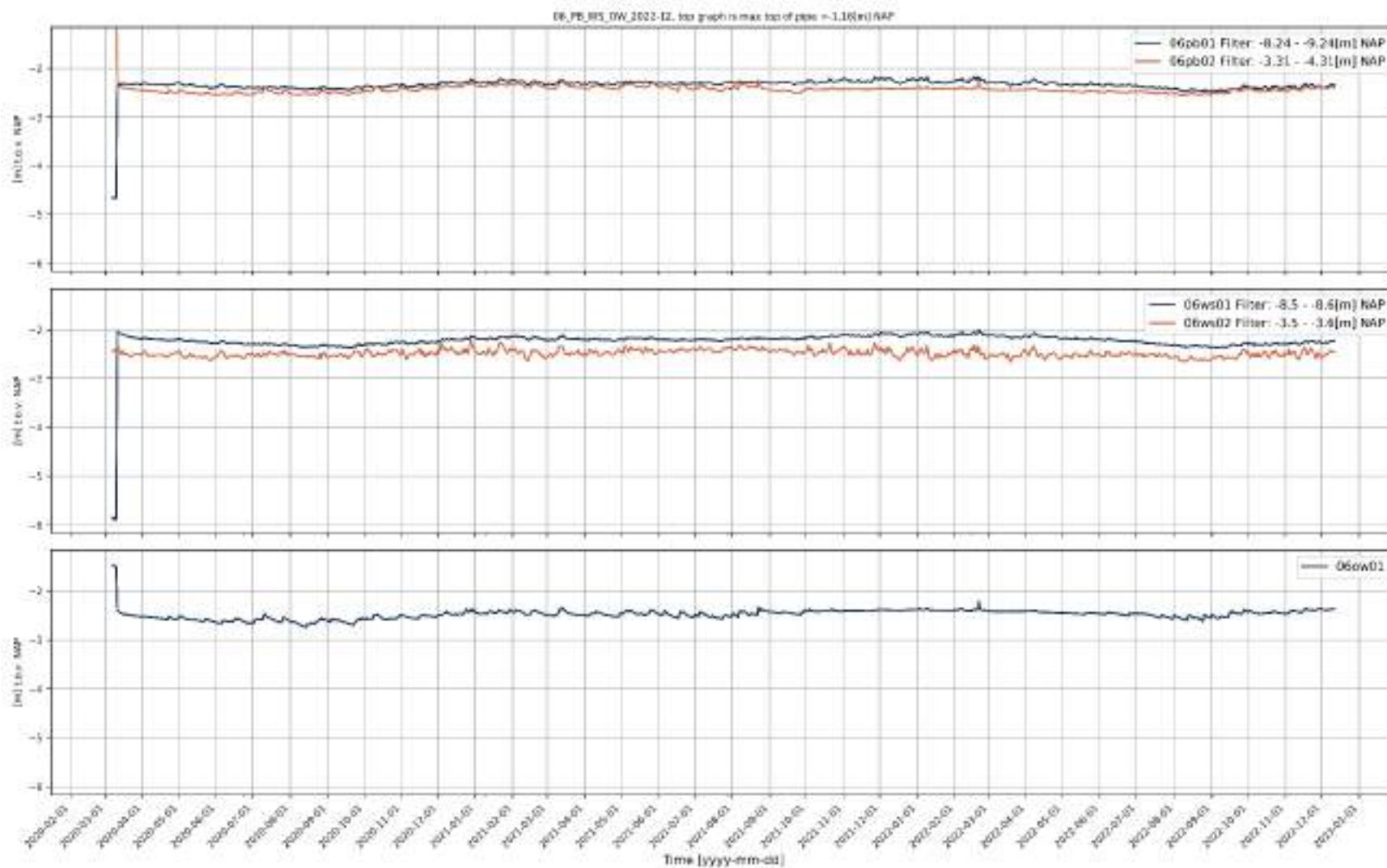
Figuur 9-17: Metingen van peilbuis-, waterspannings- en open water sensoren (PB-WS-OW) nabij object 04 in fase 1 en 2.

## B.5 Object 05



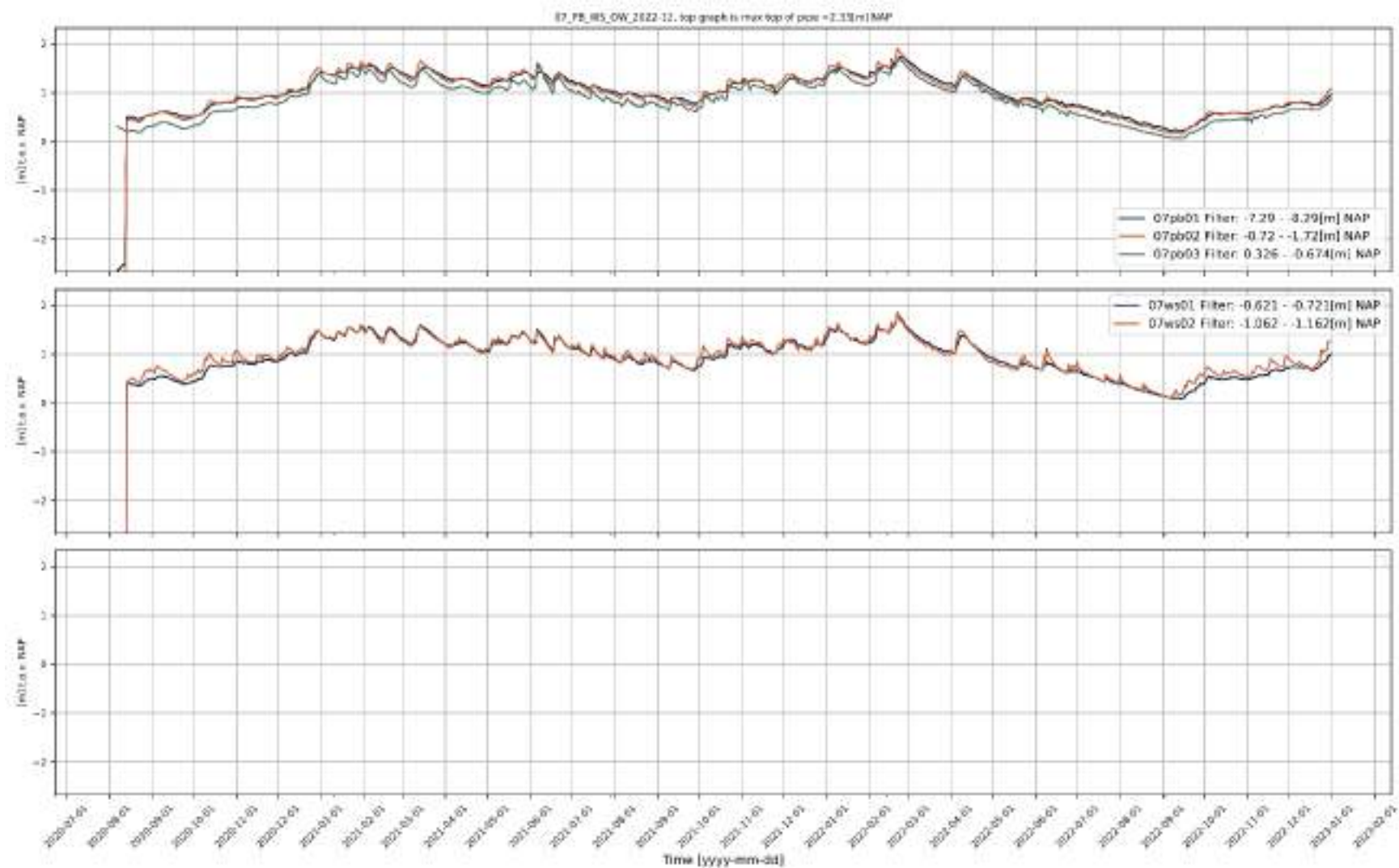
Figuur 9-18: Metingen van peilbuis-, waterspannings- en open water sensoren (PB-WS-OW) nabij object 05 in fase 1 en 2.

## B.6 Object 06



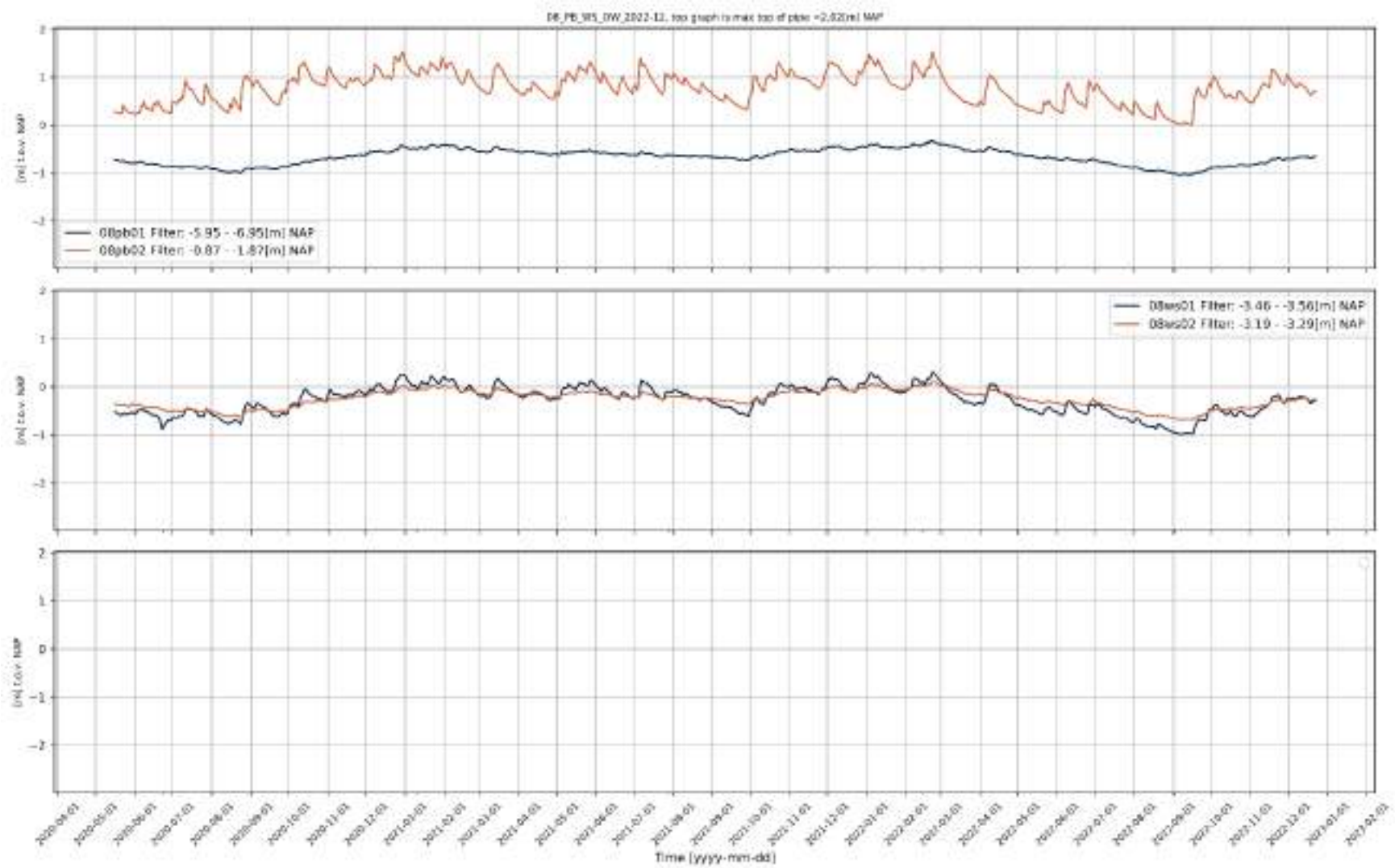
Figuur 9-19: Metingen van peilbuis-, waterspannings- en open water sensoren (PB-WS-OW) nabij object 06 in fase 1 en 2.

## B.7 Object 07



Figuur 9-20: Metingen van peilbuis-, waterspannings- en open water sensoren (PB-WS-OW) nabij object 07 in fase 1 en 2.

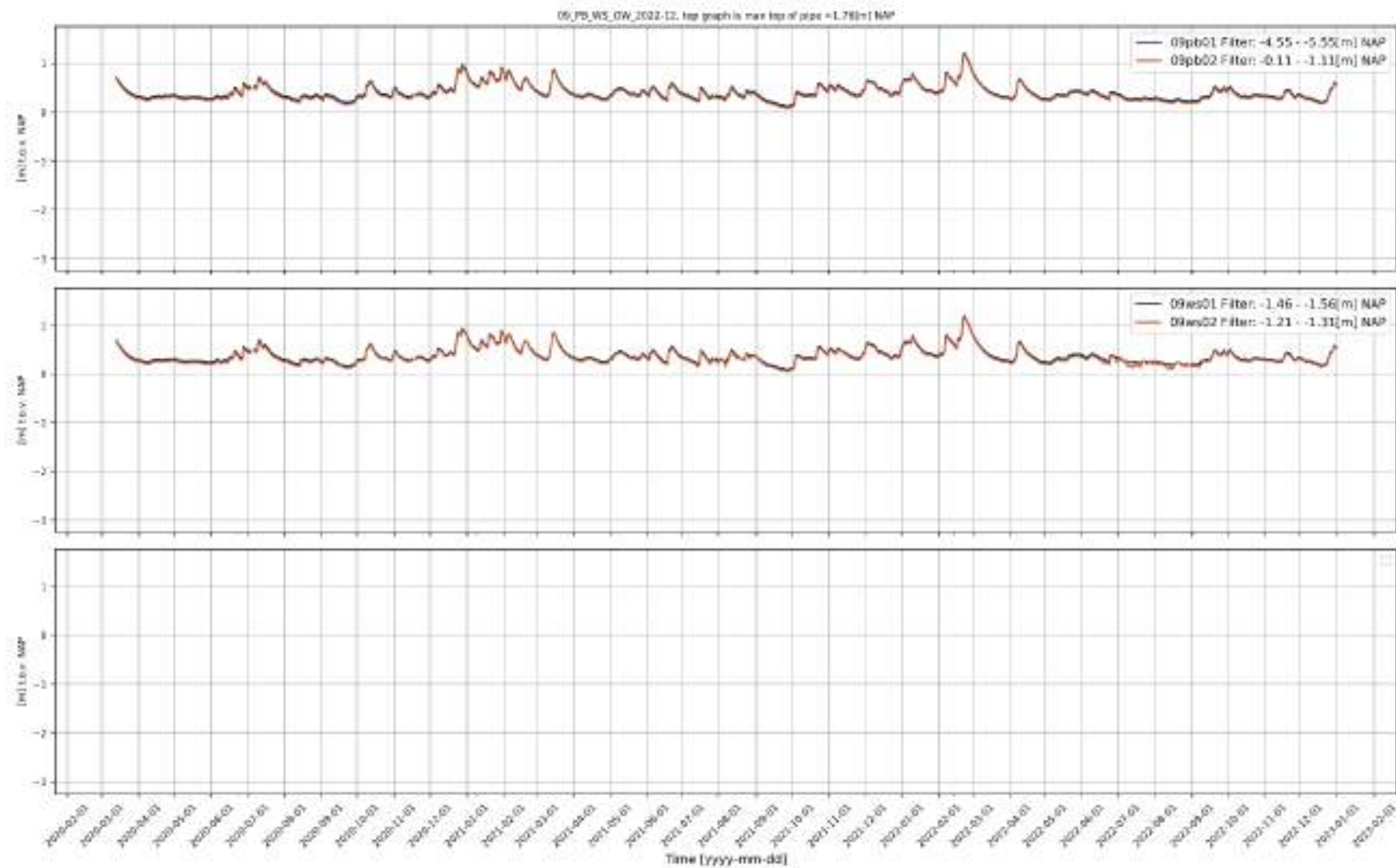
## B.8 Object 08



Figuur 9-21: Metingen van peilbuis-, waterspannings- en open water sensoren (PB-WS-OW) nabij object 08 in fase 1 en 2.

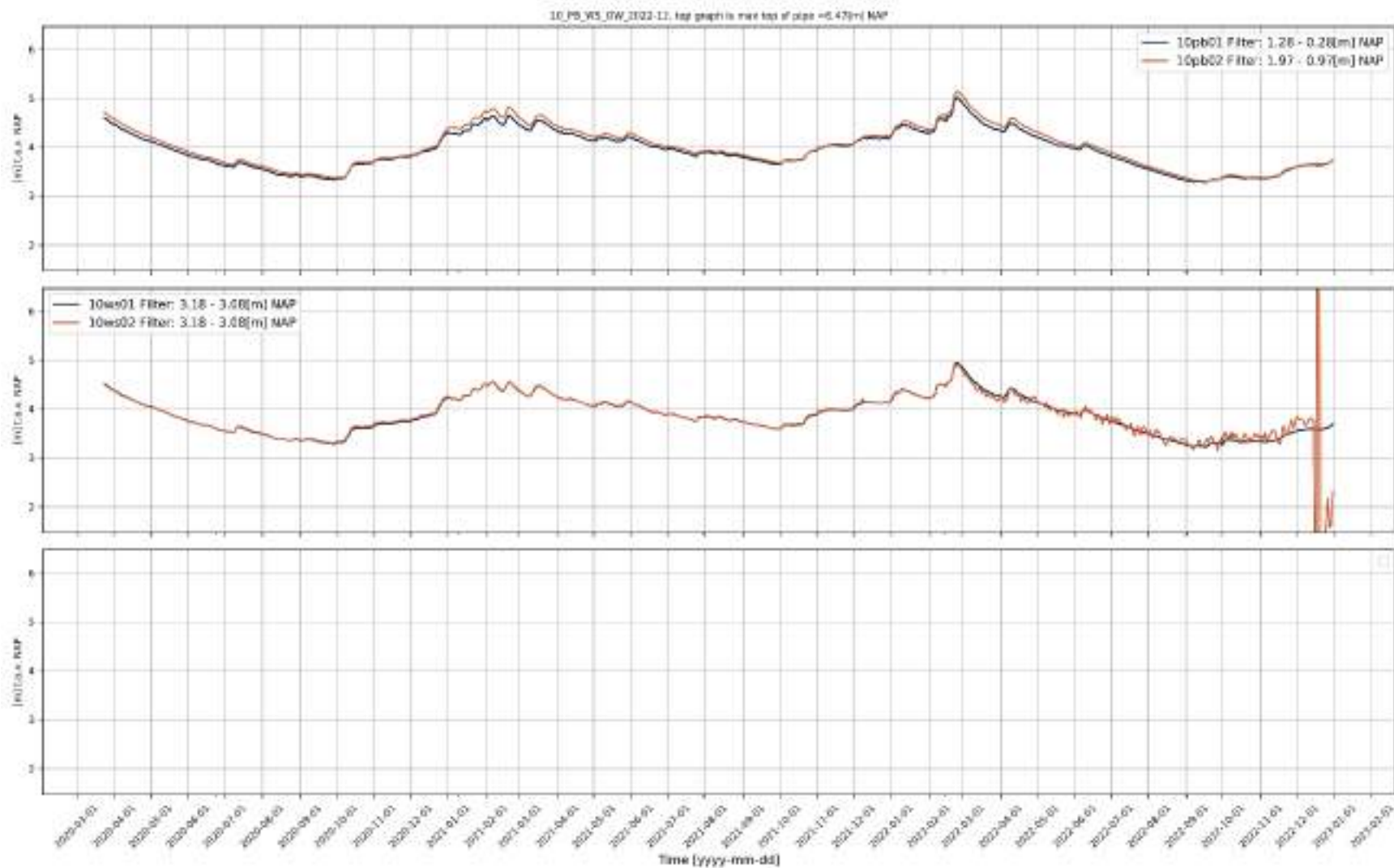


## B.9 Object 09



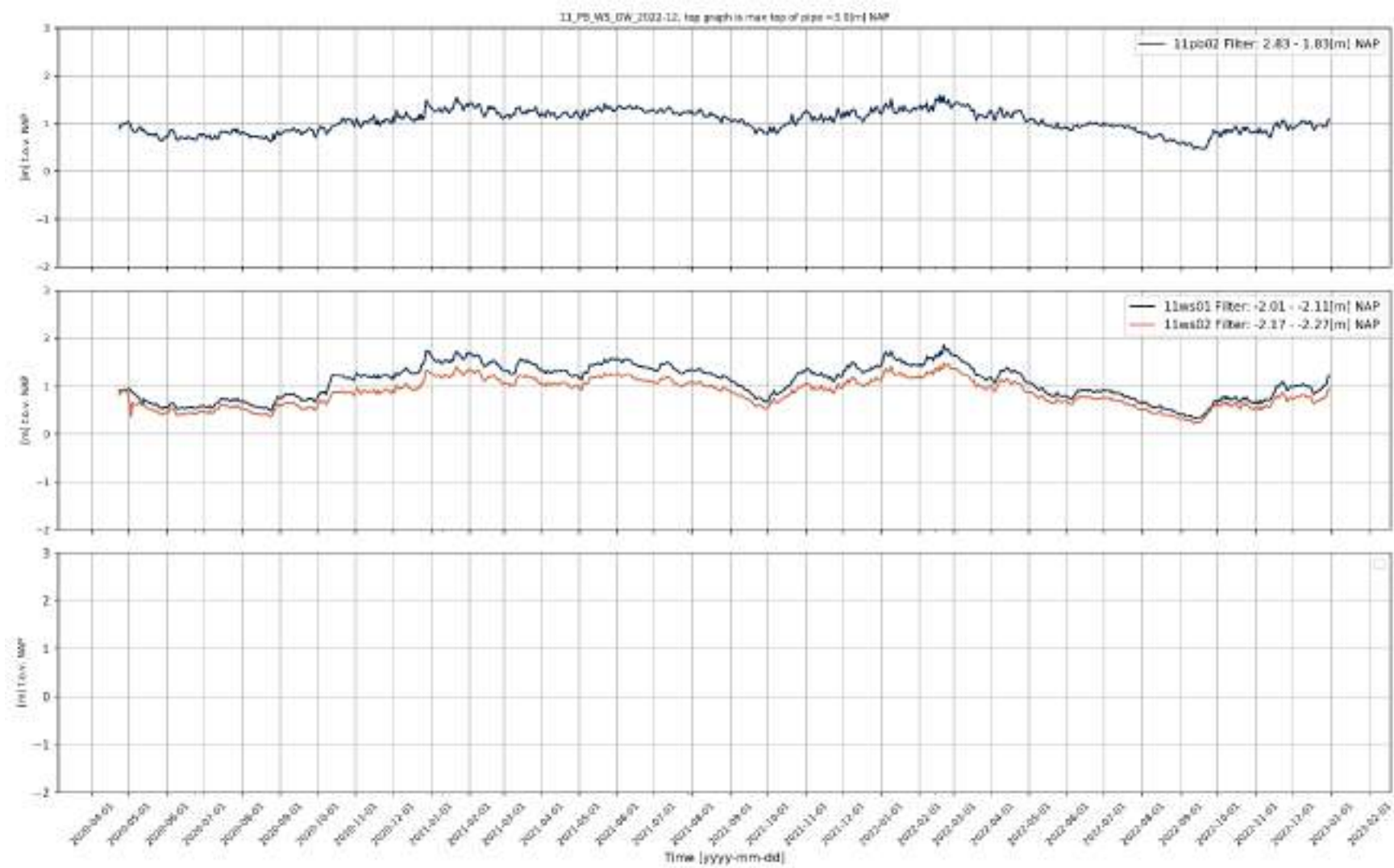
Figuur 9-22: Metingen van peilbuis-, waterspannings- en open water sensoren (PB-WS-OW) nabij object 09 in fase 1 en 2.

## B.10 Object 10



Figuur 9-23: Metingen van peilbuis-, waterspannings- en open water sensoren (PB-WS-OW) nabij object 10 in fase 1 en 2.

## B.11 Object 11



Figuur 9-24: Metingen van peilbuis-, waterspannings- en open water sensoren (PB-WS-OW) nabij object 11 in fase 1 en 2.

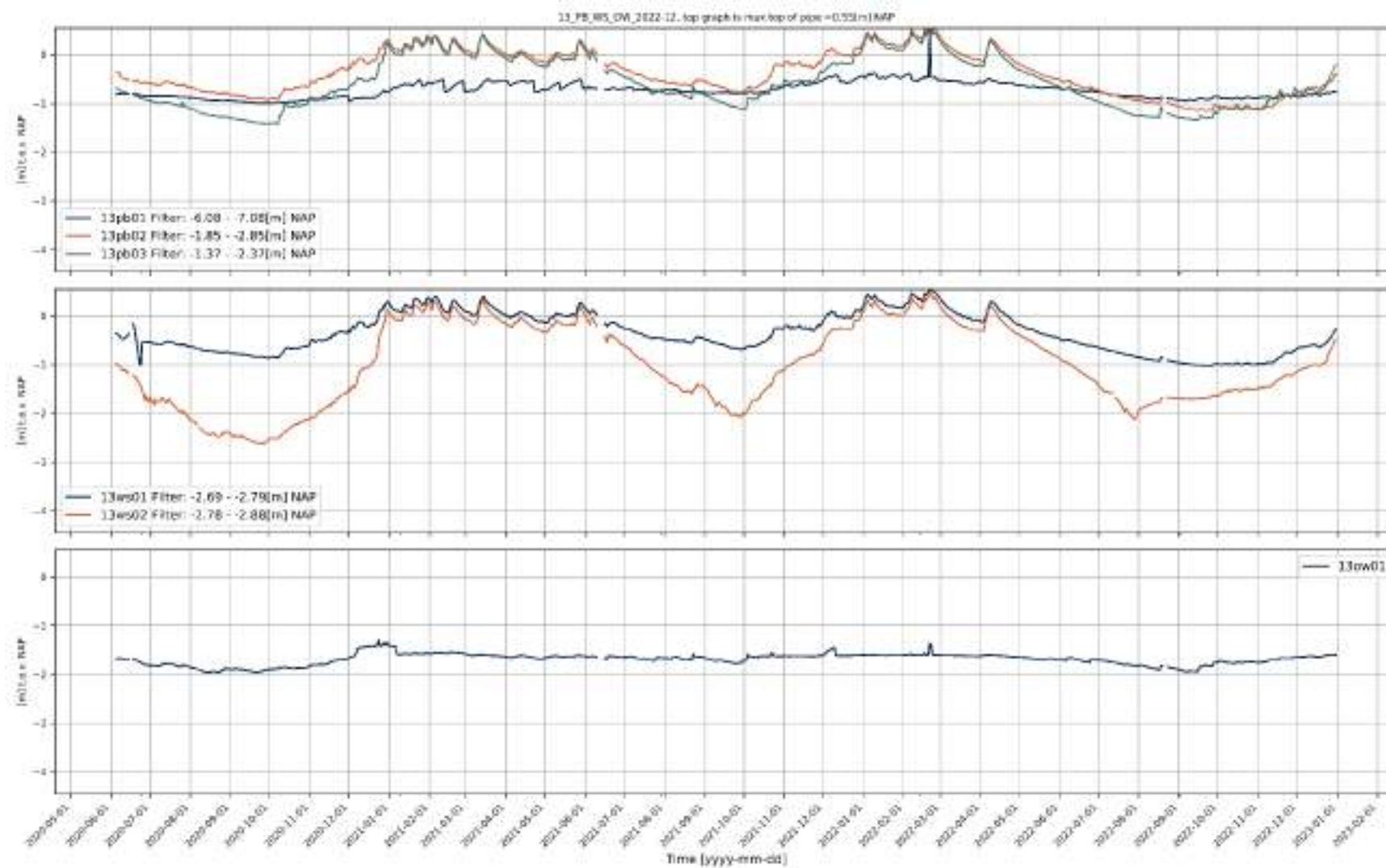


## B.12 Object 12



Figuur 9-25: Metingen van peilbuis-, waterspannings- en open water sensoren (PB-WS-OW) nabij object 12 in fase 1 en 2.

## B.13 Object 13

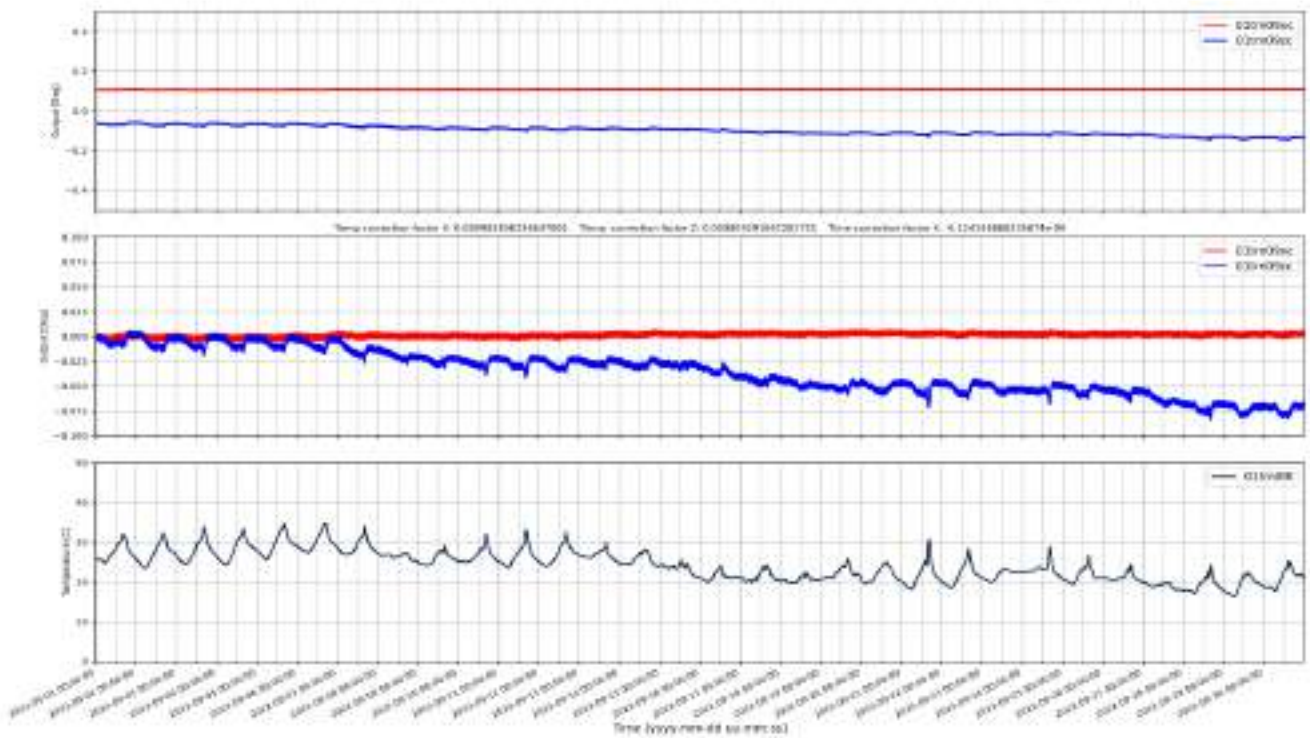


Figuur 9-26: Metingen van peilbuis-, waterspannings- en open water sensoren (PB-WS-OW) nabij object 13 in fase 1 en 2.

# Appendix C

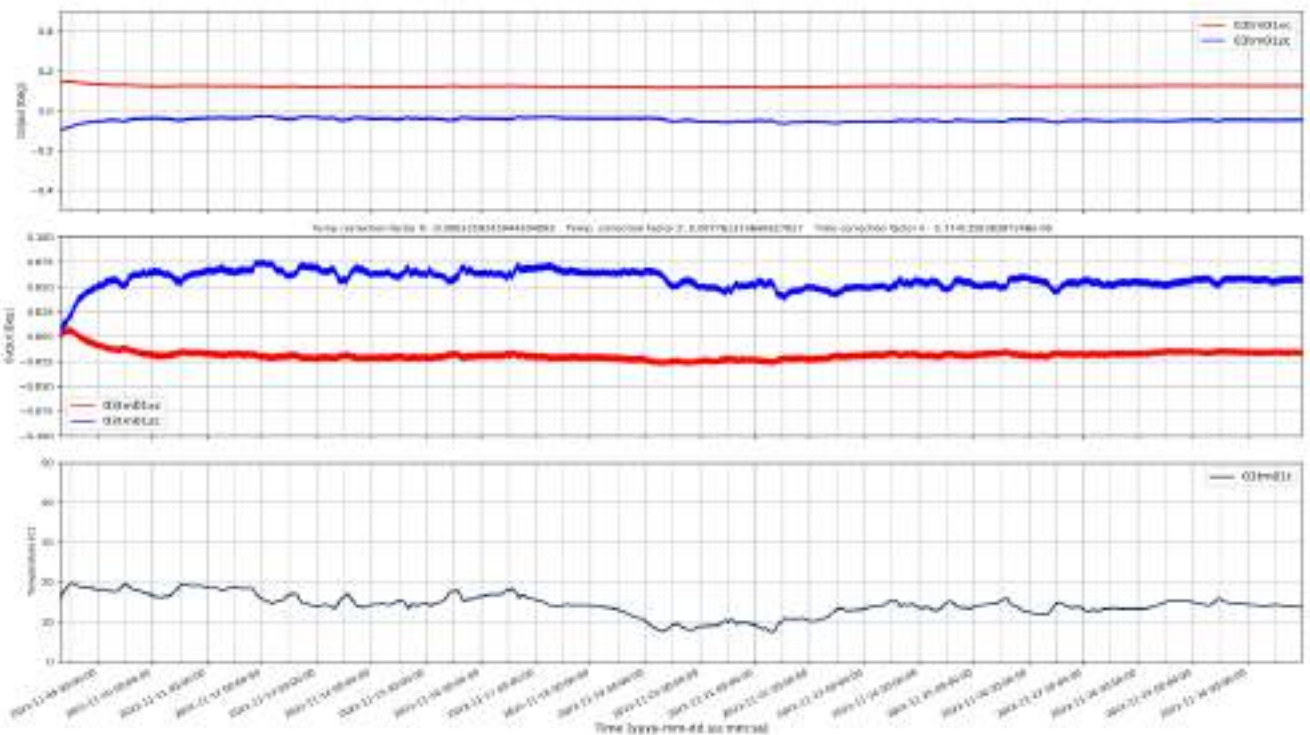
Grootste afwijkende  
meetbeelden

## C.1 2022-09 01TM09



Figuur 9.1: Gecorrigeerde tilt voor sensor 01TM09 in september 2022.

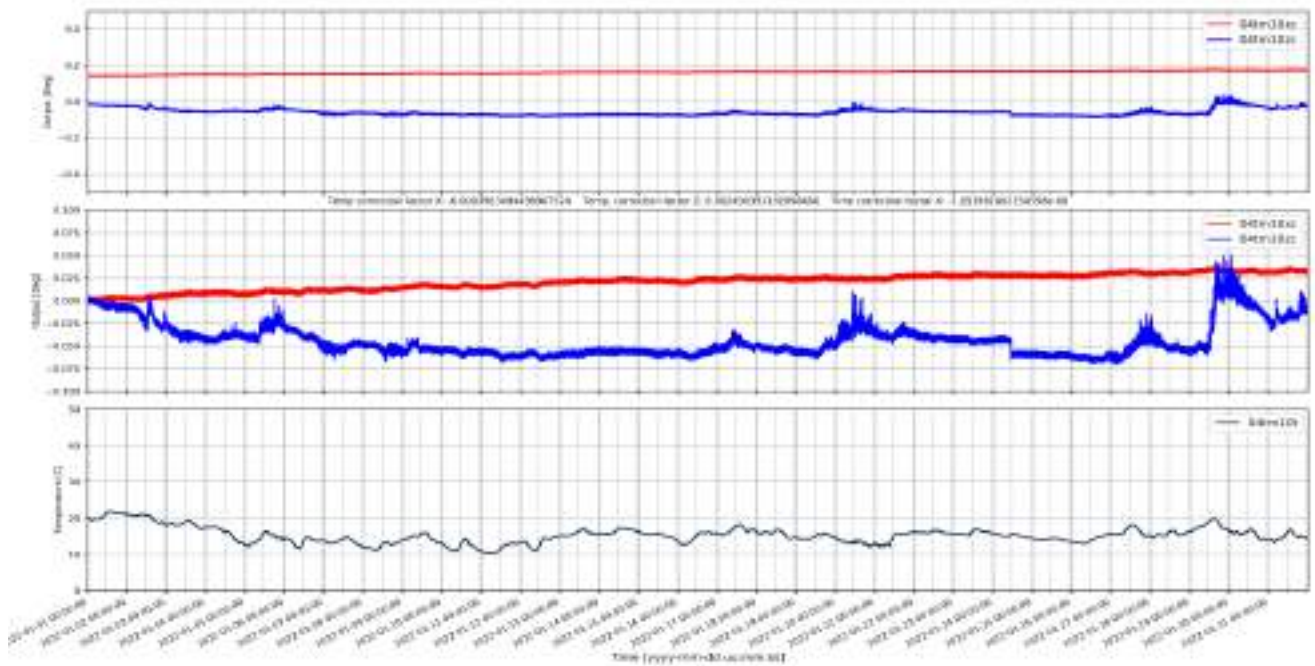
## C.2 2022-11 03TM01



Figuur 9.2: Gecorrigeerde tilt voor sensor 03TM01 in november 2022.



### C.3 2022-01 04TM10



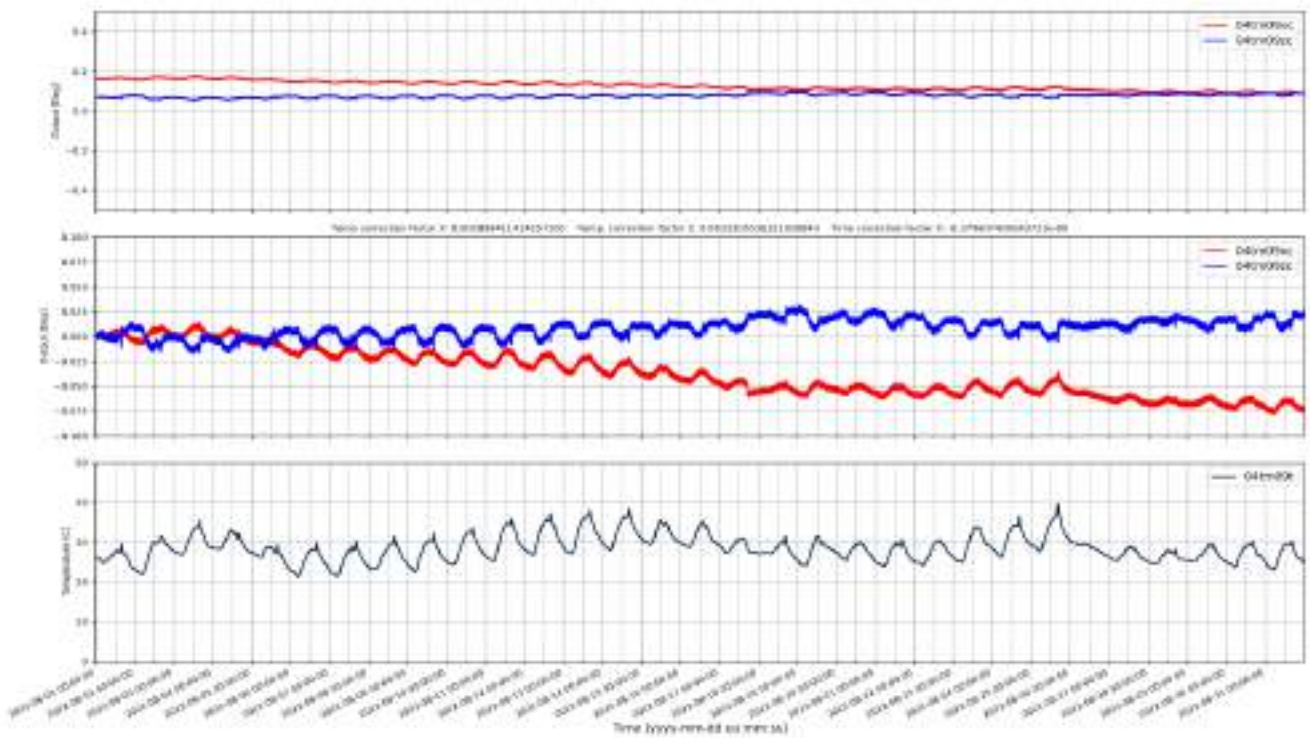
Figuur 9.3: Gecorrigeerde tilt voor sensor 04TM10 in januari 2022.

### C.4 2022-02 04TM10



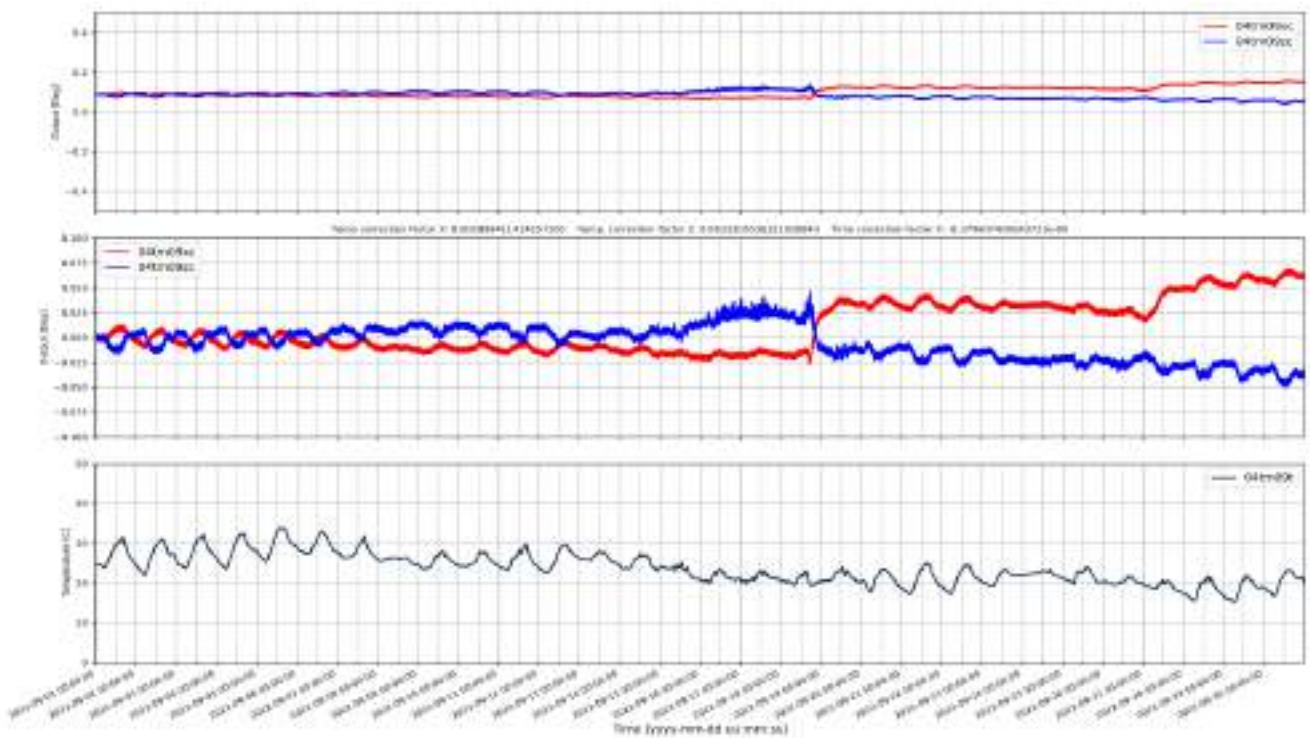
Figuur 9.4: Gecorrigeerde tilt voor sensor 04TM10 in februari 2022.

## C.5 2022-08 04TM09



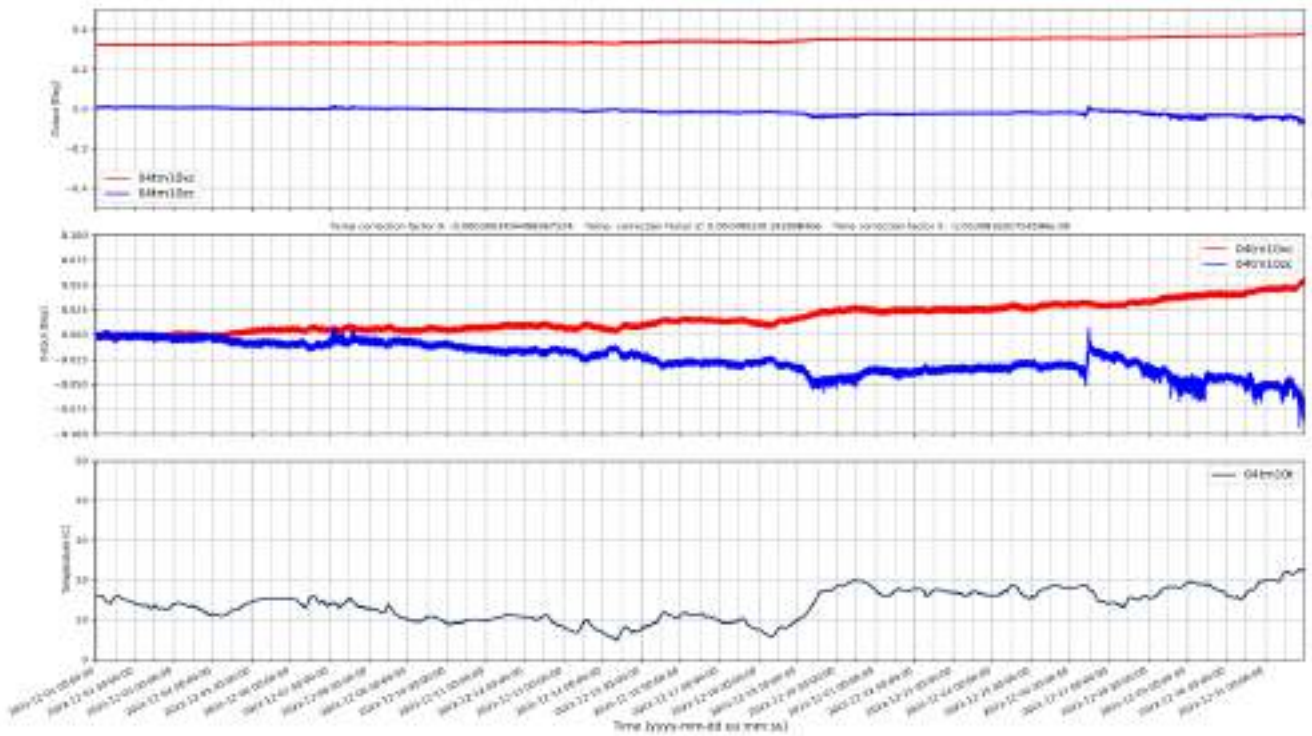
Figuur 9.5: Gecorrigeerde tilt voor sensor 04TM09 in augustus 2022.

## C.6 2022-09 04TM09



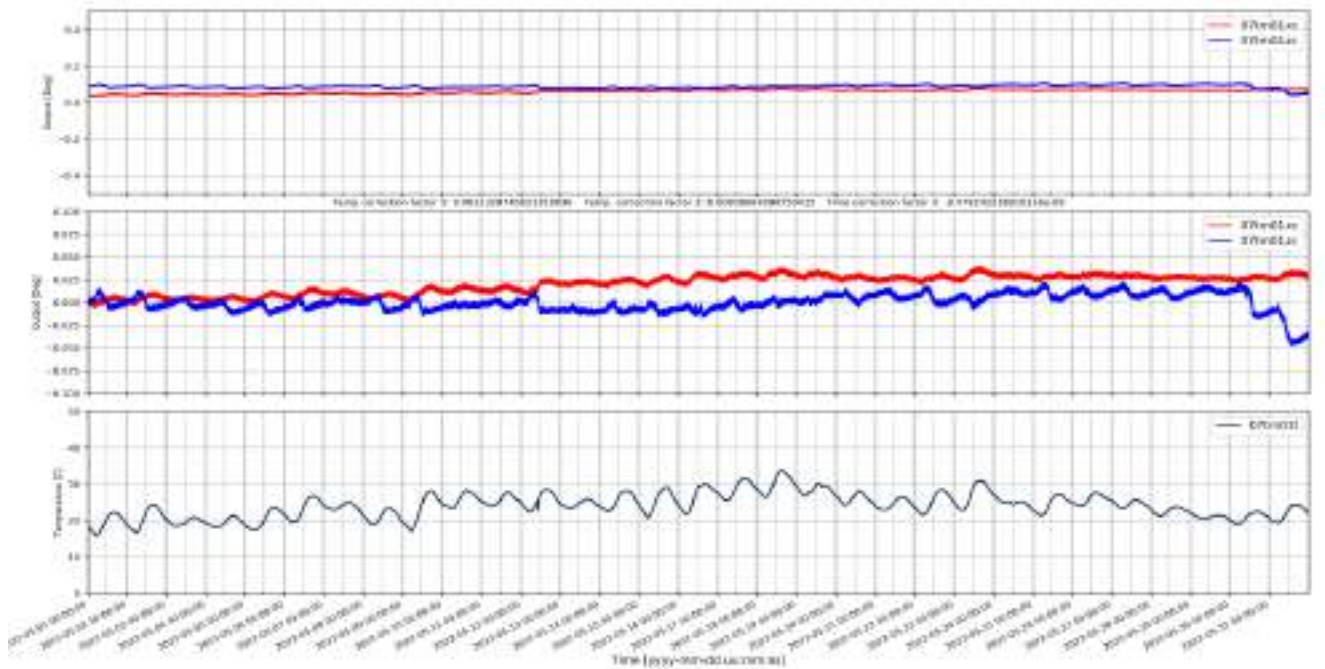
Figuur 9.6: Gecorrigeerde tilt voor sensor 04TM09 in september 2022.

### C.7 2022-12 04TM10



Figuur 9.7: Gecorrigeerde tilt voor sensor 04TM10 in december 2022.

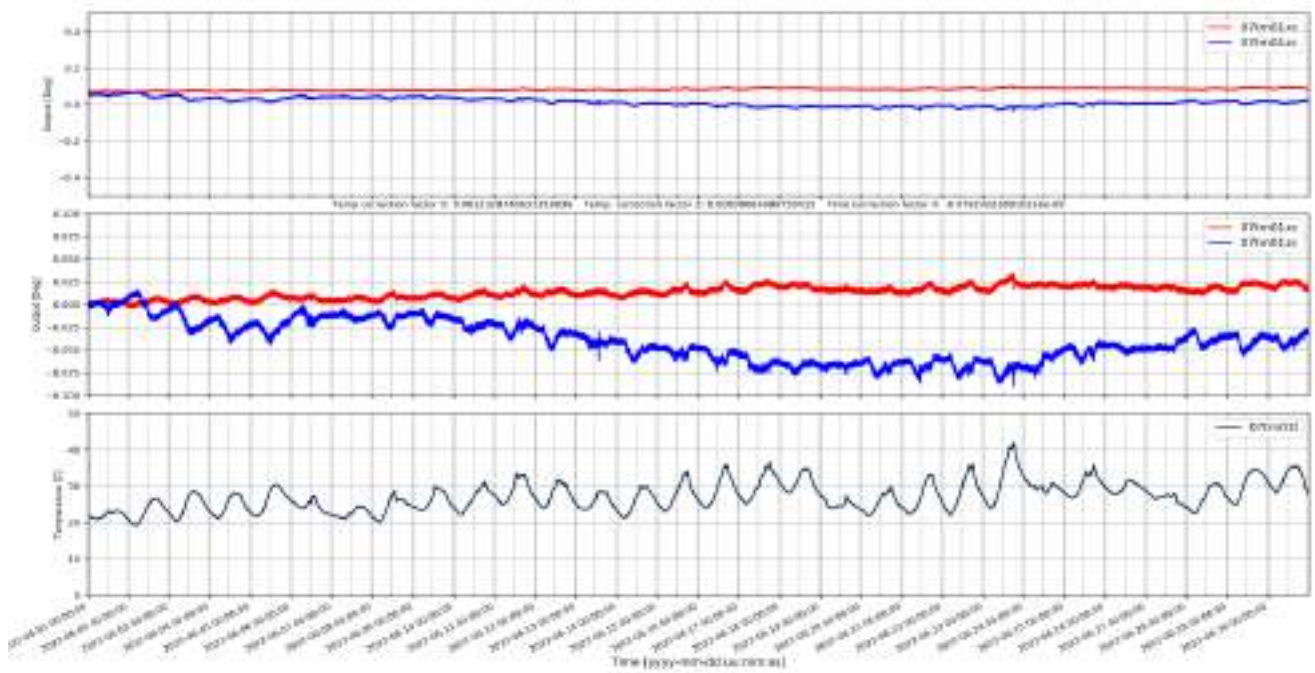
### C.8 2022-05 07TM01



Figuur 9.8: Gecorrigeerde tilt voor sensor 07TM01 in mei 2022.

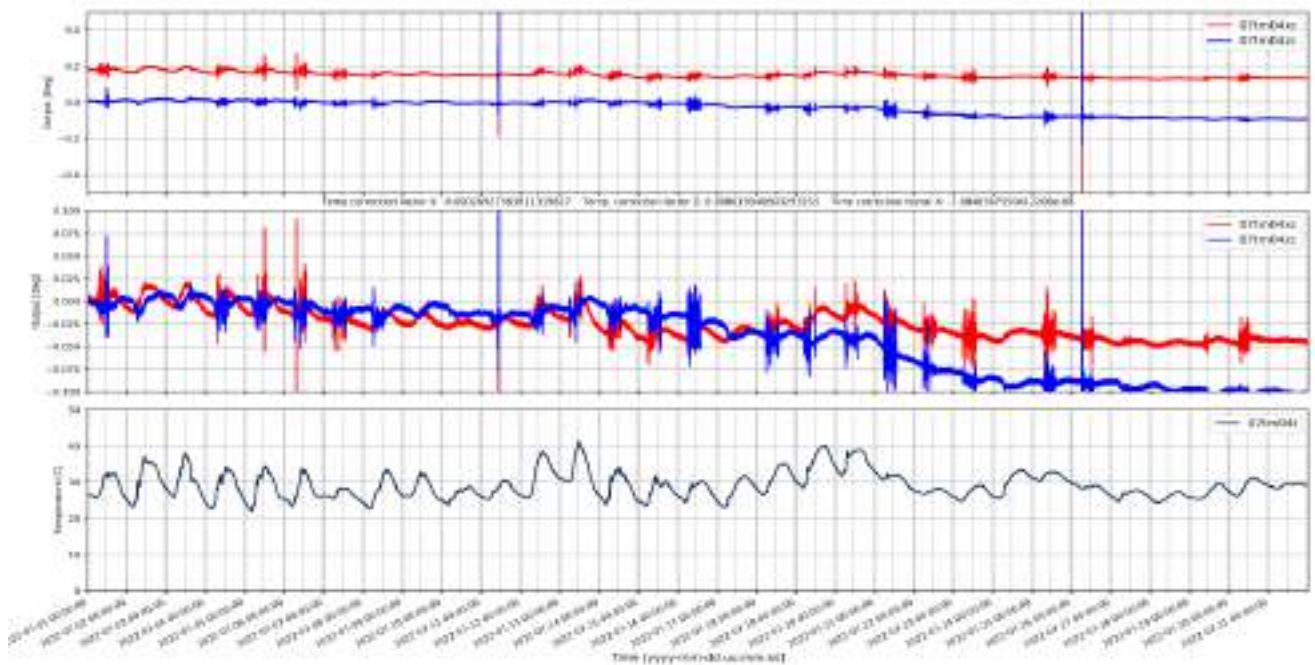


### C.9 2022-06 07TM01



Figuur 9.9: Gecorrigeerde tilt voor sensor 07TM01 in juni 2022.

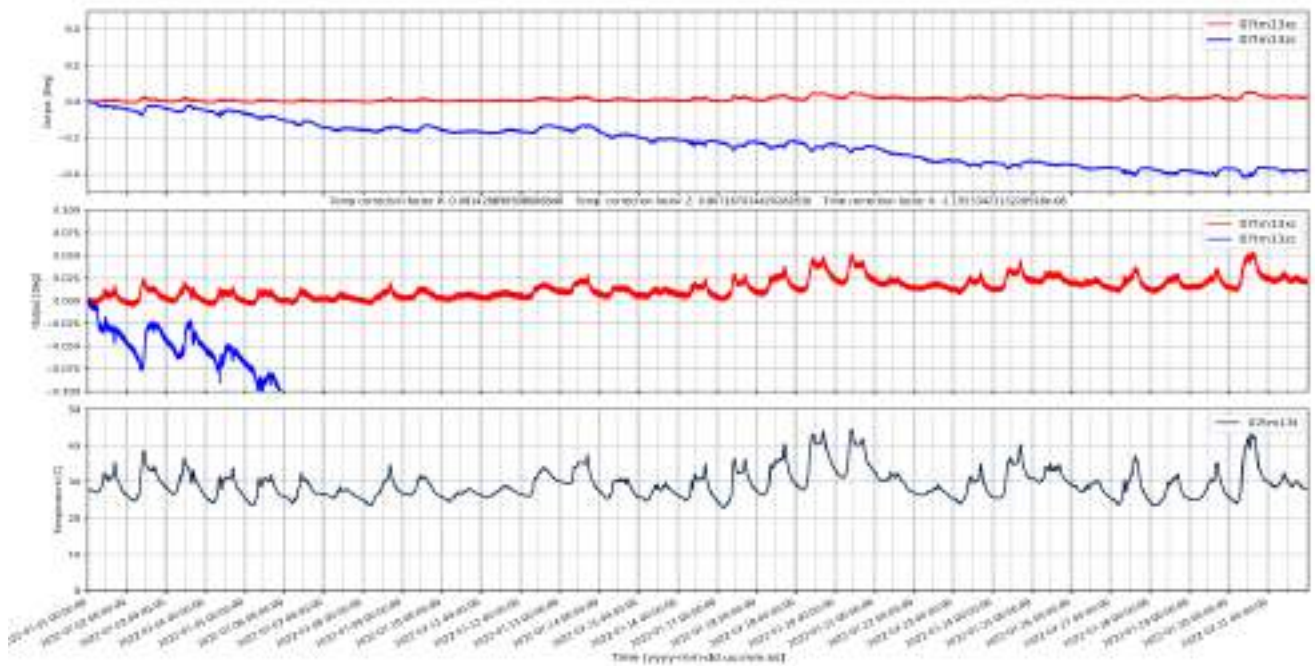
### C.10 2022-07 07TM04



Figuur 9.10: Gecorrigeerde tilt voor sensor 07TM04 in juli 2022.

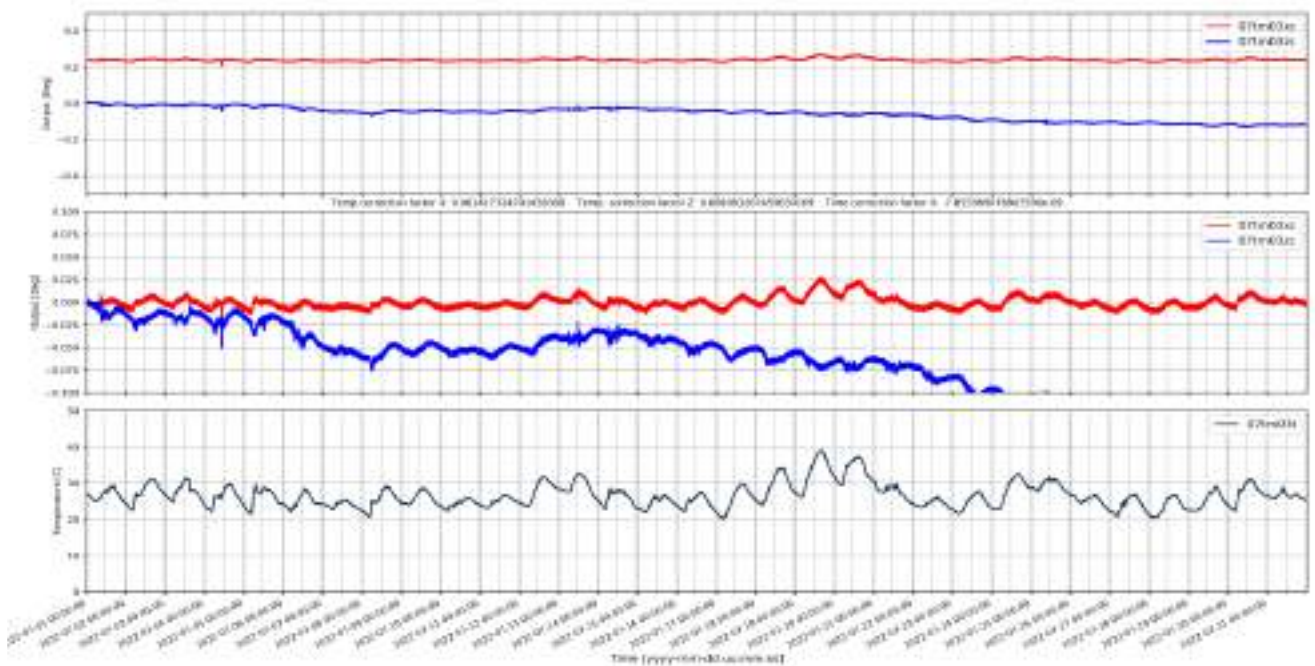


### C.11 2022-07 07TM13



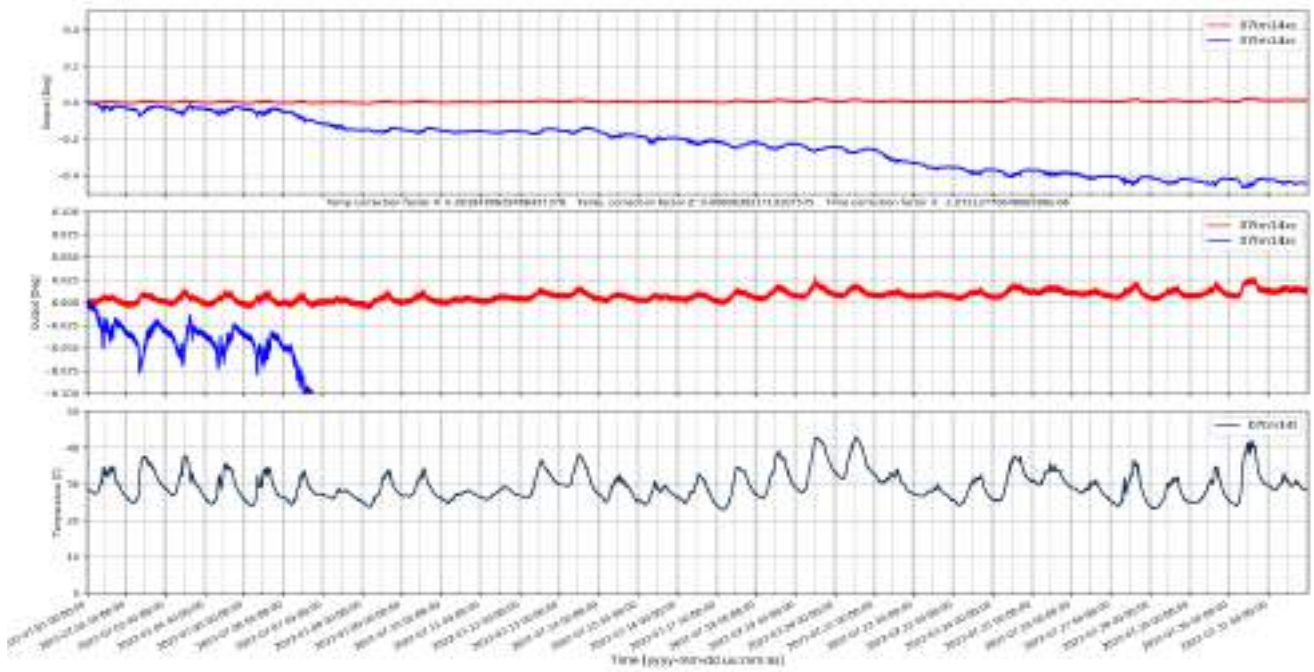
Figuur 9.11: Gecorrigeerde tilt voor sensor 07TM13 in juli 2022.

### C.12 2022-07 07TM03



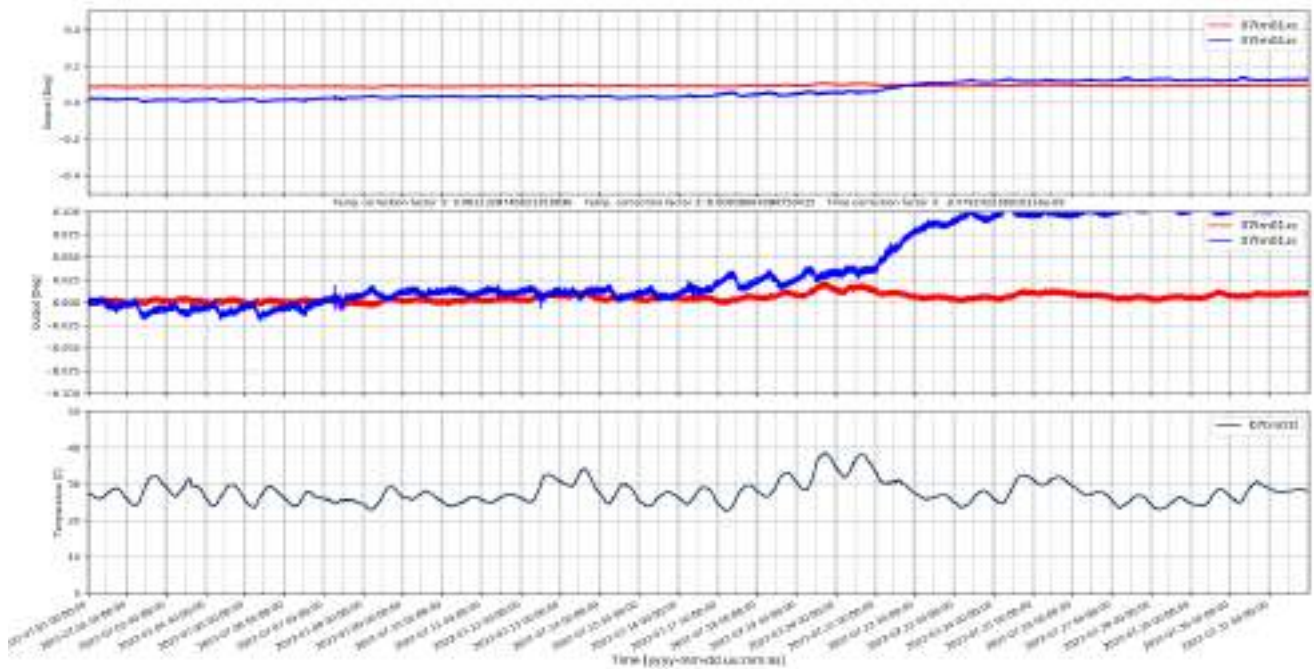
Figuur 9.12: Gecorrigeerde tilt voor sensor 07TM03 in juli 2022.

### C.13 2022-07 07TM14



Figuur 9.13: Gecorrigeerde tilt voor sensor 07TM14 in juli 2022

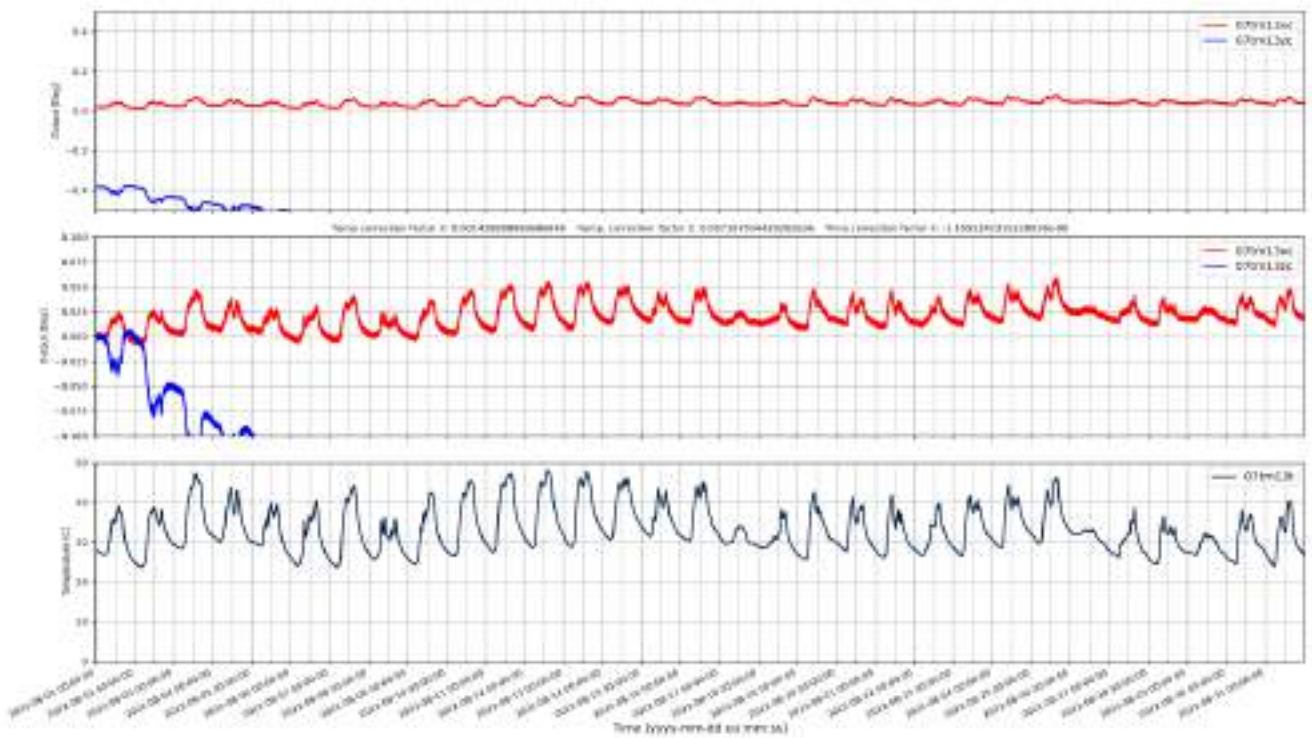
### C.14 2022-07 07TM01



Figuur 9.14: Gecorrigeerde tilt voor sensor 07TM01 in juli 2022.

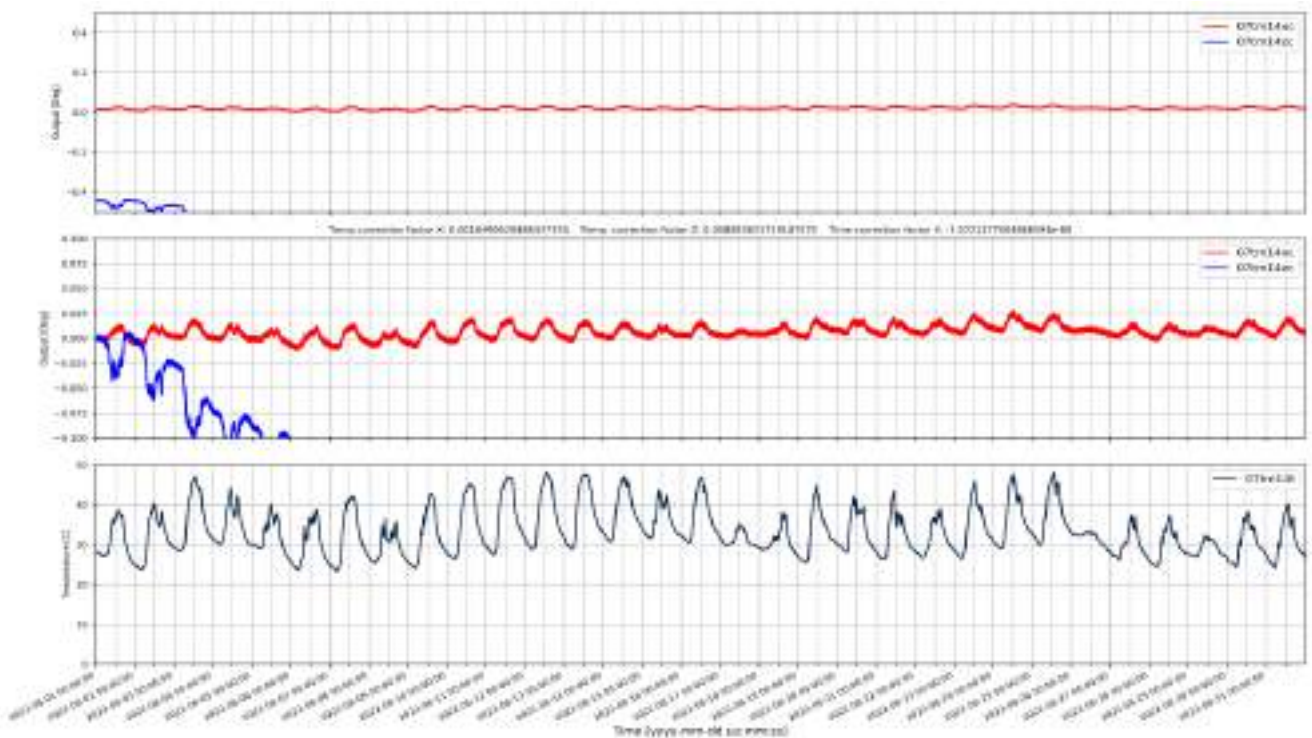


### C.15 2022-08 07TM13



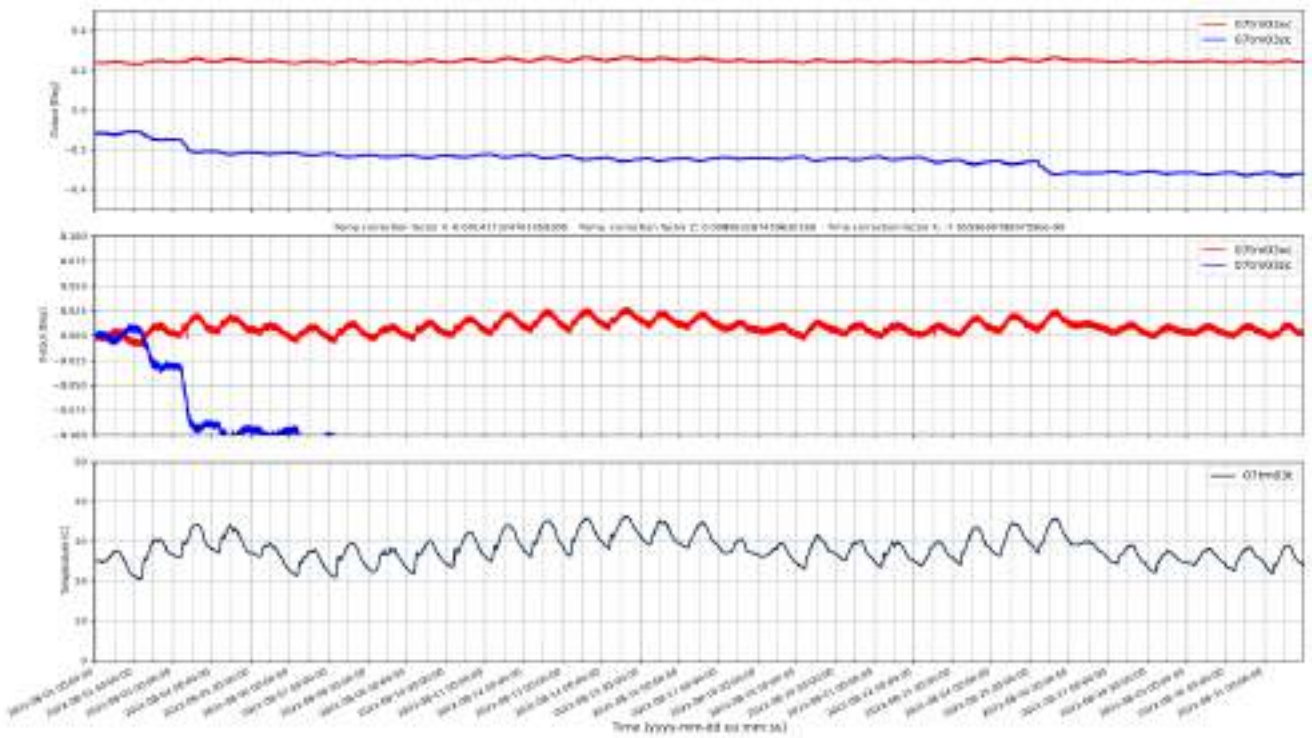
Figuur 9.15: Gecorrigeerde tilt voor sensor 07TM13 in augustus 2022.

### C.16 2022-08 07TM14



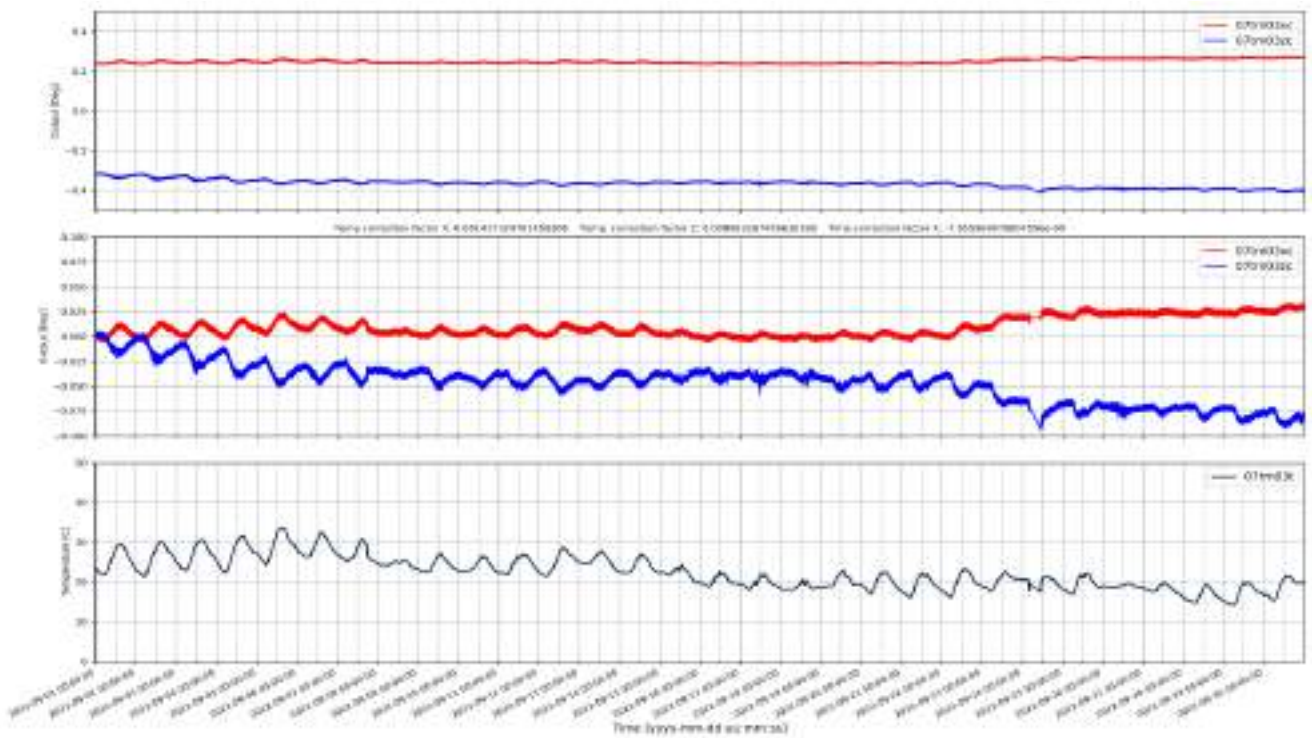
Figuur 9.16: Gecorrigeerde tilt voor sensor 07TM14 in augustus 2022.

C.17 2022-08 07TM03



Figuur 9.17: Gecorrigeerde tilt voor sensor 07TM03 in augustus 2022.

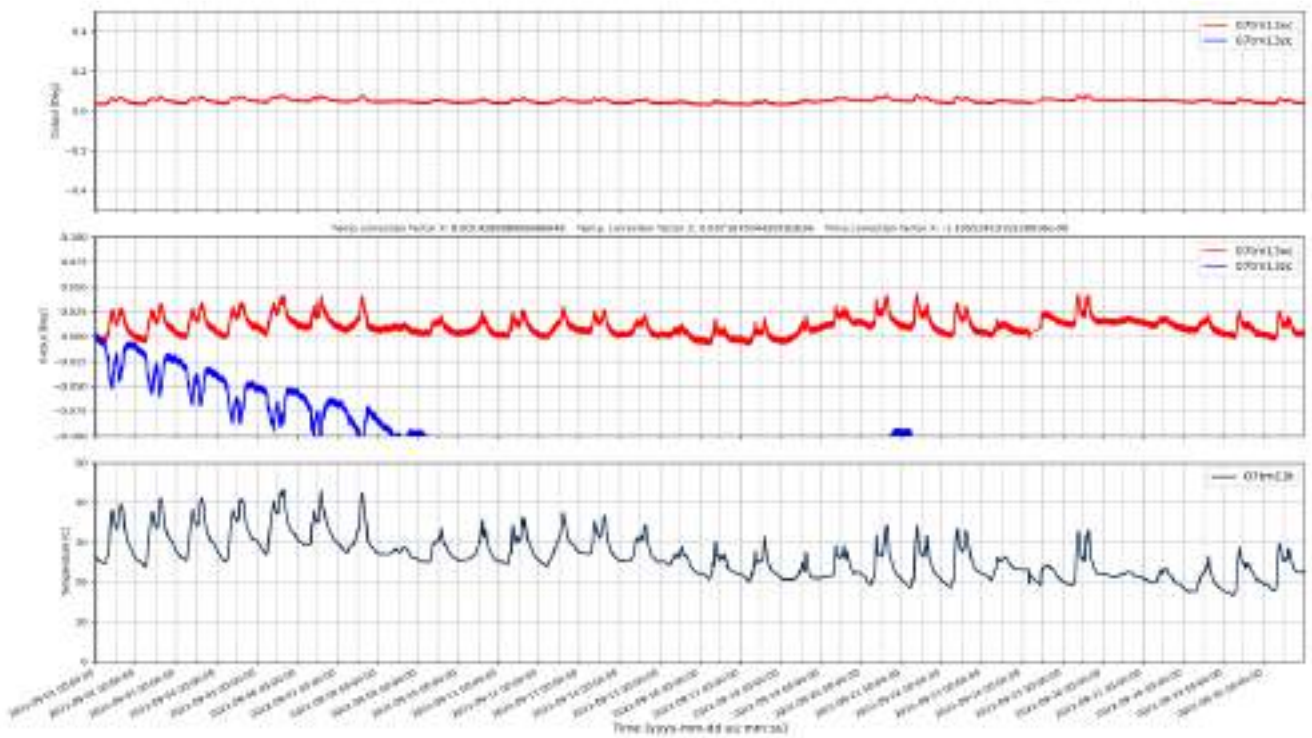
C.18 2022-09 07TM03



Figuur 9.18: Gecorrigeerde tilt voor sensor 07TM03 in september 2022.

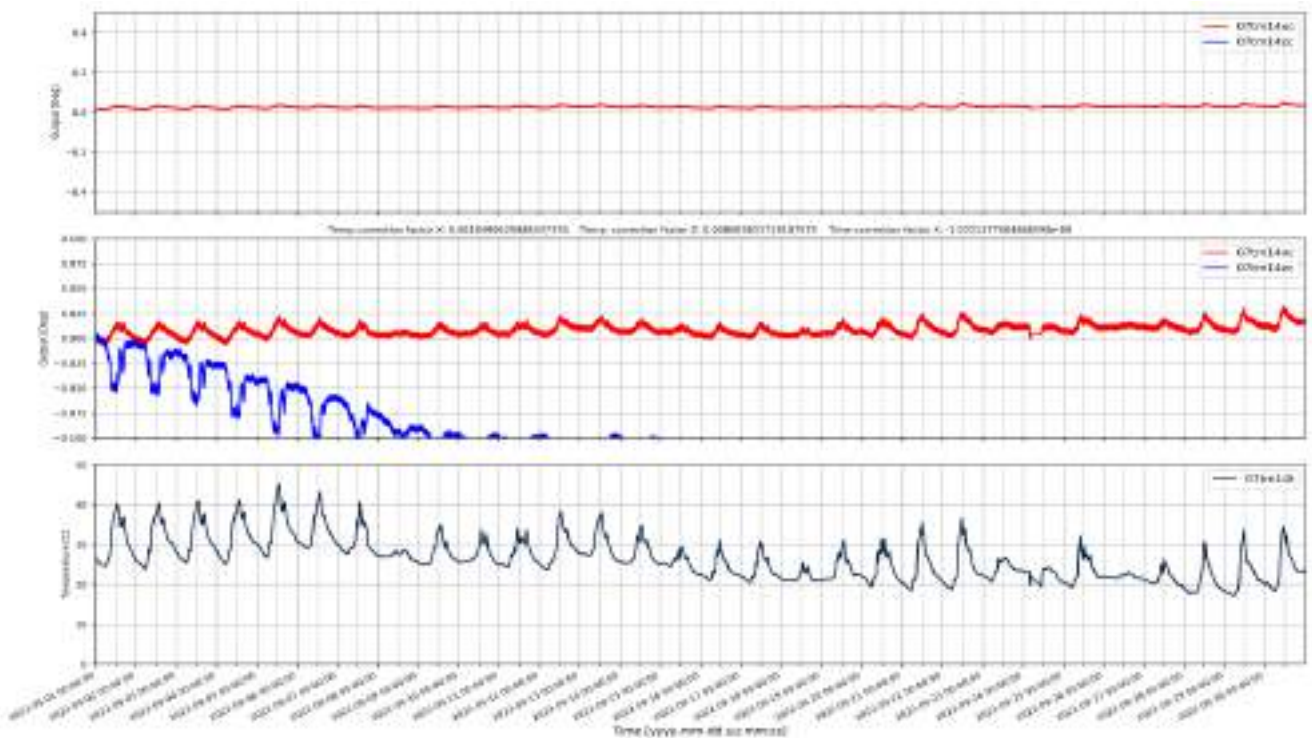


### C.19 2022-09 07TM13



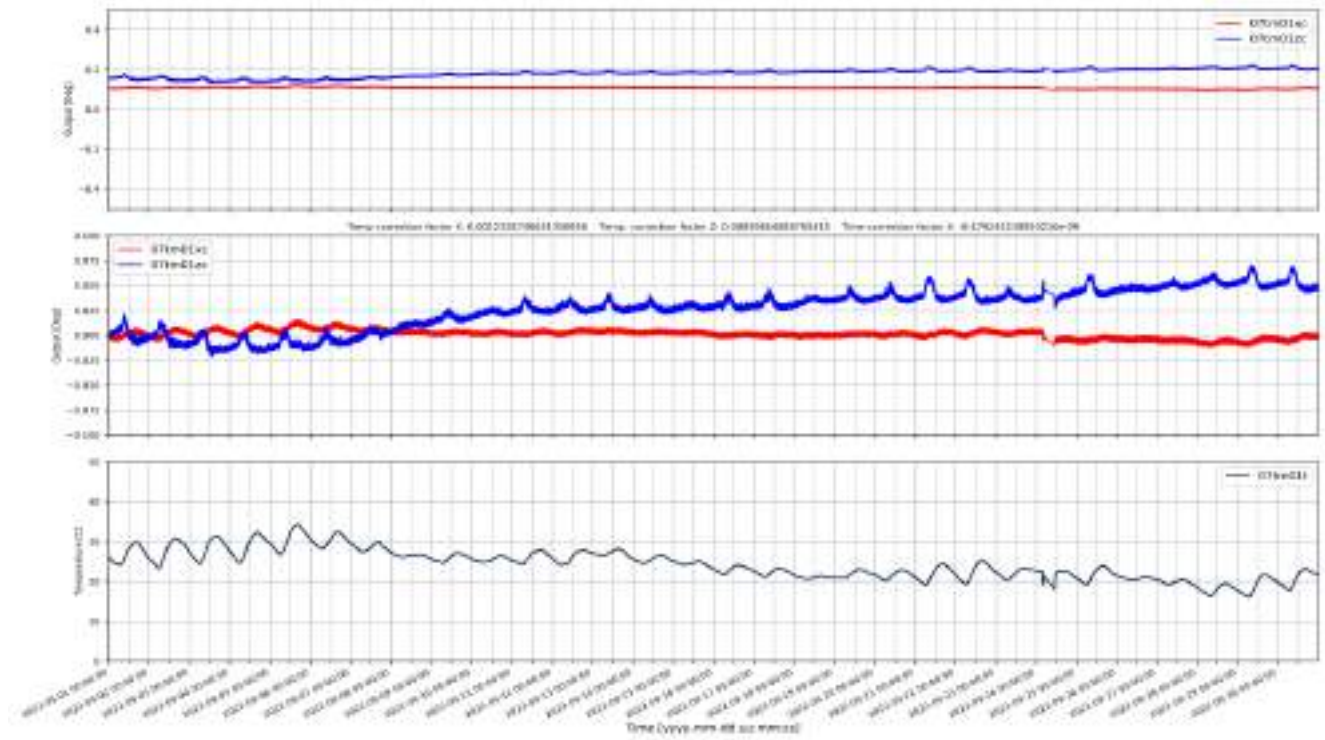
Figuur 9.19: Gecorrigeerde tilt voor sensor 07TM13 in september 2022.

### C.20 2022-09 07TM14



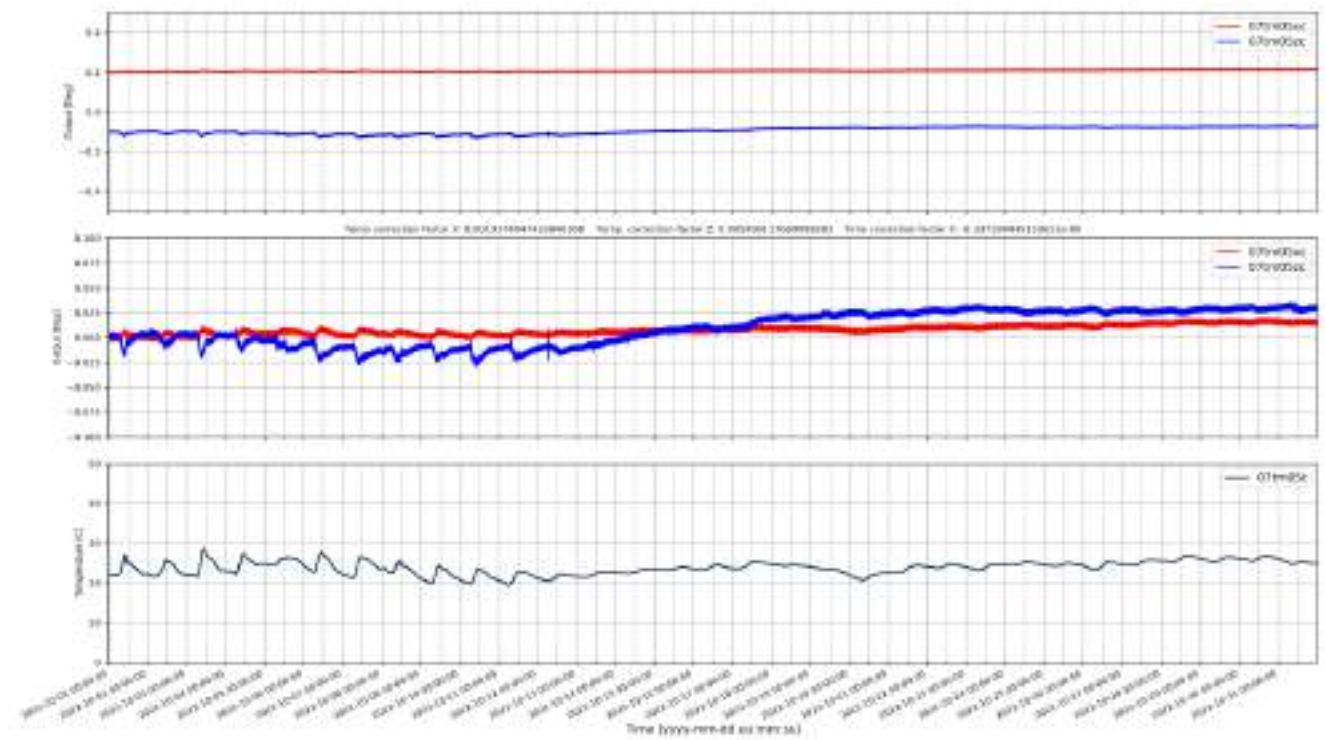
Figuur 9.20: Gecorrigeerde tilt voor sensor 07TM14 in september 2022.

C.21 2022-09 07TM01



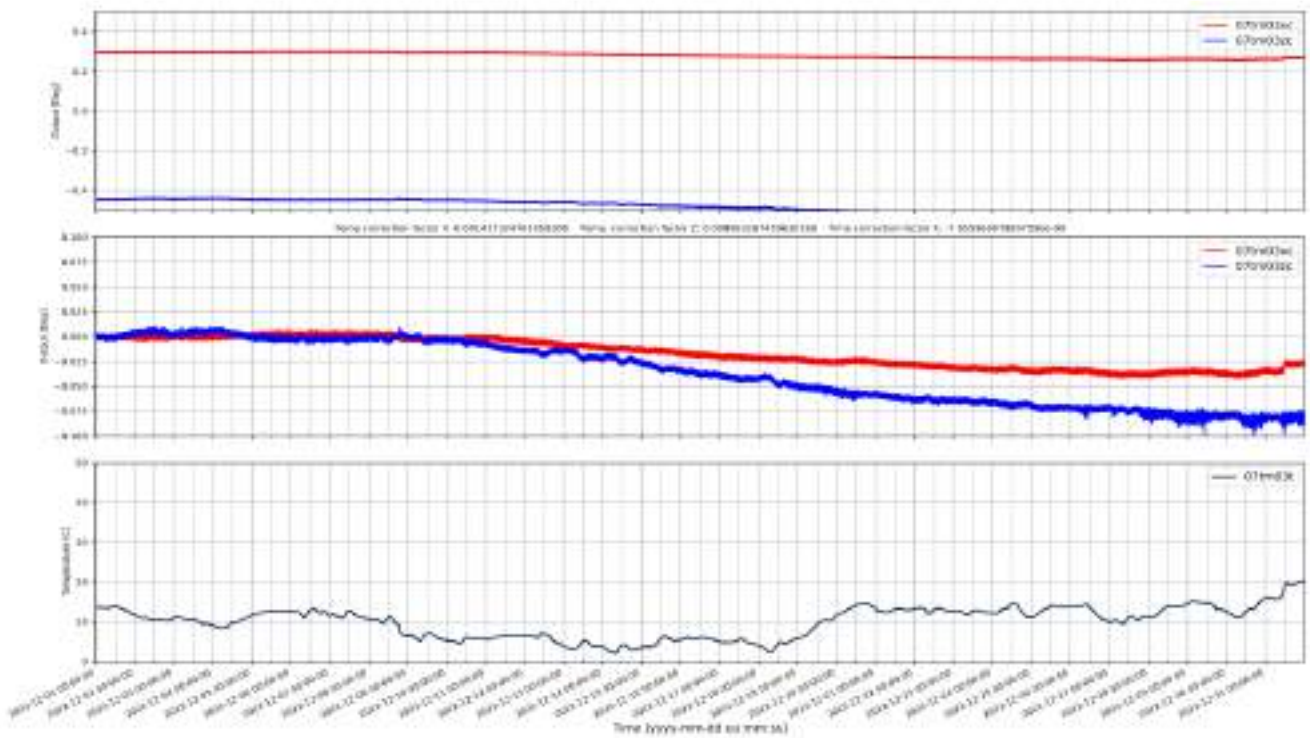
Figuur 9.21: Gecorrigeerde tilt voor sensor 07TM01 in september 2022.

C.22 2022-10 07TM05



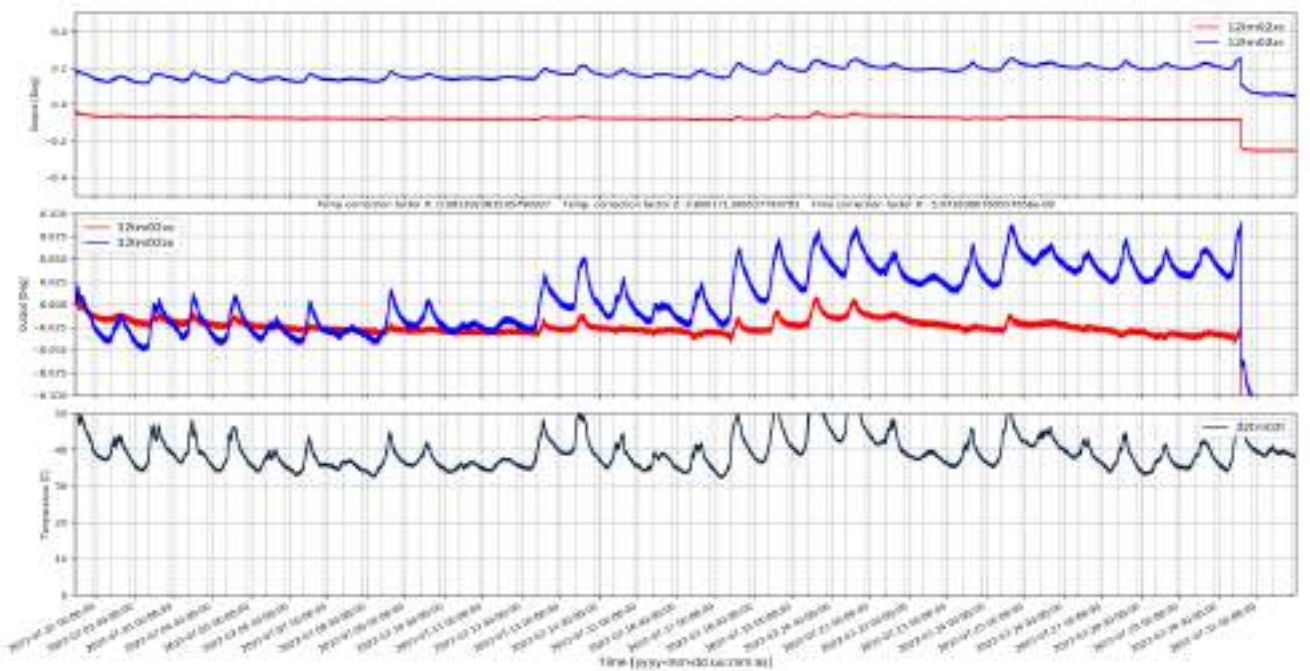
Figuur 9.22: Gecorrigeerde tilt voor sensor 07TM05 in oktober 2022.

### C.23 2022-12 07TM03



Figuur 9.23: Gecorrigeerde tilt voor sensor 07TM03 in december 2022.

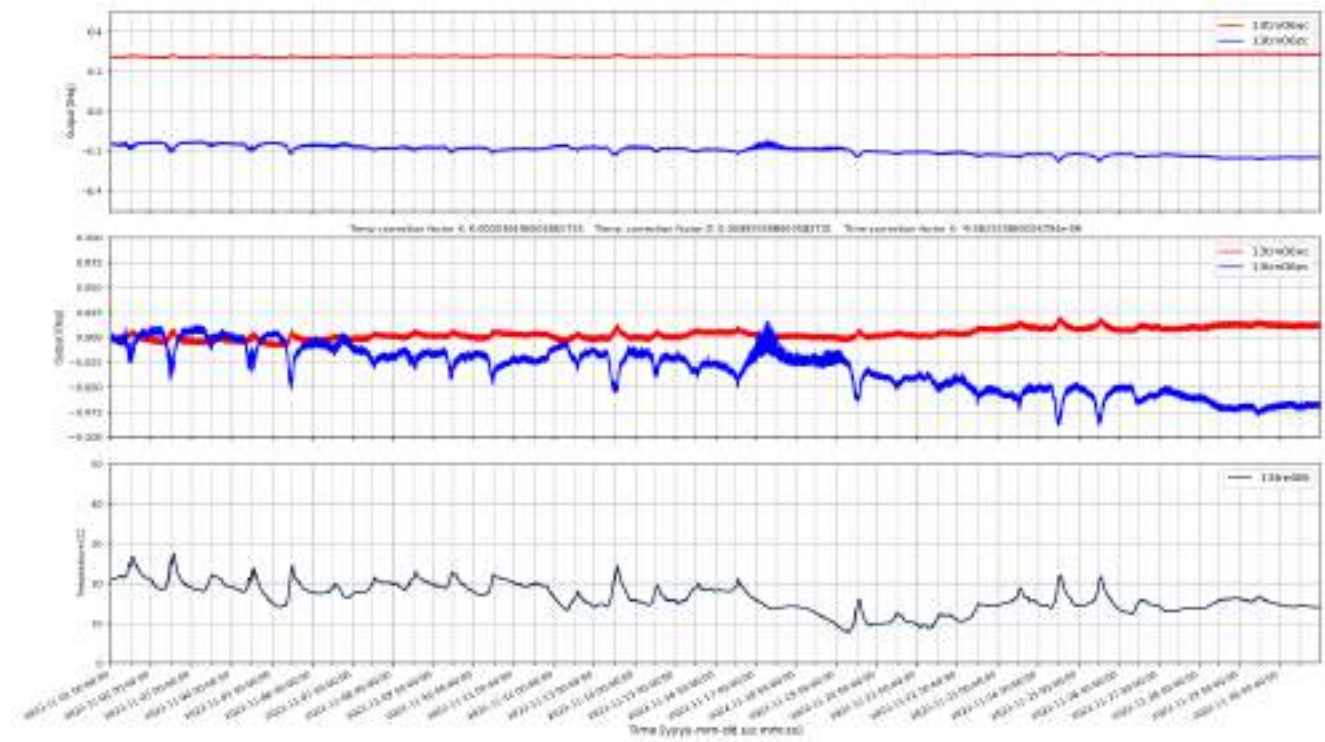
### C.24 2022-07 12TM02



Figuur 9.24: Gecorrigeerde tilt voor sensor 12TM02 in juli 2022.



## C.25 2022-11 13TM06



Figuur 9.25: Gecorrigeerde tilt voor sensor 13TM06 in november 2022.



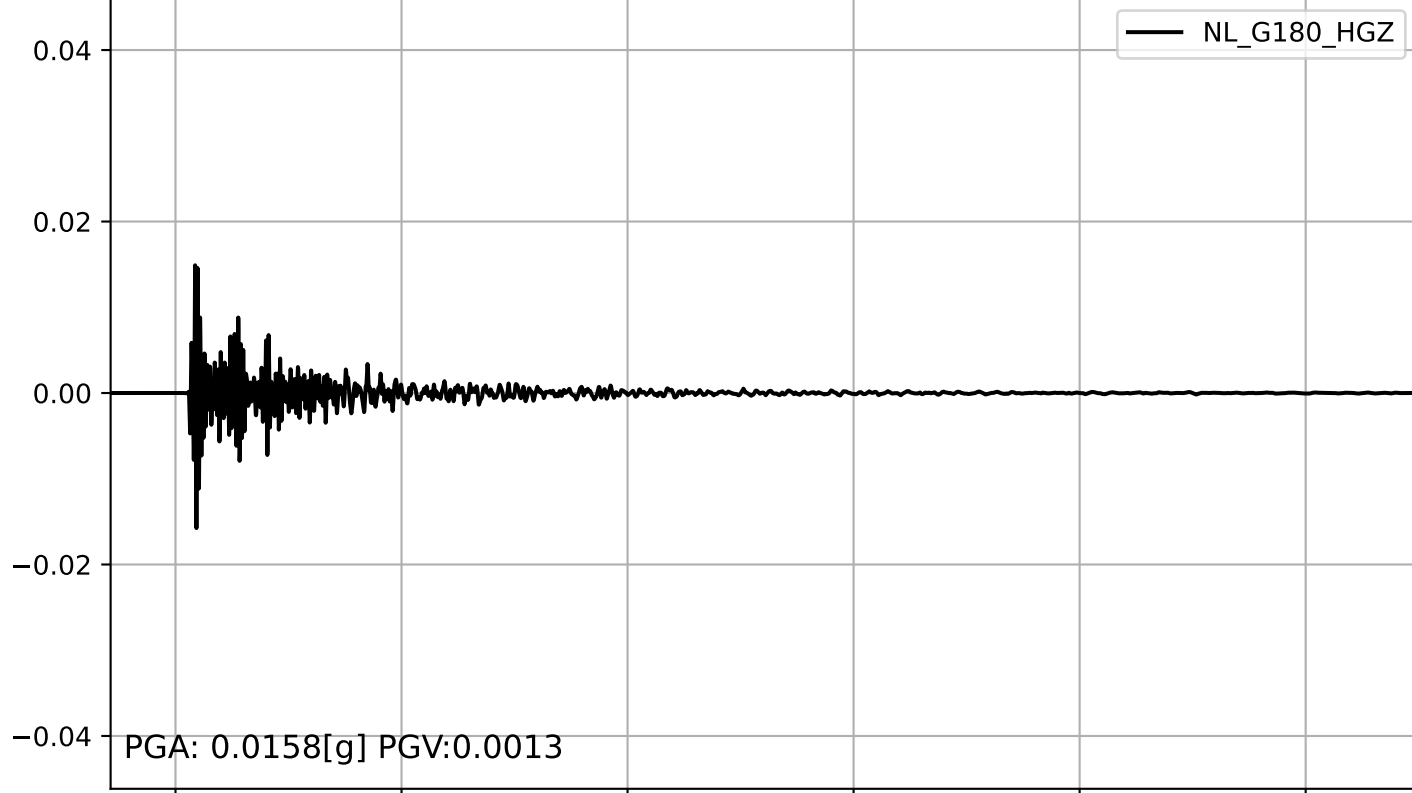
# Appendix D

Versnellingen M3.1 event

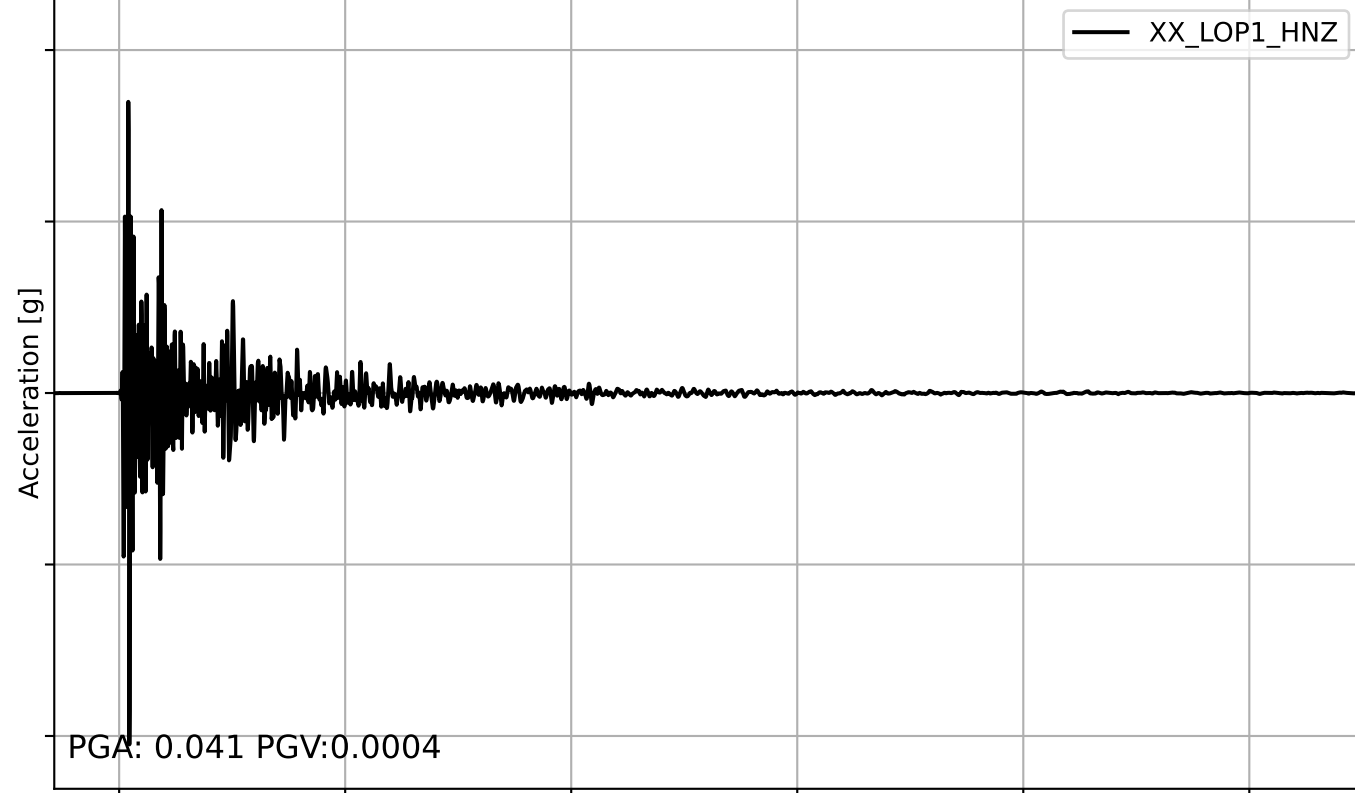
Wirdum op 08-10-2022

## D.1 Versnellingen M3.1 event Wirdum op 08-10-2022

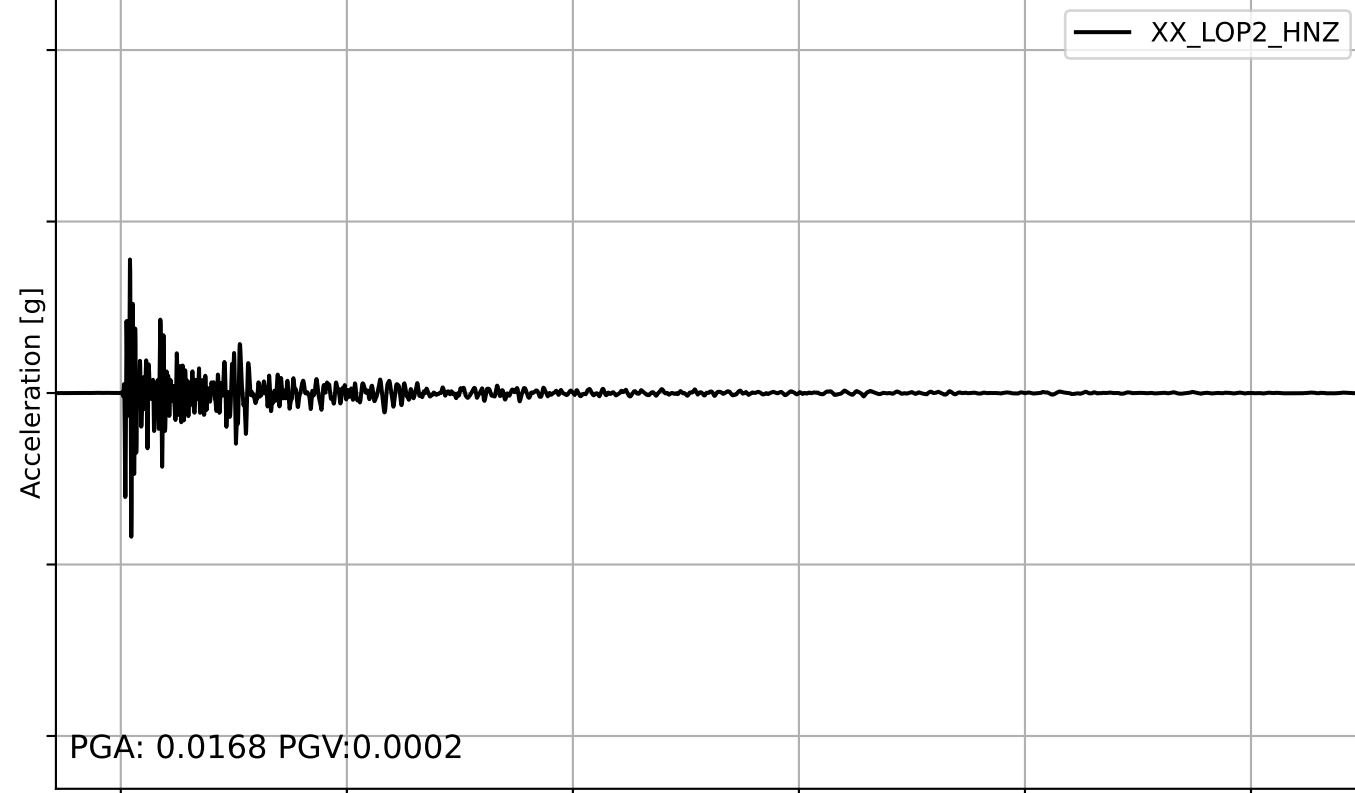
Closest KNMI-sensor  
Distance: 3.59 Km M:3.13



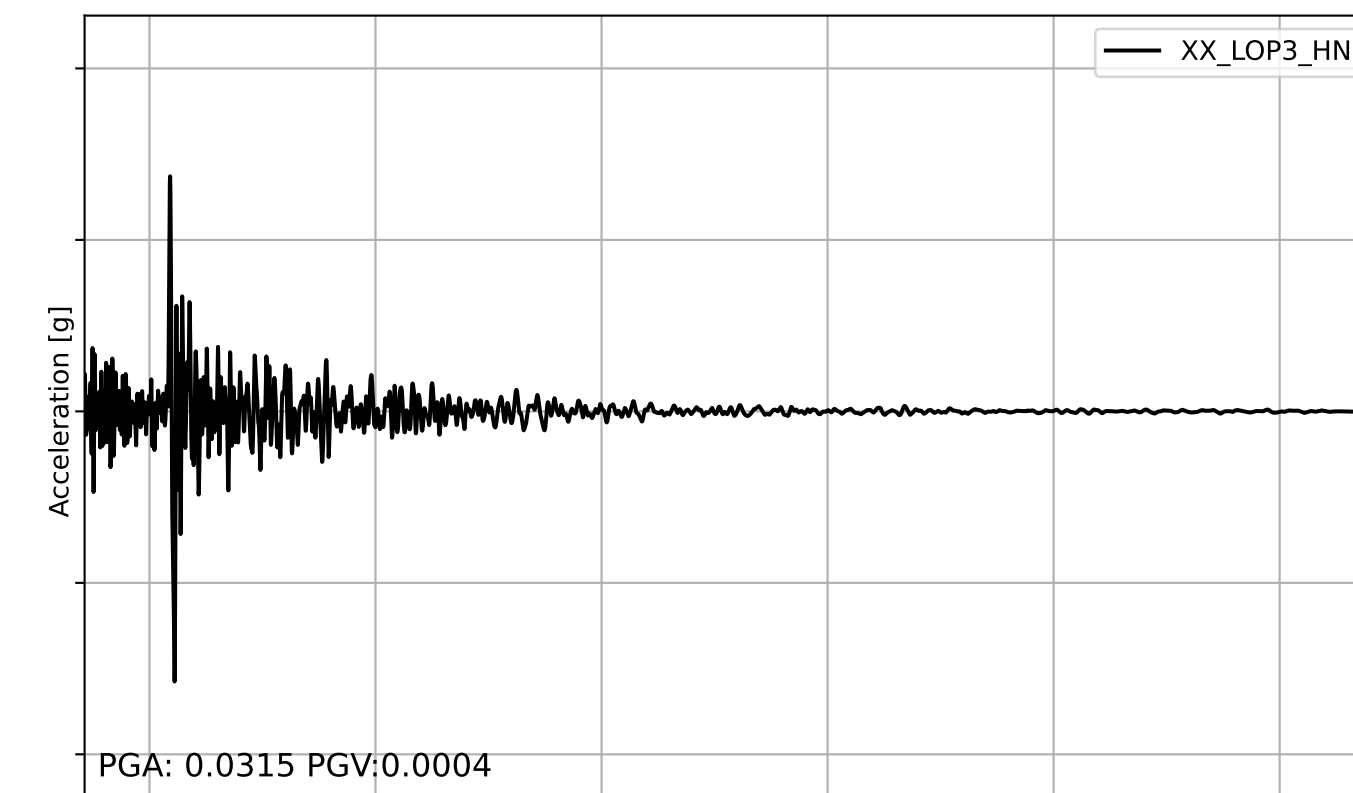
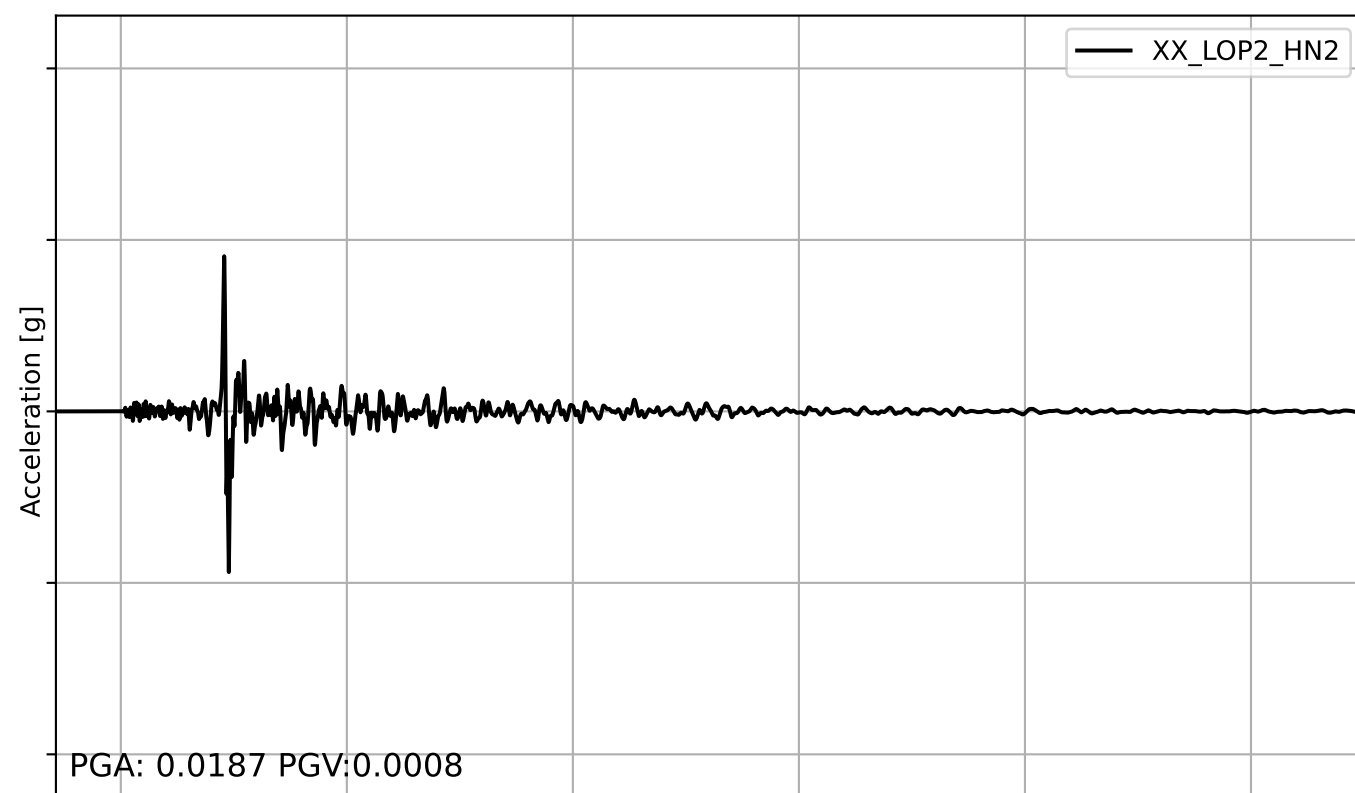
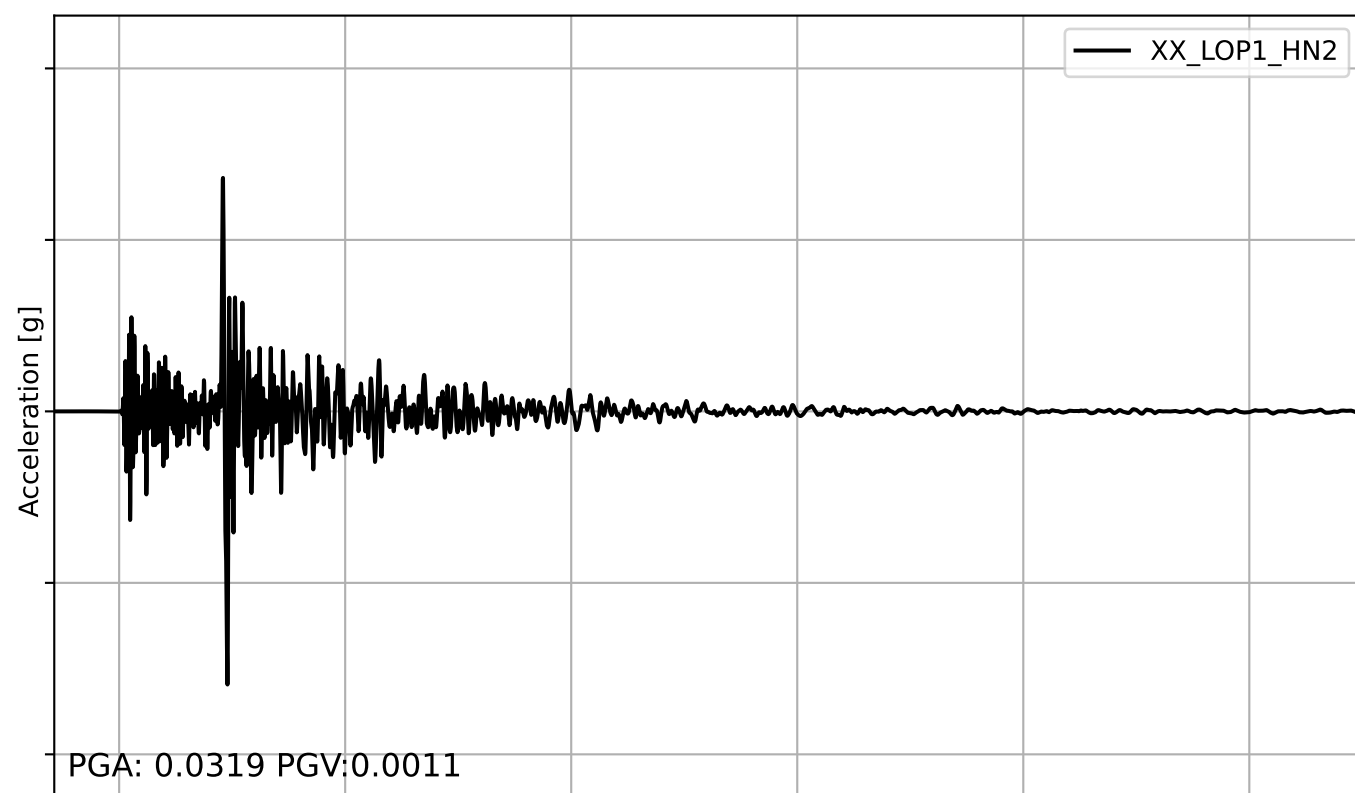
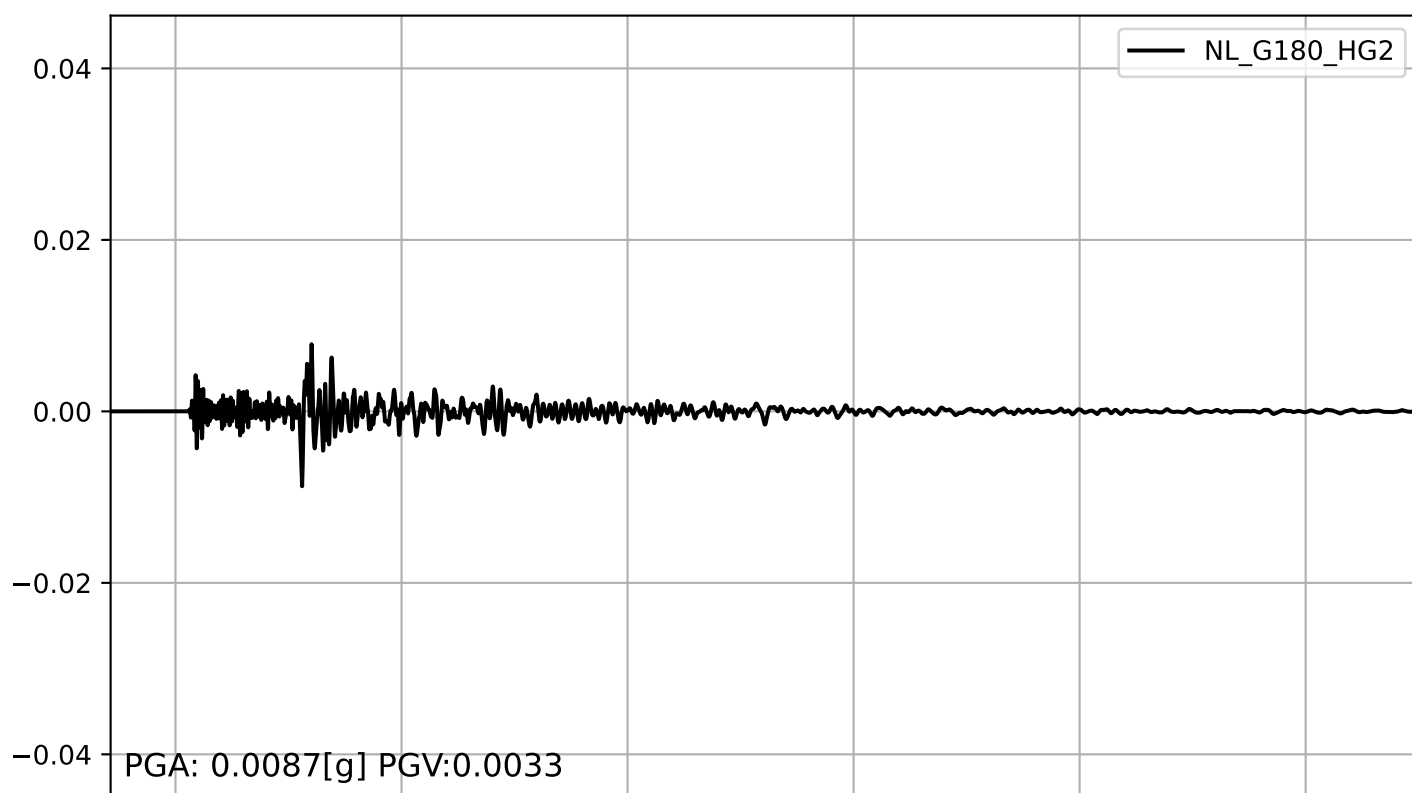
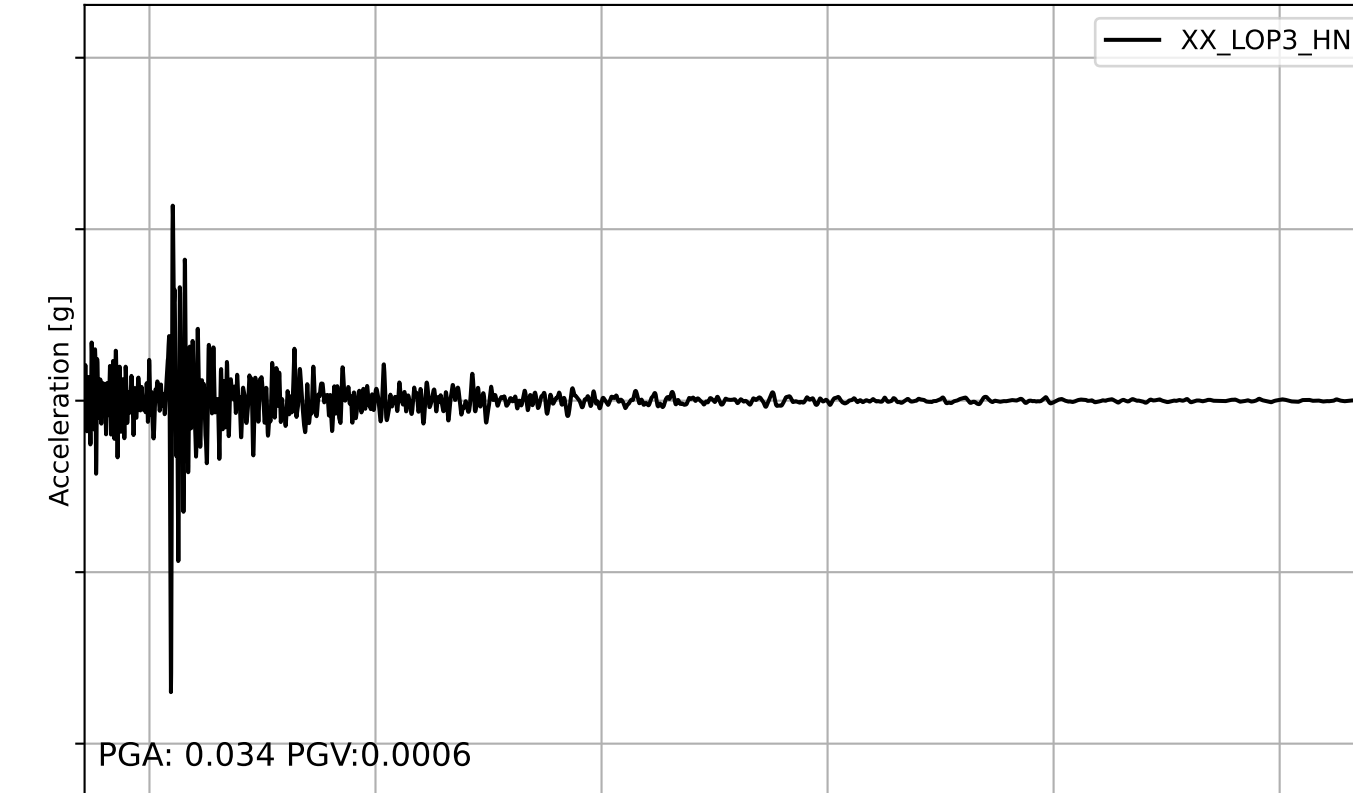
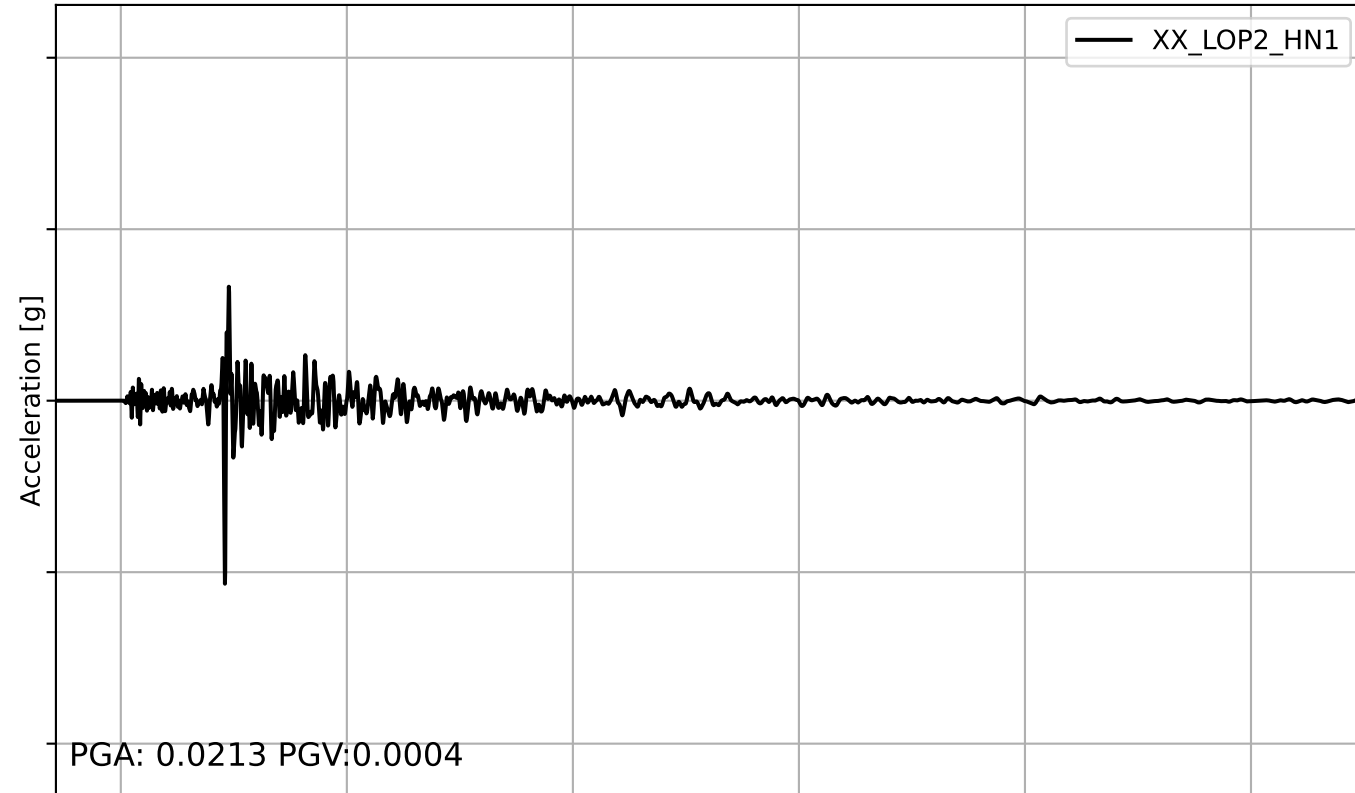
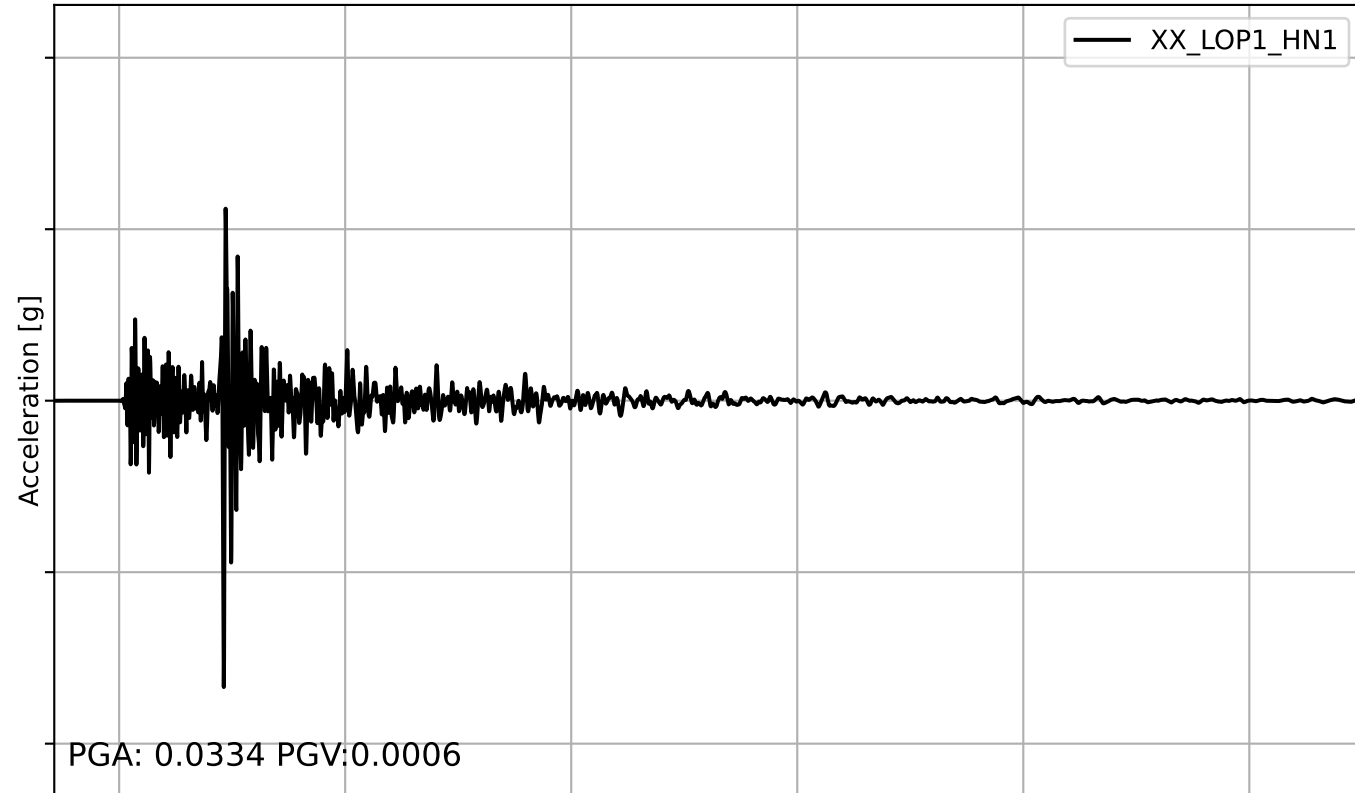
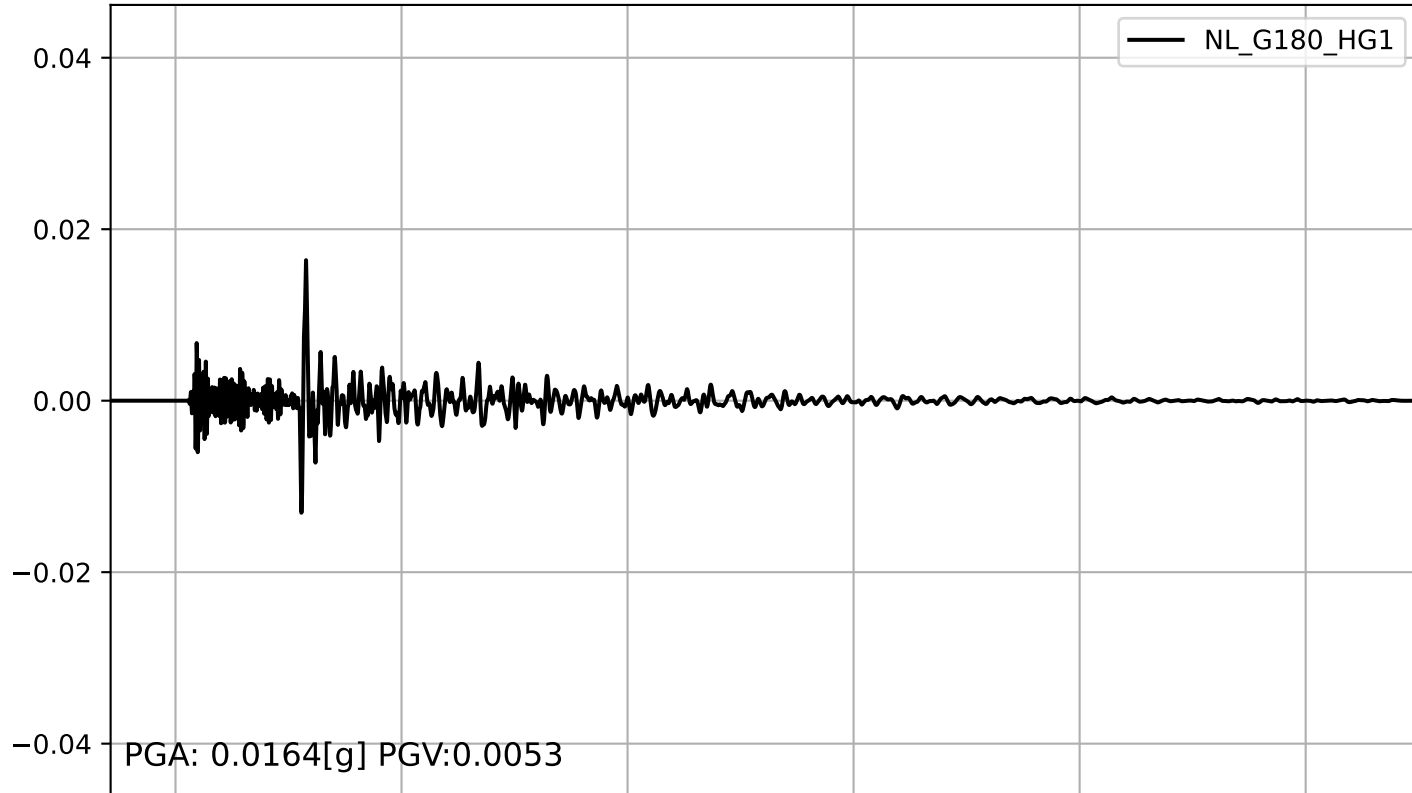
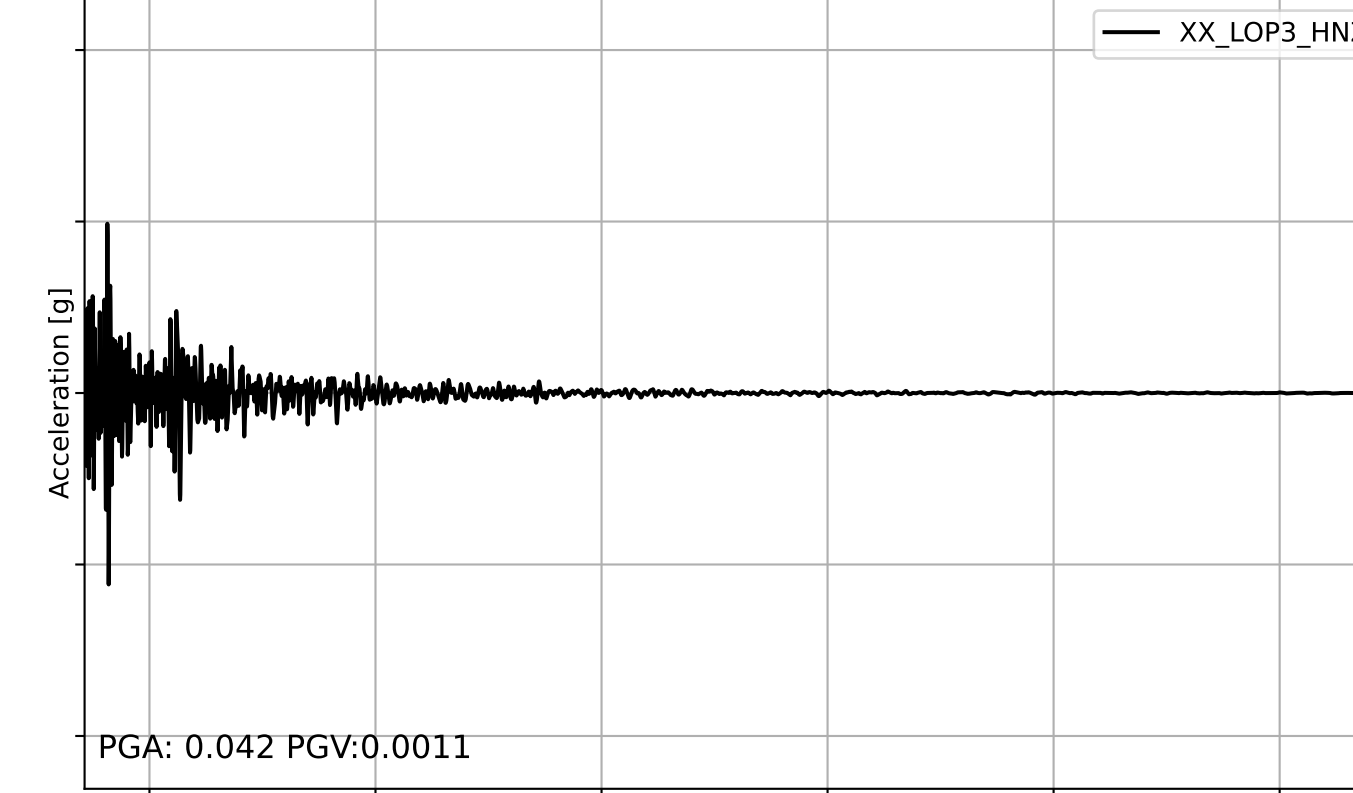
CRL SA-307LN, outdoor  
Distance: 2.17 Km M:3.13



CRL SA-307LN, indoor  
Distance: 2.17 Km M:3.13



EPSON M-A352AD10, outdoor  
Distance: 2.17 Km M:3.13



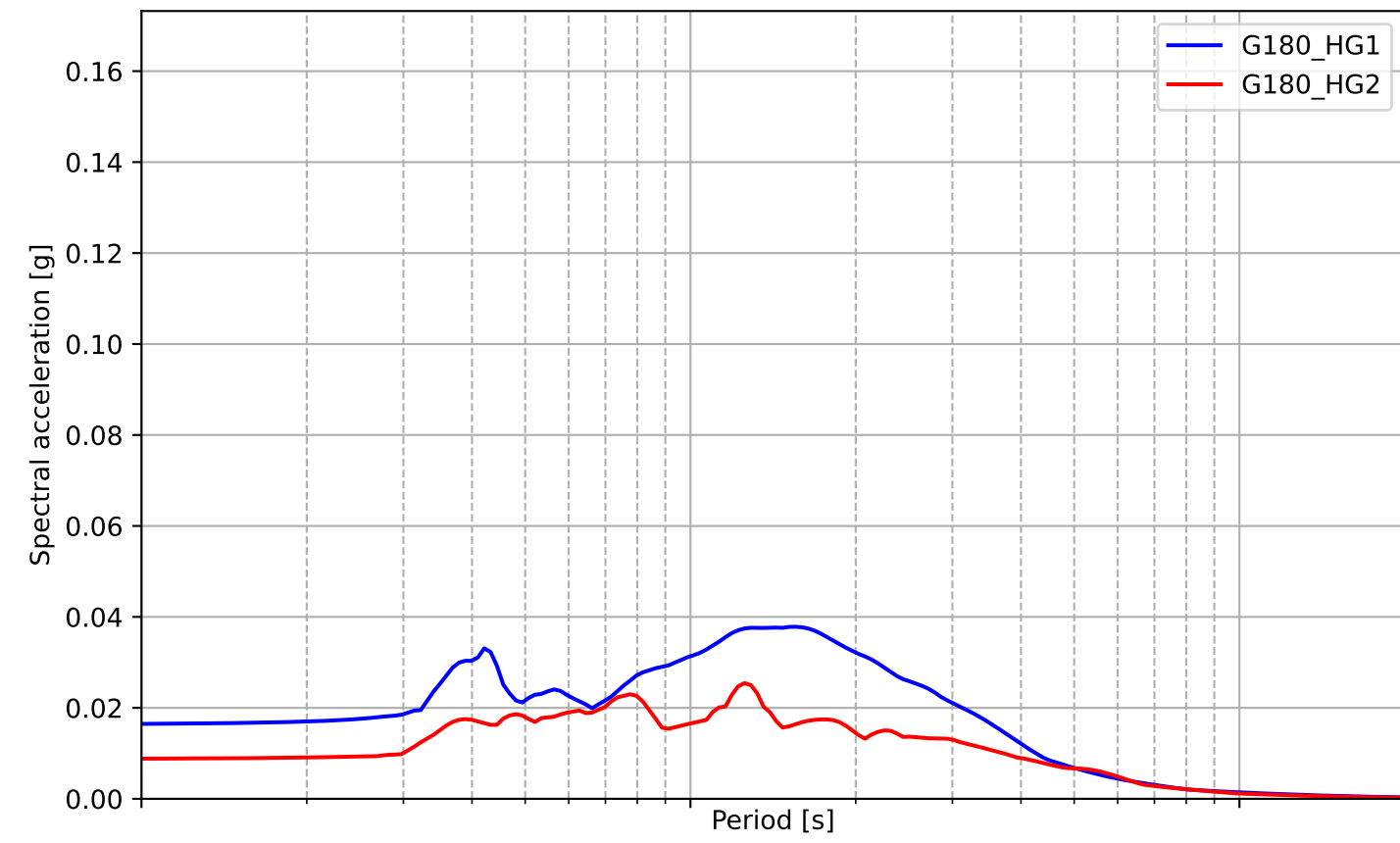
2022-10-08 02:17:18  
2022-10-08 02:17:22  
2022-10-08 02:17:26  
2022-10-08 02:17:31  
2022-10-08 02:17:35  
2022-10-08 02:17:39  
Time

2022-10-08 02:17:18  
2022-10-08 02:17:22  
2022-10-08 02:17:26  
2022-10-08 02:17:31  
2022-10-08 02:17:35  
2022-10-08 02:17:39  
Time

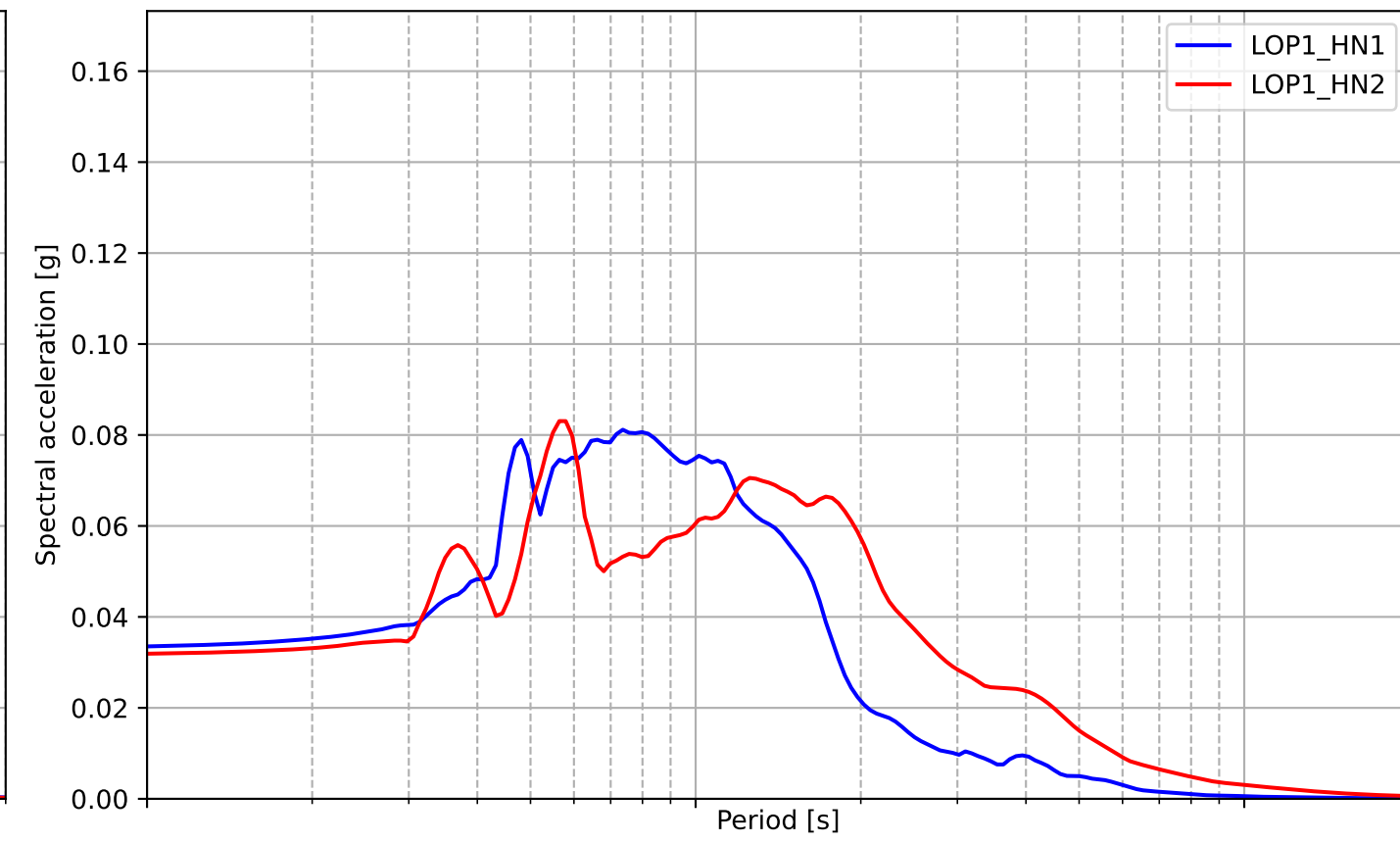
2022-10-08 02:17:18  
2022-10-08 02:17:22  
2022-10-08 02:17:26  
2022-10-08 02:17:31  
2022-10-08 02:17:35  
2022-10-08 02:17:39  
Time

2022-10-08 02:17:18  
2022-10-08 02:17:22  
2022-10-08 02:17:26  
2022-10-08 02:17:31  
2022-10-08 02:17:35  
2022-10-08 02:17:39  
Time

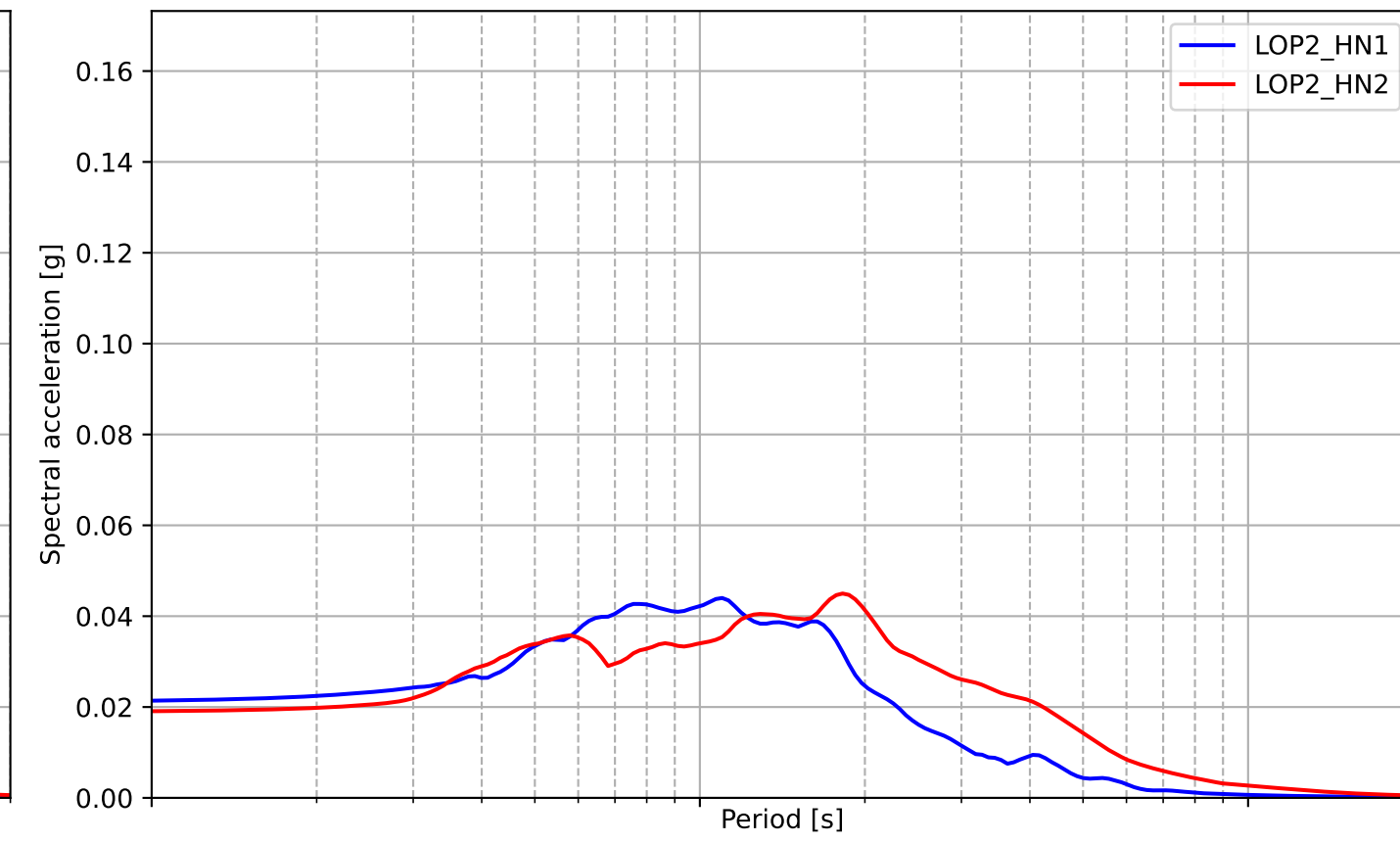
Closest KNMI-sensor  
Distance: 3.59 Km M:3.13



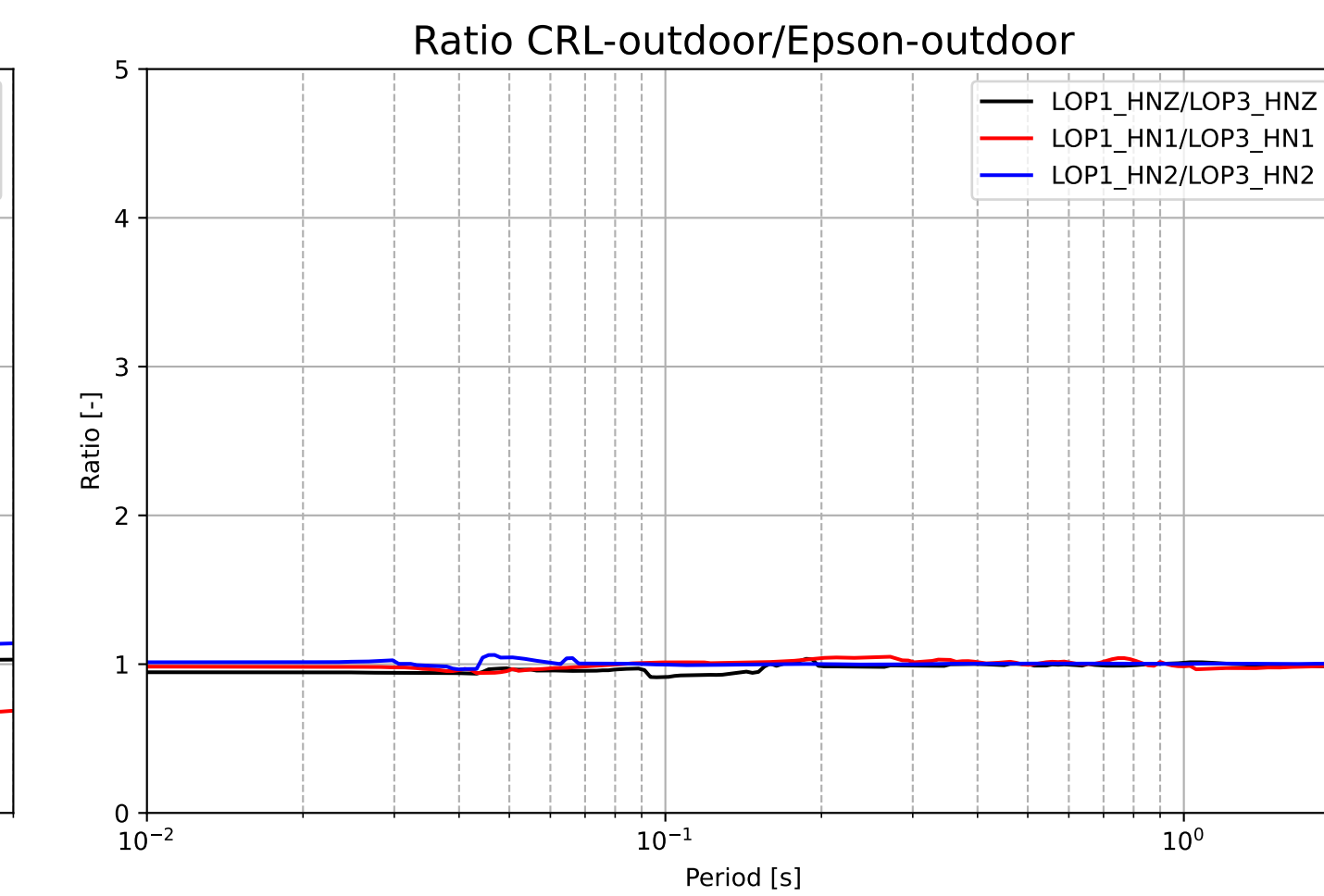
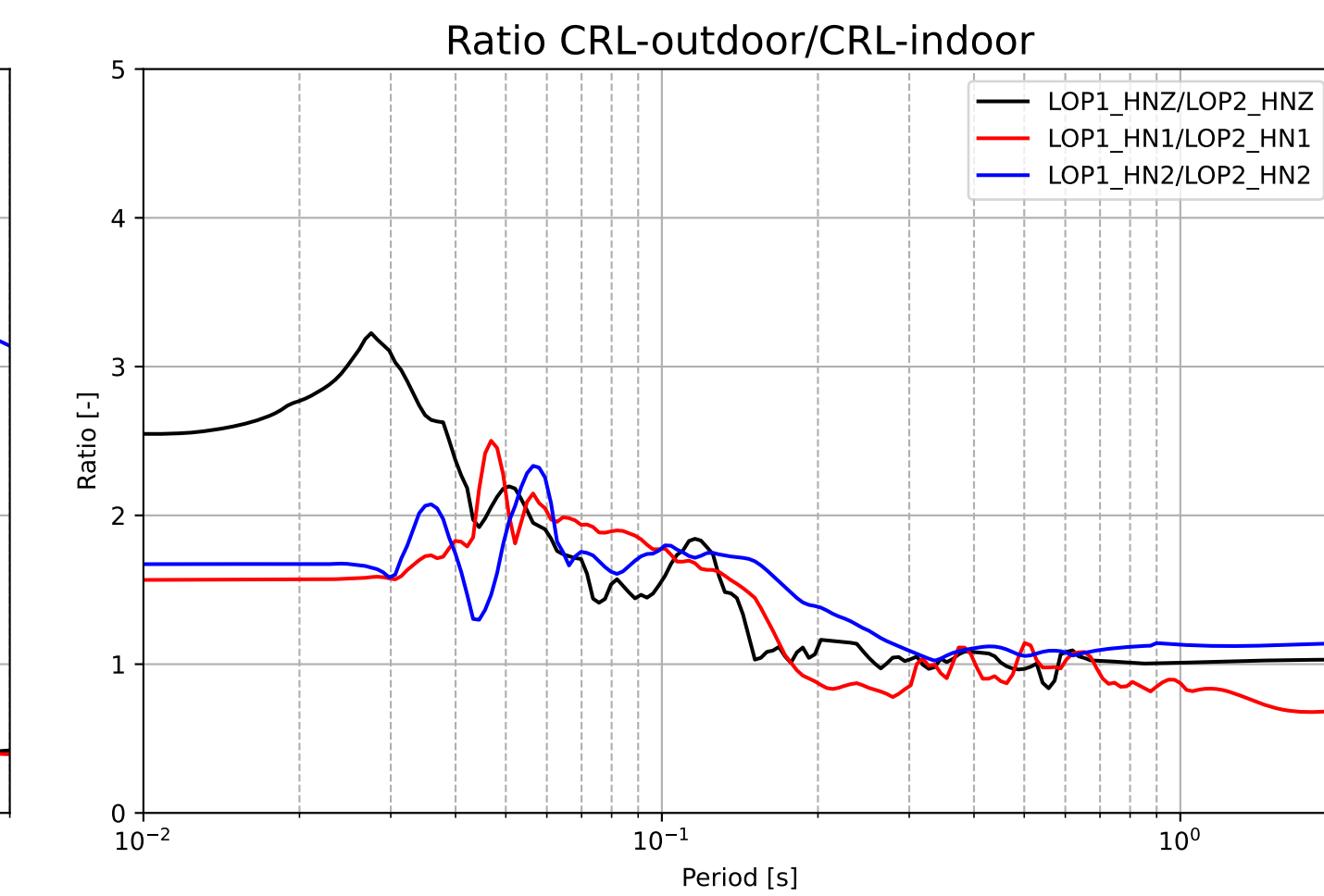
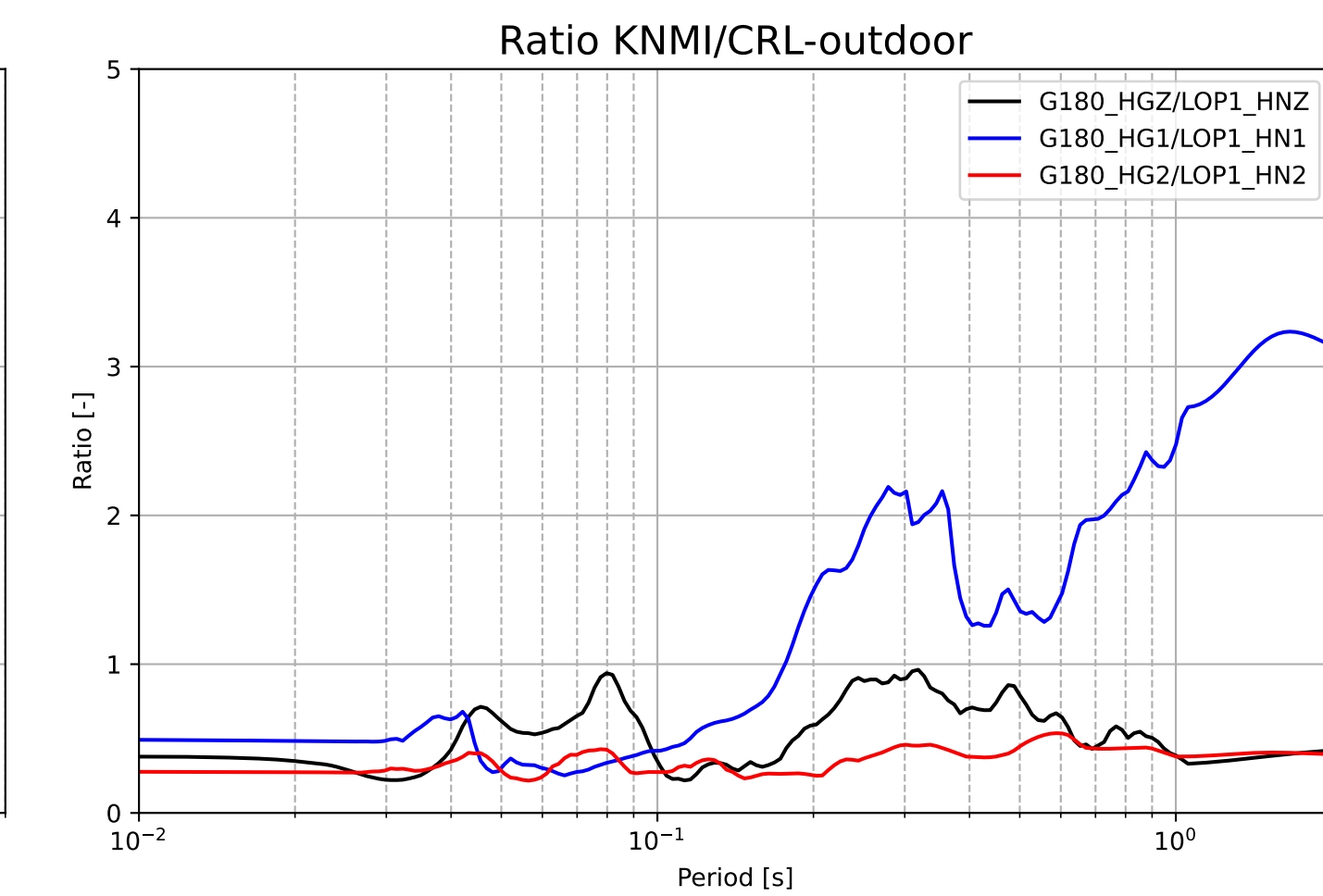
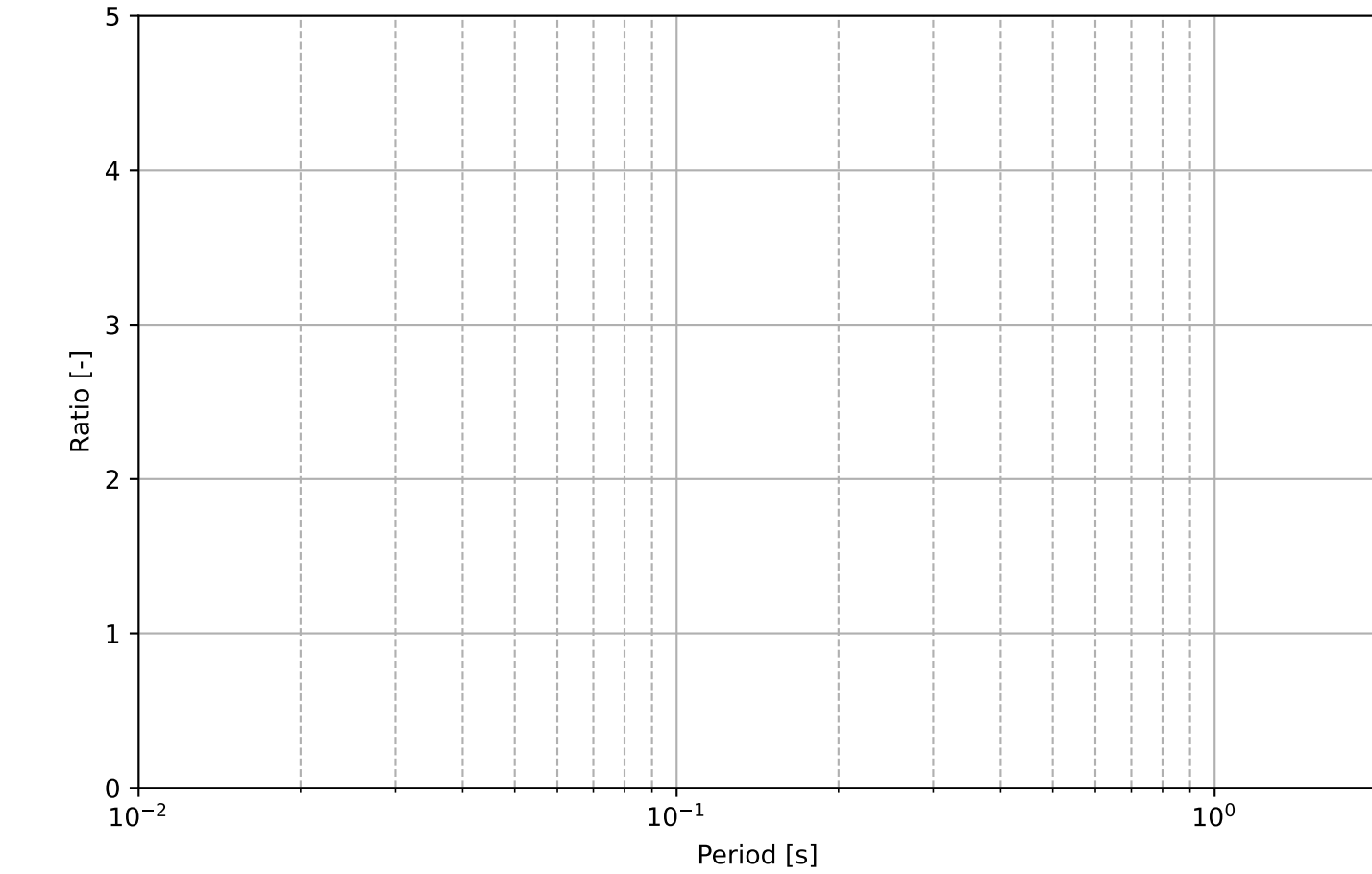
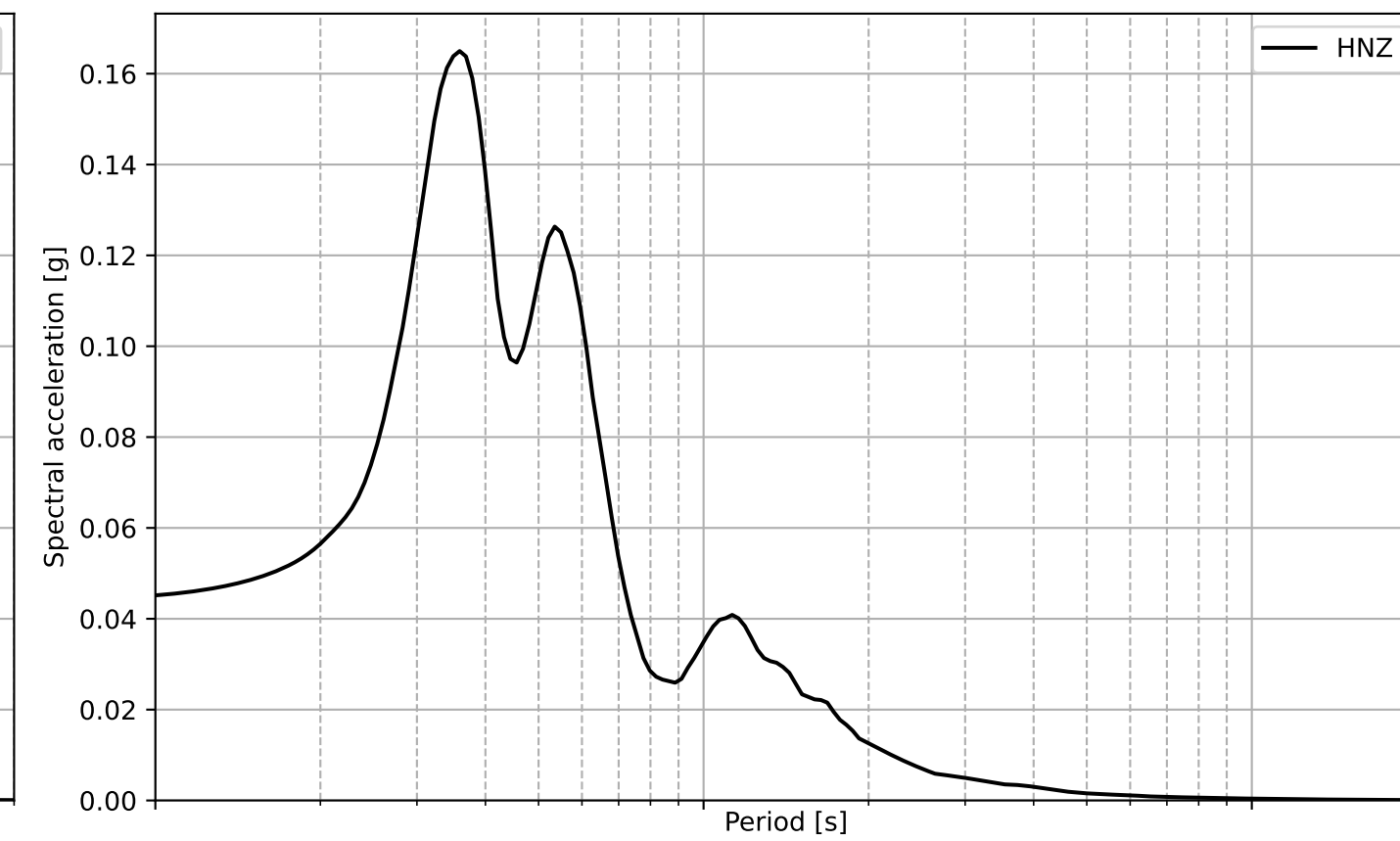
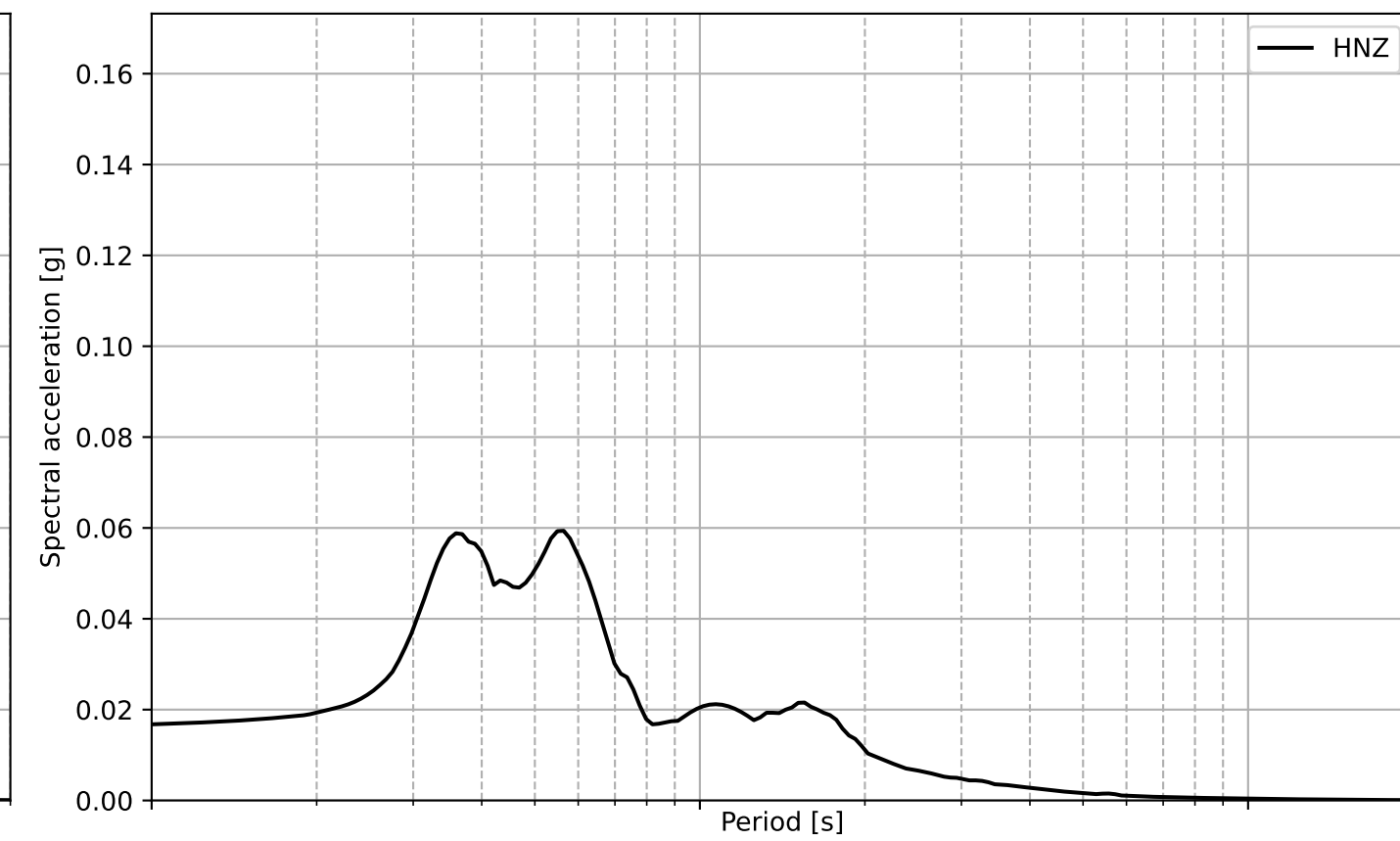
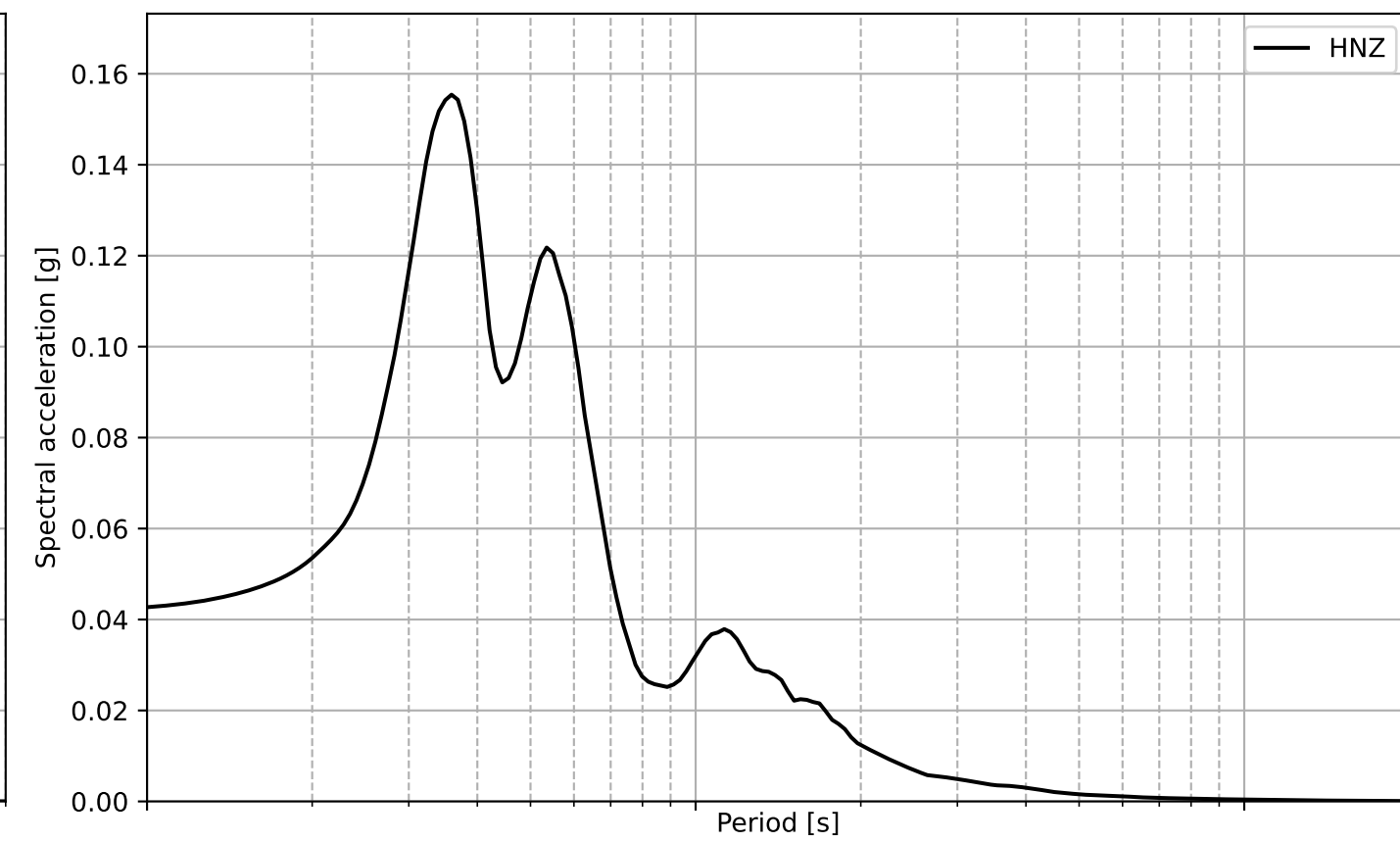
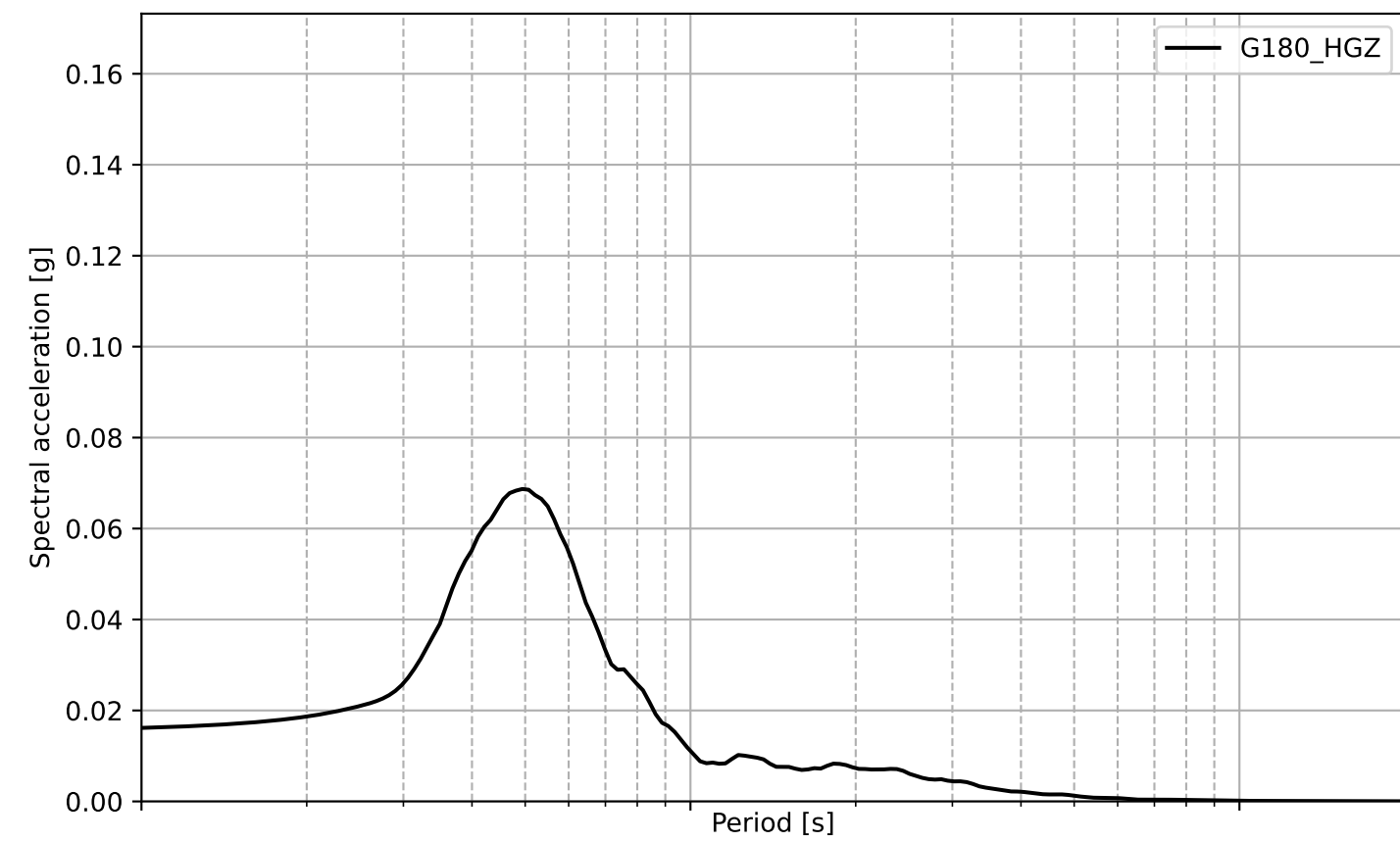
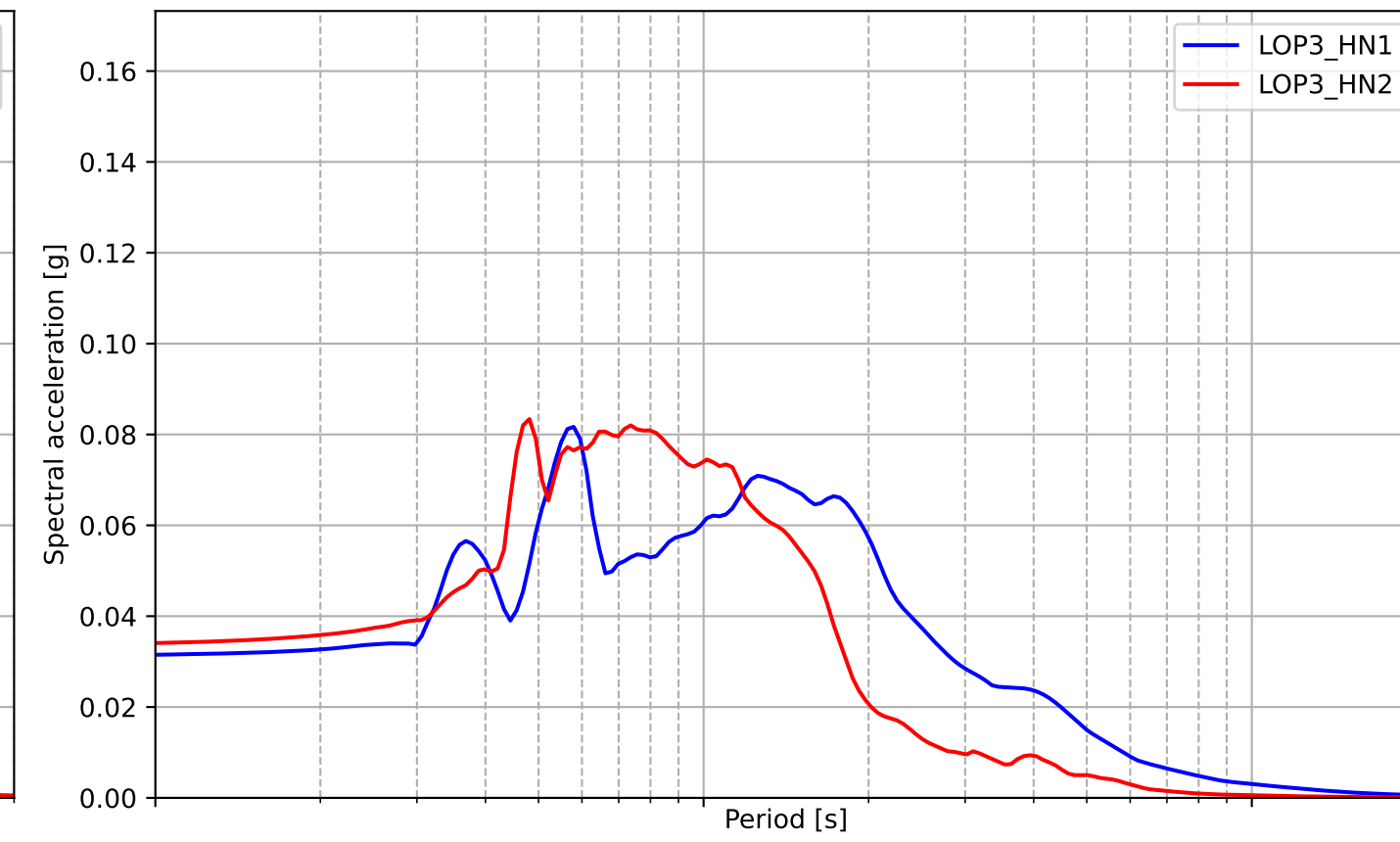
CRL SA-307LN, outdoor  
Distance: 2.17 Km M:3.13



CRL SA-307LN, indoor  
Distance: 2.17 Km M:3.13



EPSON M-A352AD10, outdoor  
Distance: 2.17 Km M:3.13



# Appendix E

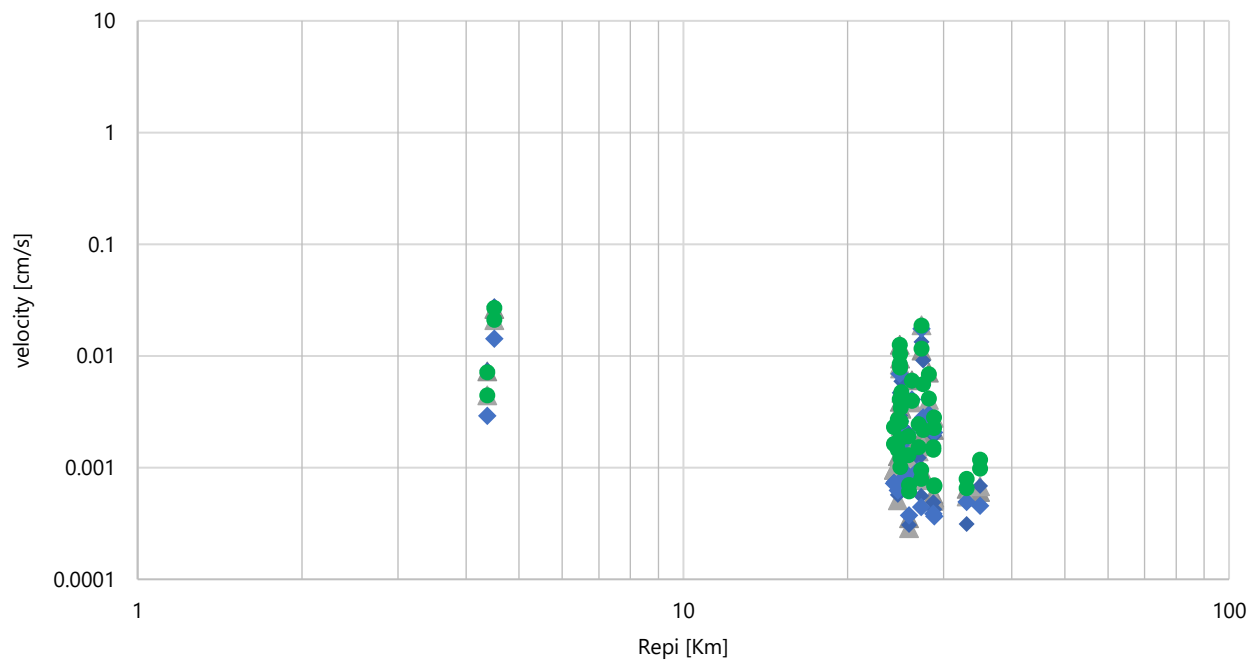
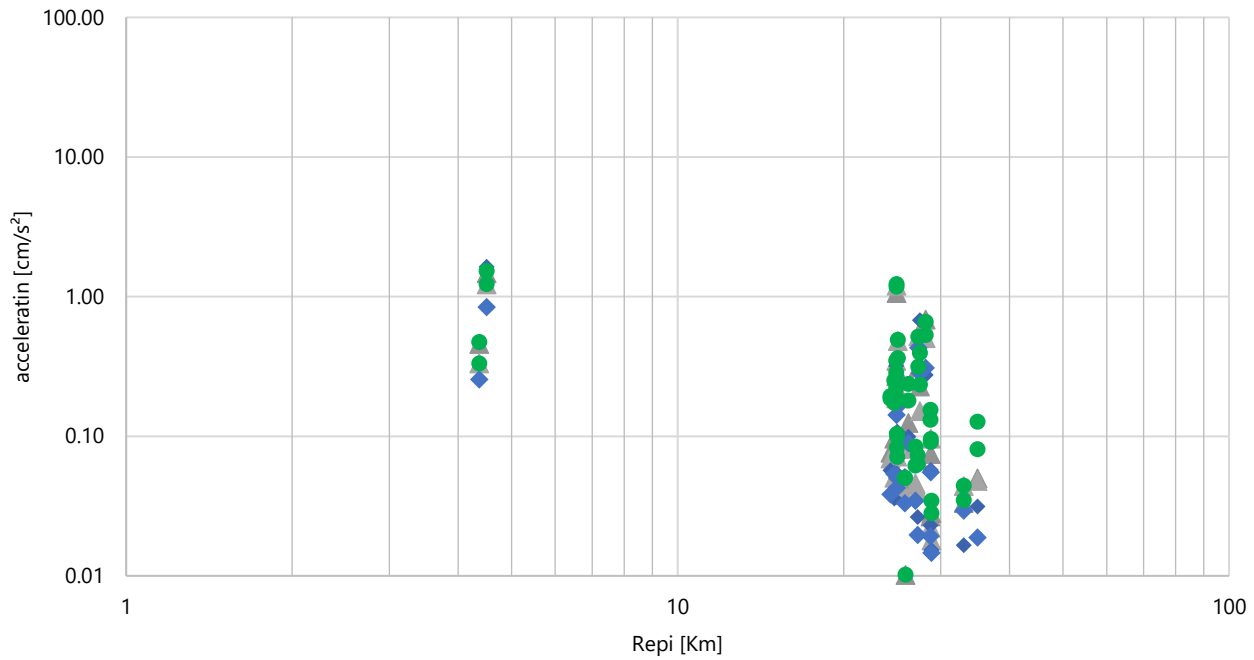
Gemeten PGA en PGV per  
locatie

## E.1 Gemeten PGA en PGV per locatie

# Maximum measured PGA and PGV

Location: 01\_Niehoe

Period: 2022-2023

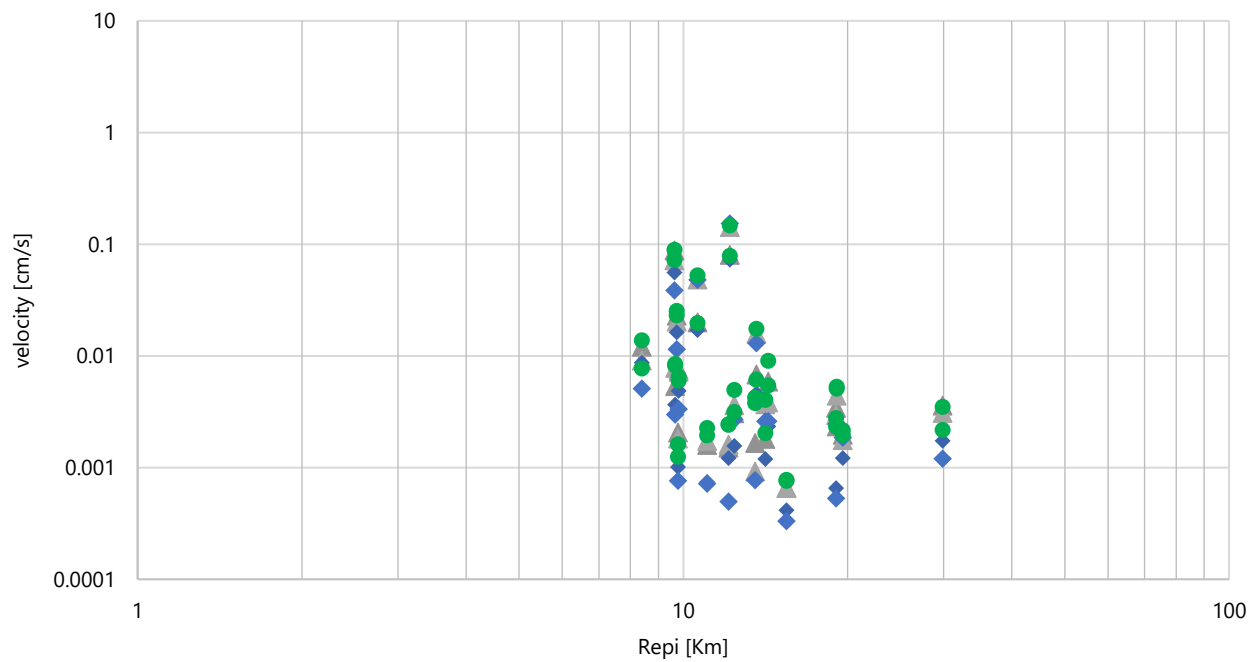
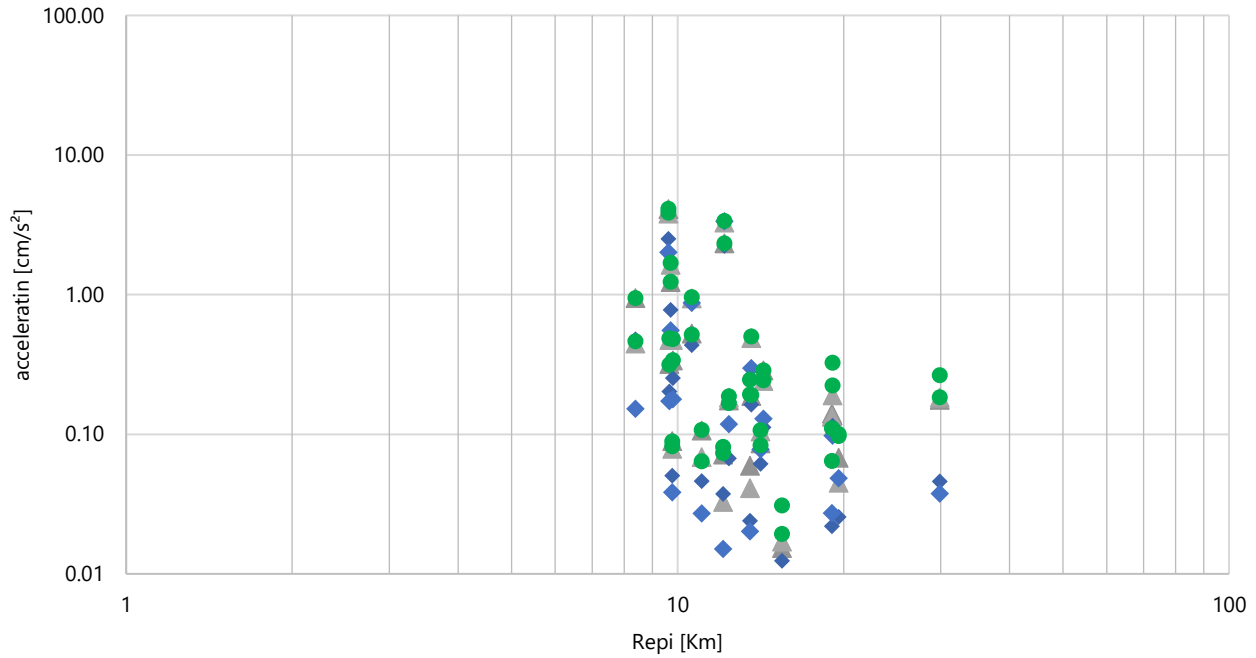


1\_XXX\_H1 = Horizontal component 1 CRL outside, 2\_XXX\_H1 = CRL inside, 3\_XXX\_H1 = Epson outside

# Maximum measured PGA and PGV

Location: 03\_Onderdendam

Period: 2022-2023



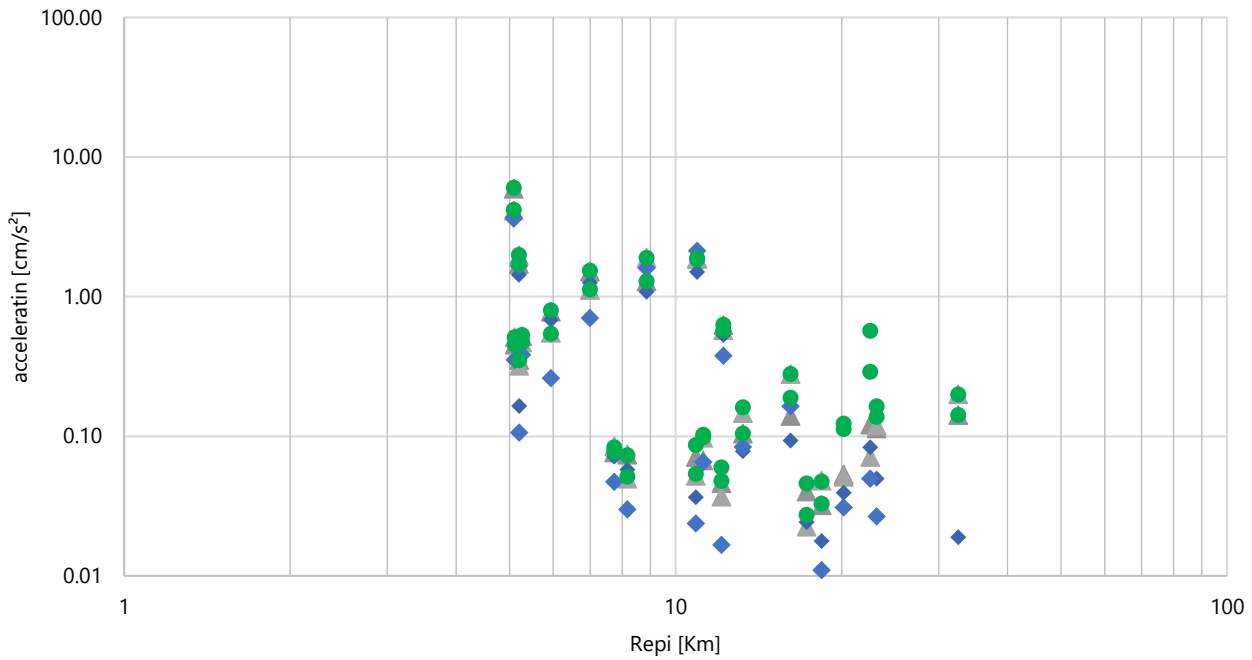
1\_XXX\_H1 = Horizontal component 1 CRL outside, 2\_XXX\_H1 = CRL inside, 3\_XXX\_H1 = Epson outside



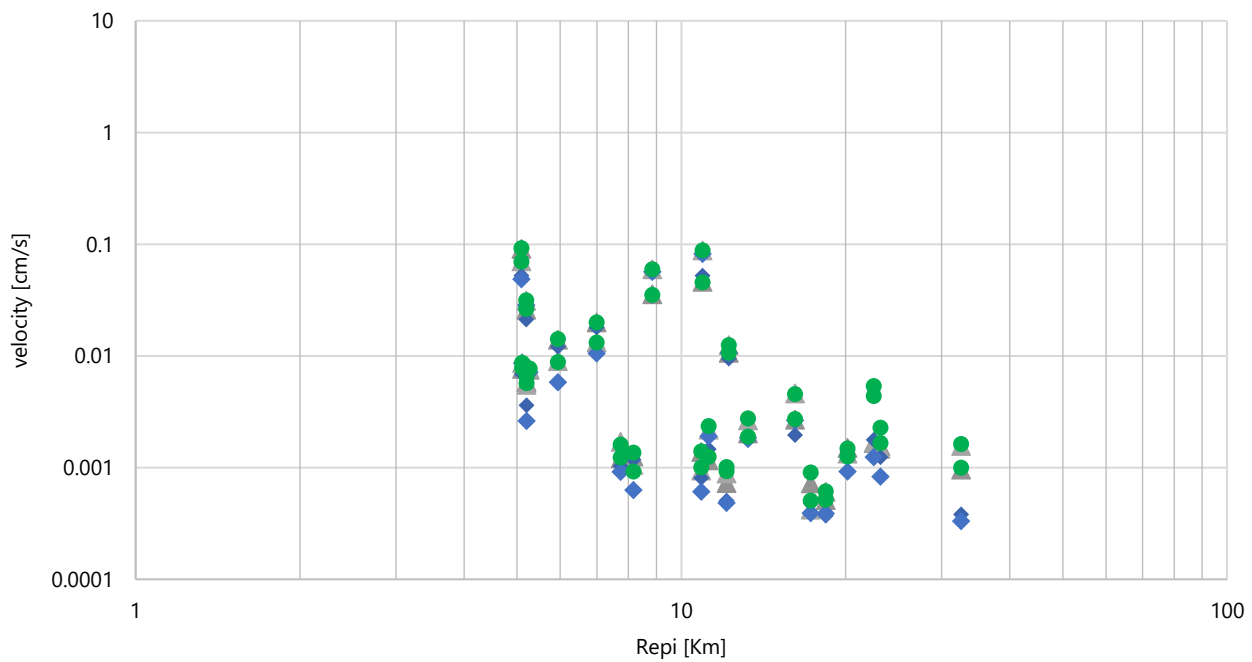
# Maximum measured PGA and PGV

Location: 04\_Kantens

Period: 2022-2023



▲ 1\_PGA\_H1 ▲ 1\_PGA\_H2 ◆ 2\_PGA\_H1 ◆ 2\_PGA\_H2 ● 3\_PGA\_H1 ● 3\_PGA\_H2



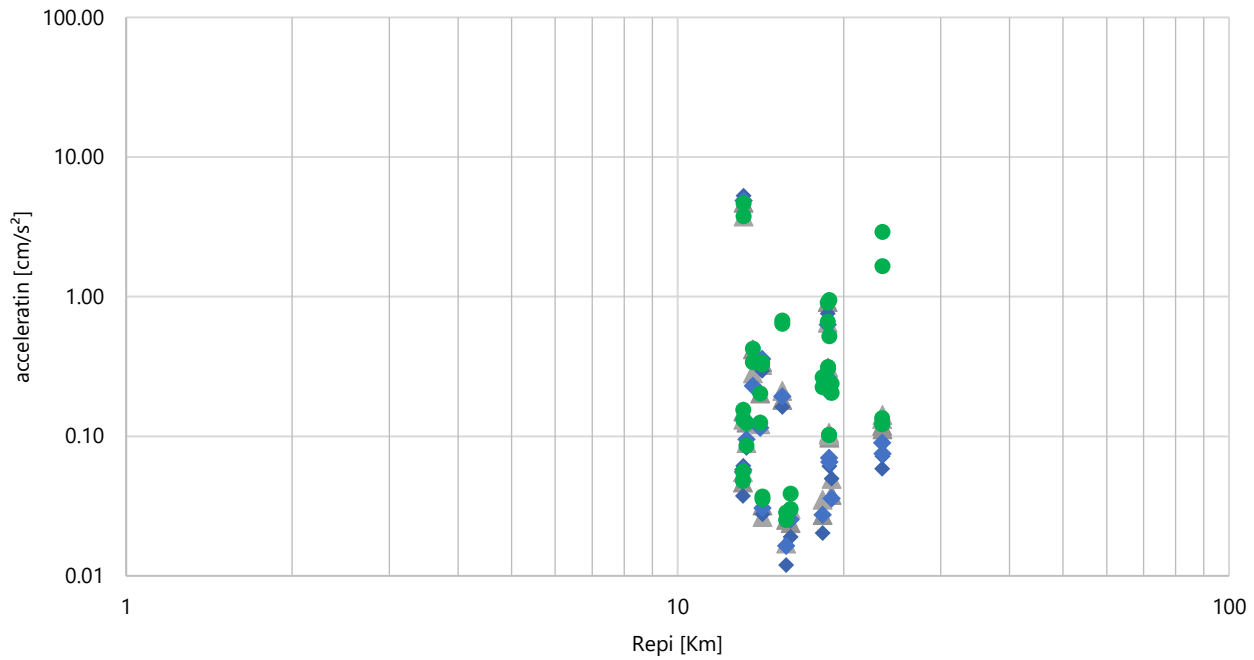
▲ 1\_PGV\_H1 ▲ 1\_PGV\_H2 ◆ 2\_PGV\_H1 ◆ 2\_PGV\_H2 ● 3\_PGV\_H1 ● 3\_PGV\_H2

1\_XXX\_H1 = Horizontal component 1 CRL outside, 2\_XXX\_H1 = CRL inside, 3\_XXX\_H1 = Epson outside

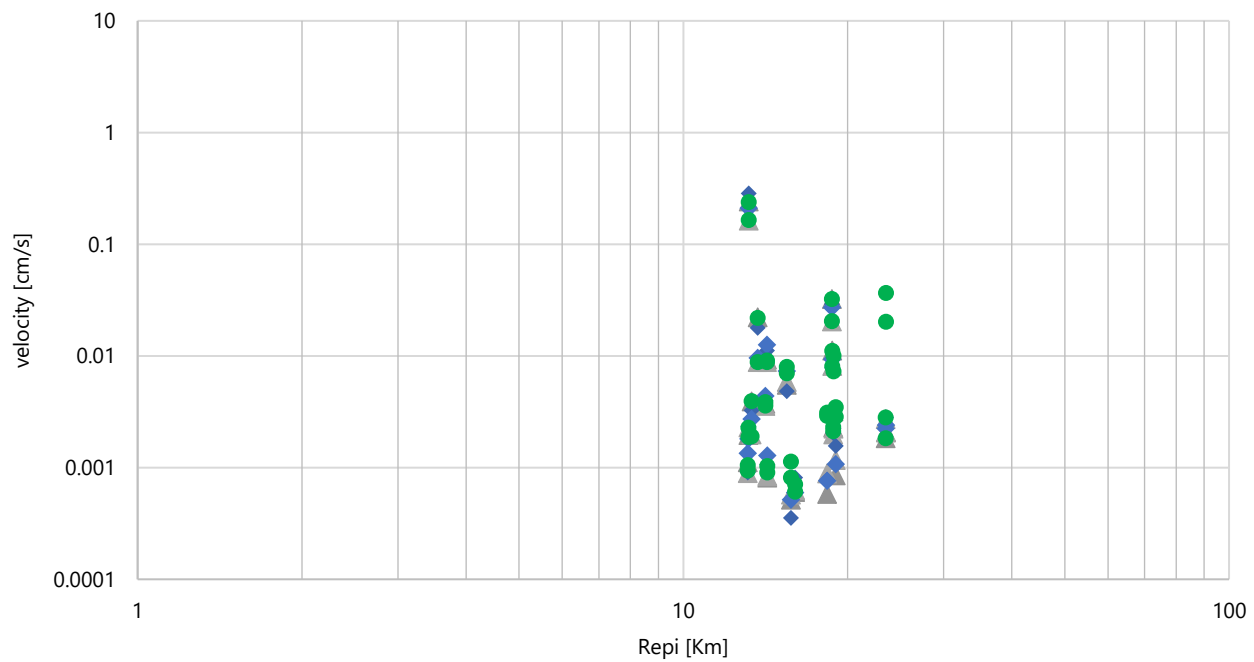
# Maximum measured PGA and PGV

Location: 05\_Groningen

Period: 2022-2023



▲ 1\_PGA\_H1 ▲ 1\_PGA\_H2 ◆ 2\_PGA\_H1 ◆ 2\_PGA\_H2 ● 3\_PGA\_H1 ● 3\_PGA\_H2



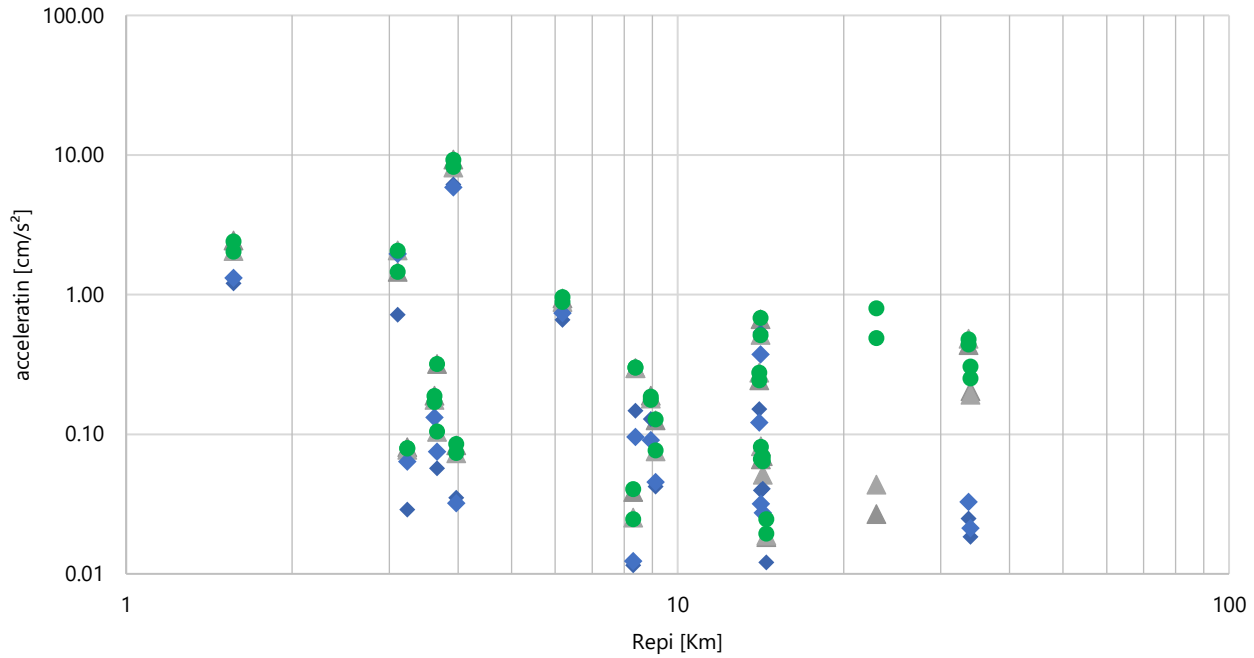
▲ 1\_PGV\_H1 ▲ 1\_PGV\_H2 ◆ 2\_PGV\_H1 ◆ 2\_PGV\_H2 ● 3\_PGV\_H1 ● 3\_PGV\_H2

1\_XXX\_H1 = Horizontal component 1 CRL outside, 2\_XXX\_H1 = CRL inside, 3\_XXX\_H1 = Epson outside

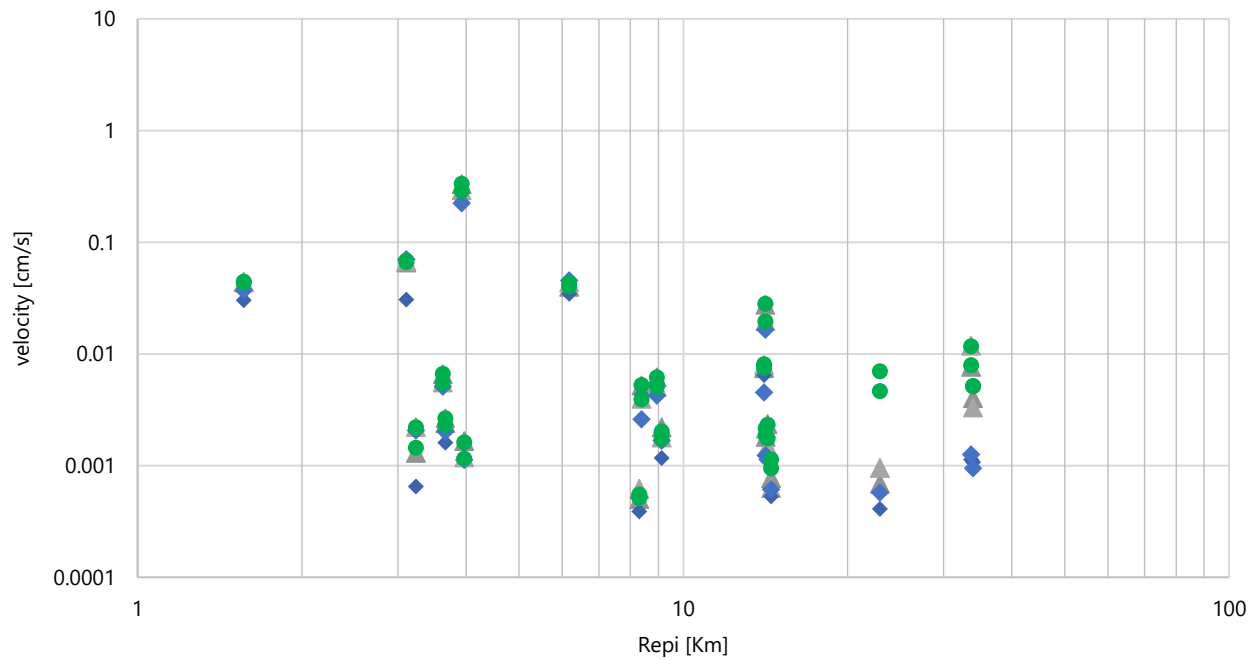
# Maximum measured PGA and PGV

Location: 06\_Overschild

Period: 2022-2023



▲ 1\_PGA\_H1 ▲ 1\_PGA\_H2 ◆ 2\_PGA\_H1 ◆ 2\_PGA\_H2 ● 3\_PGA\_H1 ● 3\_PGA\_H2



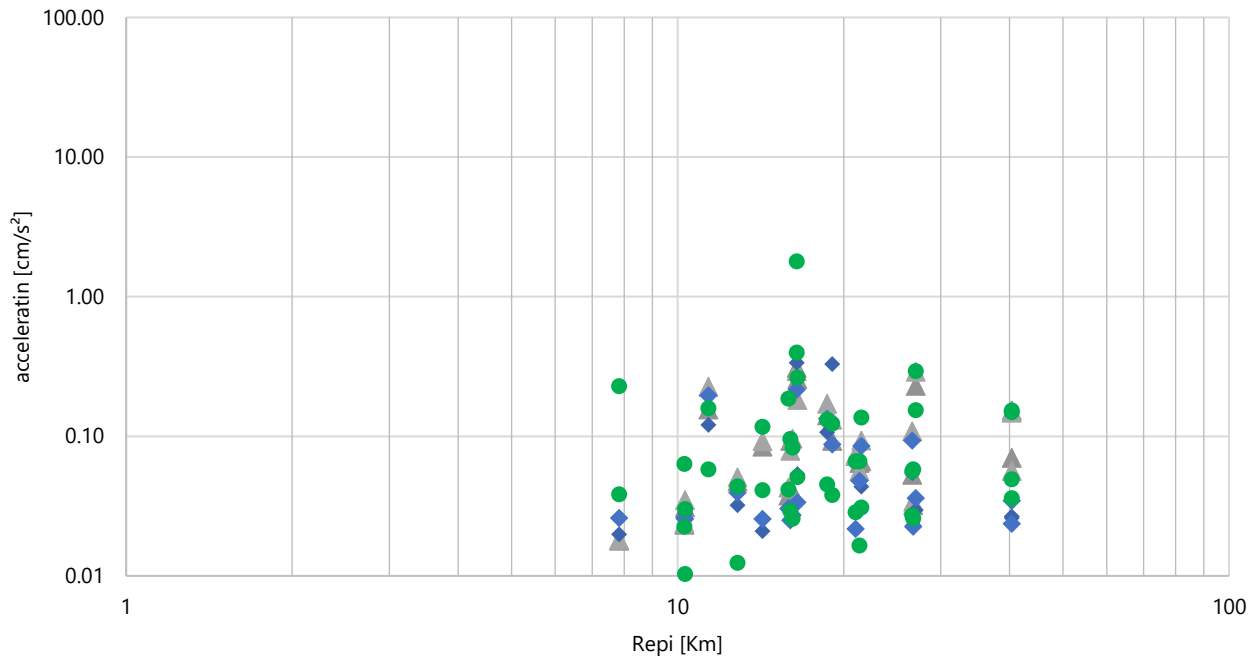
▲ 1\_PGV\_H1 ▲ 1\_PGV\_H2 ◆ 2\_PGV\_H1 ◆ 2\_PGV\_H2 ● 3\_PGV\_H1 ● 3\_PGV\_H2

1\_XXX\_H1 = Horizontal component 1 CRL outside, 2\_XXX\_H1 = CRL inside, 3\_XXX\_H1 = Epson outside

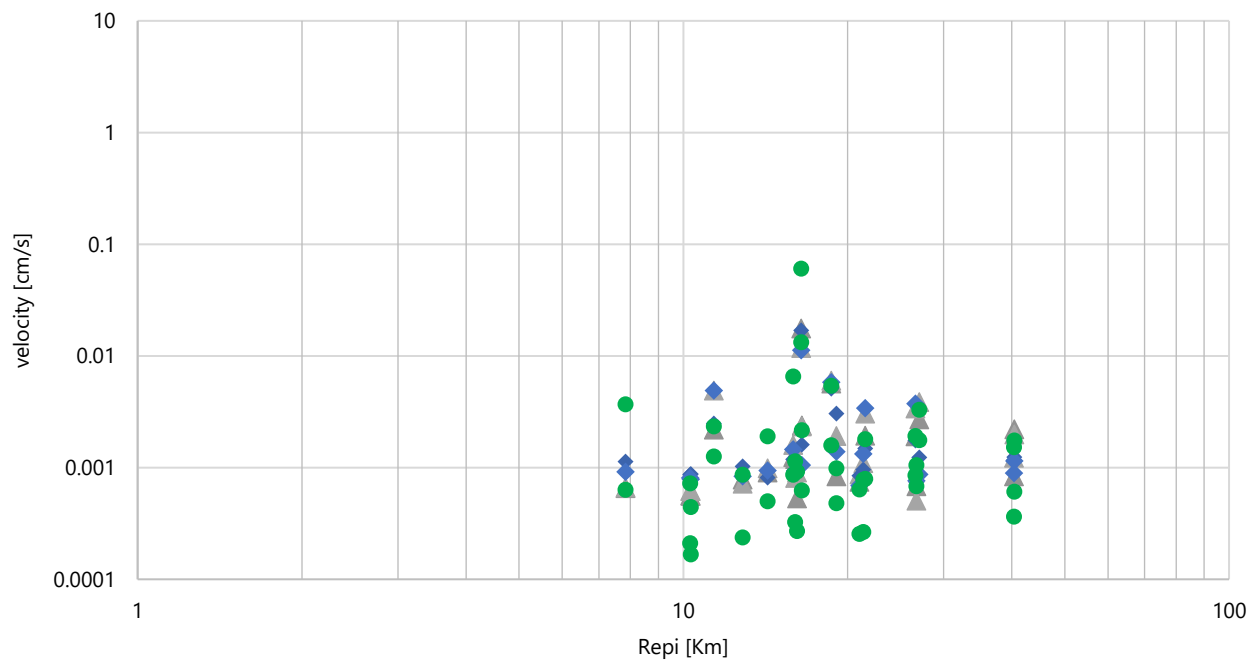
# Maximum measured PGA and PGV

Location: 07\_Noordbroek

Period: 2022-2023



▲ 1\_PGA\_H1 ▲ 1\_PGA\_H2 ◆ 2\_PGA\_H1 ◆ 2\_PGA\_H2 ● 3\_PGA\_H1 ● 3\_PGA\_H2



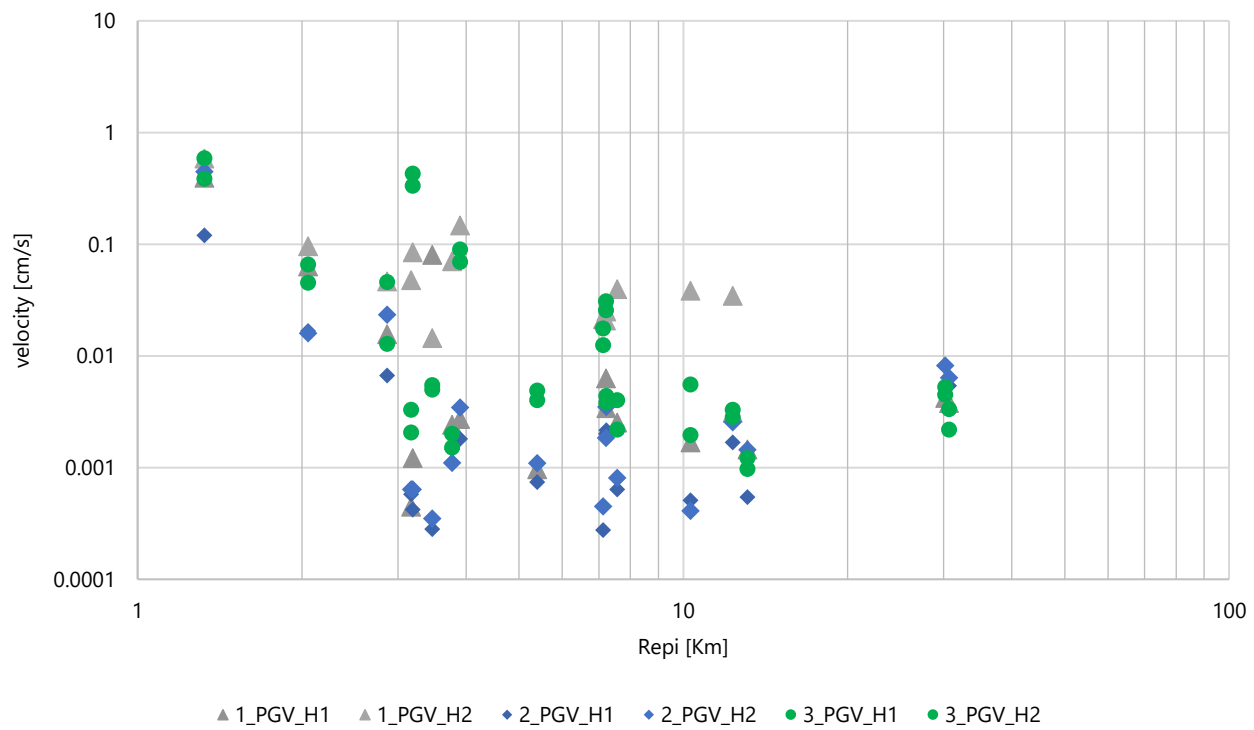
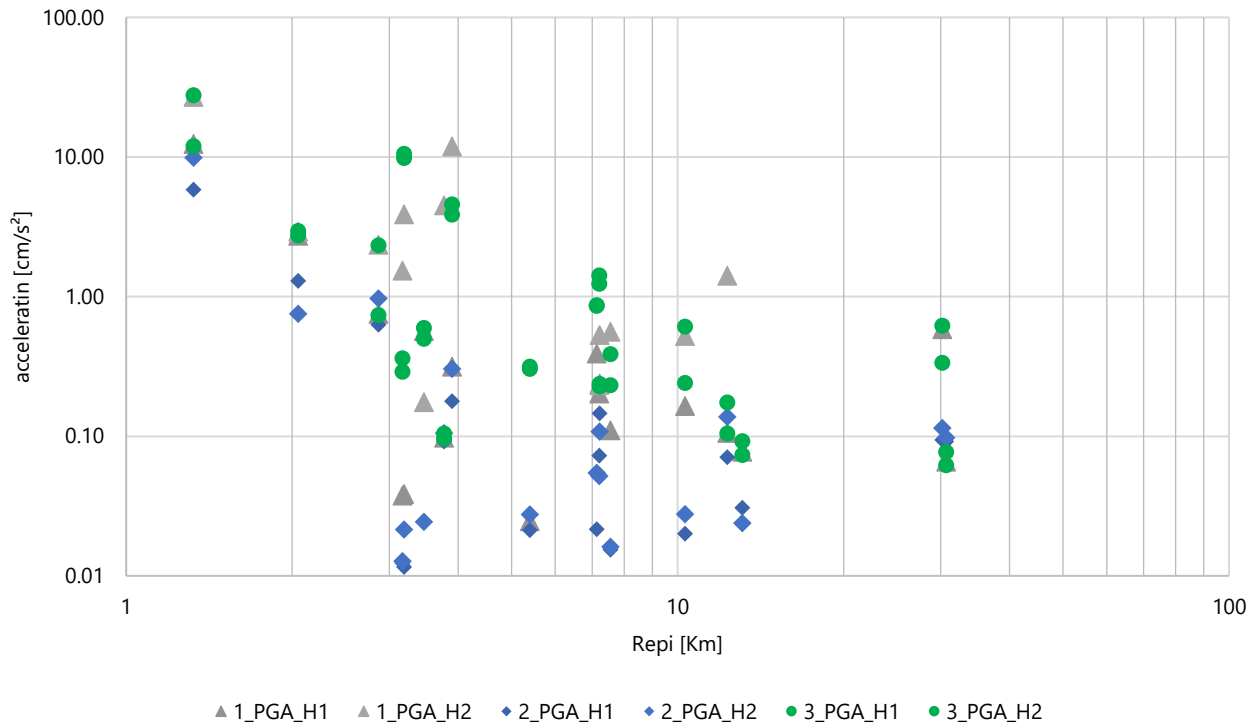
▲ 1\_PGV\_H1 ▲ 1\_PGV\_H2 ◆ 2\_PGV\_H1 ◆ 2\_PGV\_H2 ● 3\_PGV\_H1 ● 3\_PGV\_H2

1\_XXX\_H1 = Horizontal component 1 CRL outside, 2\_XXX\_H1 = CRL inside, 3\_XXX\_H1 = Epson outside

# Maximum measured PGA and PGV

Location: 08\_Zeerijp-toren

Period: 2022-2023

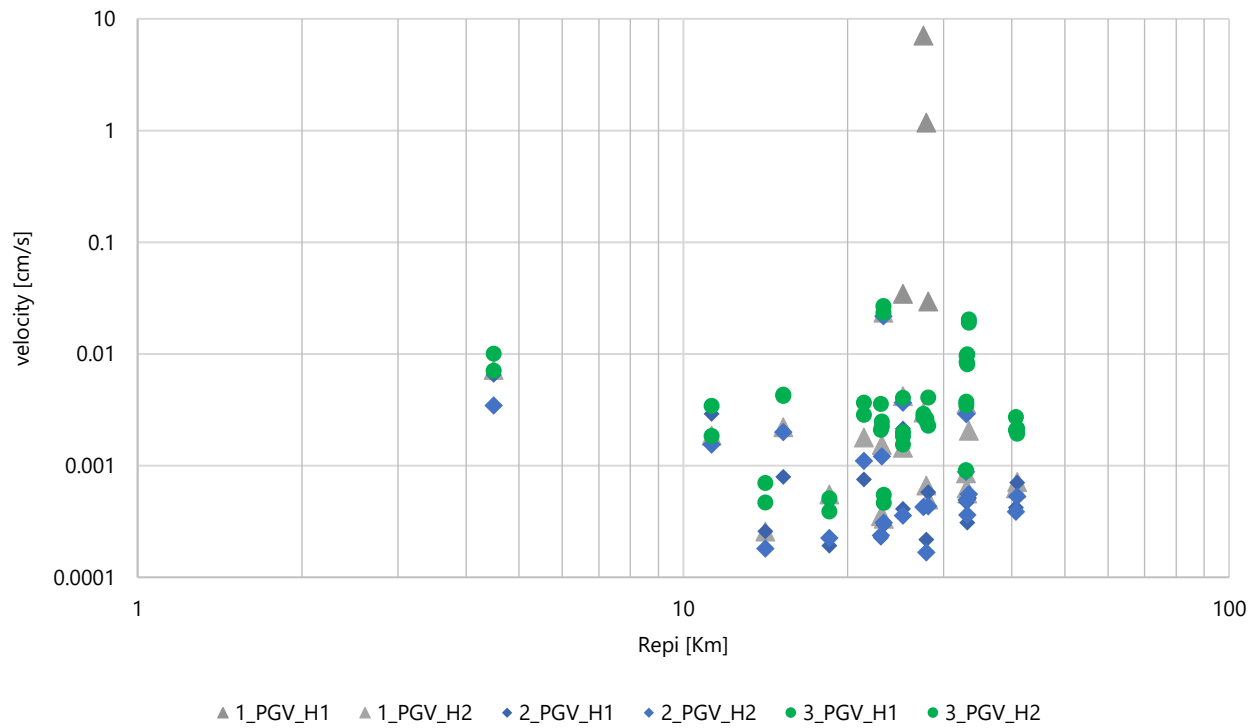
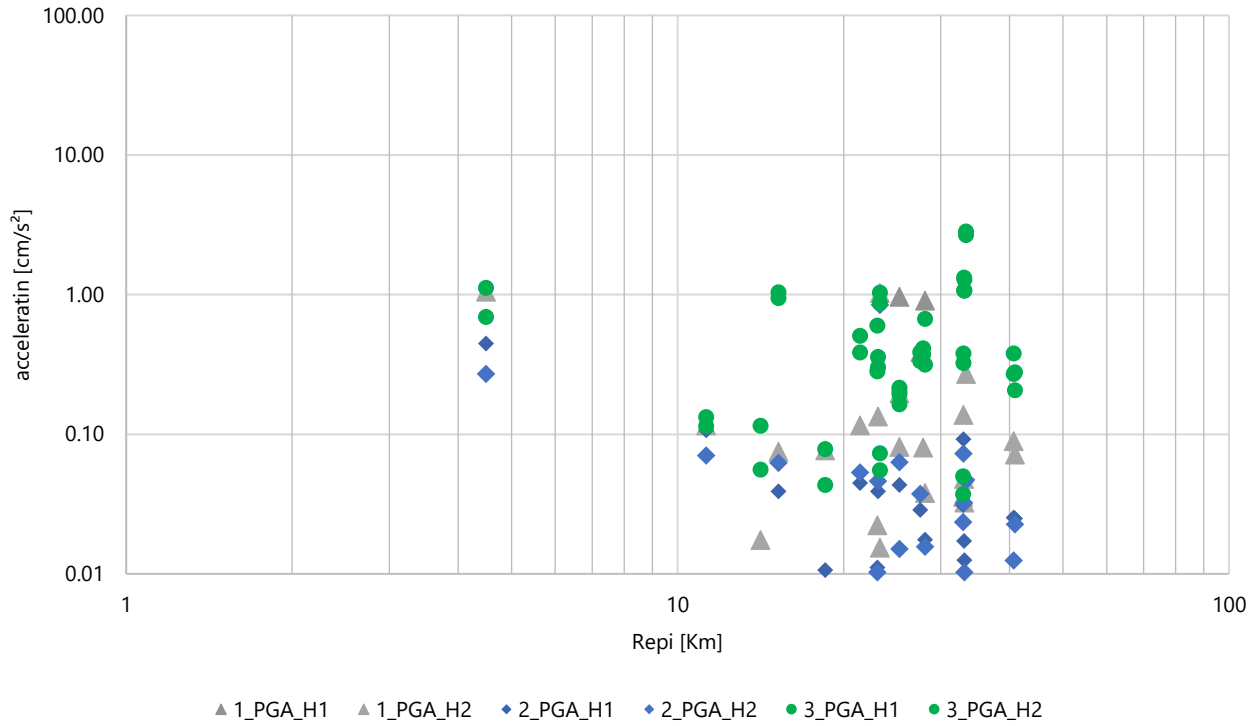


1\_XXX\_H1 = Horizontal component 1 CRL outside, 2\_XXX\_H1 = CRL inside, 3\_XXX\_H1 = Epson outside

# Maximum measured PGA and PGV

Location: 09\_Borgercompagnie

Period: 2022-2023

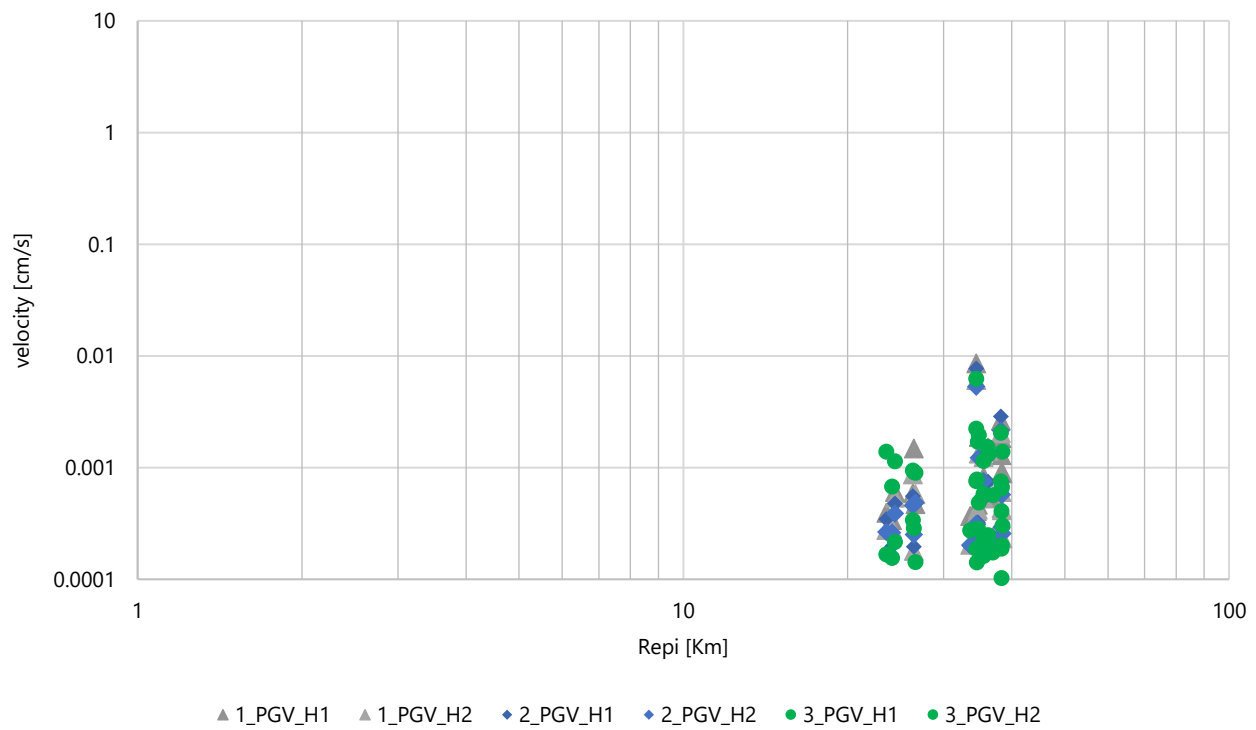
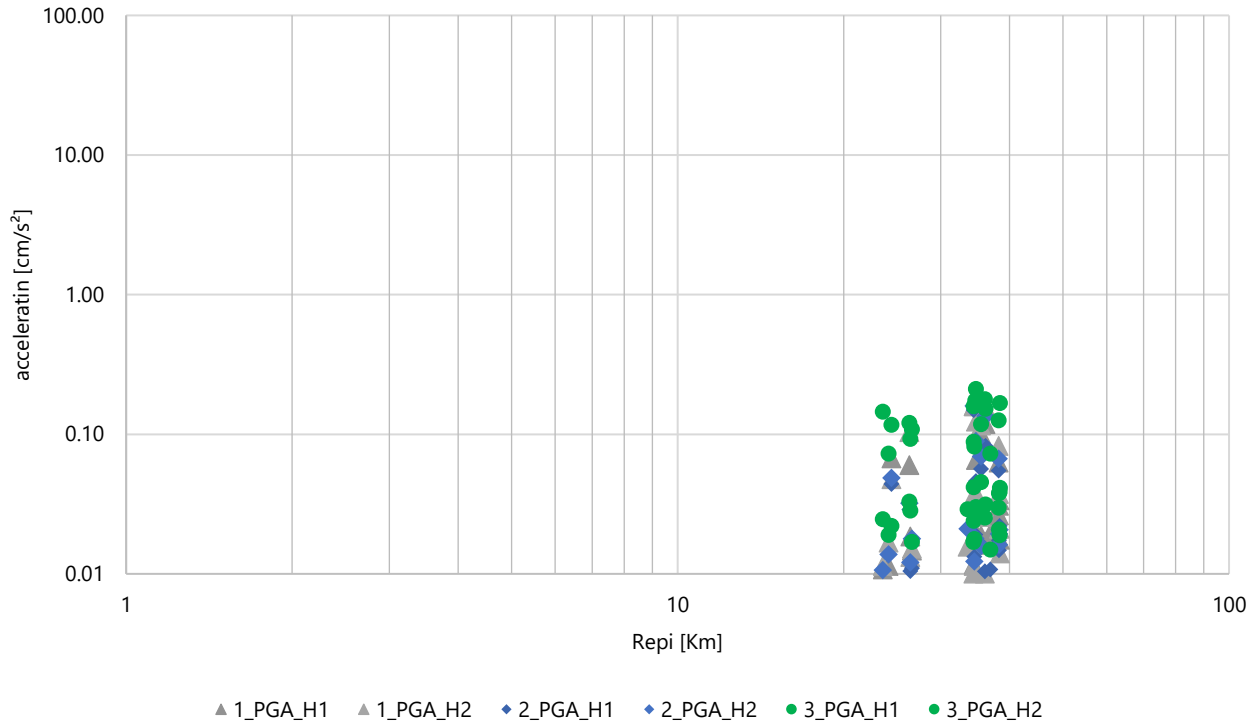


1\_XXX\_H1 = Horizontal component 1 CRL outside, 2\_XXX\_H1 = CRL inside, 3\_XXX\_H1 = Epson outside

# Maximum measured PGA and PGV

Location: 10\_Steenbergen

Period: 2022-2023

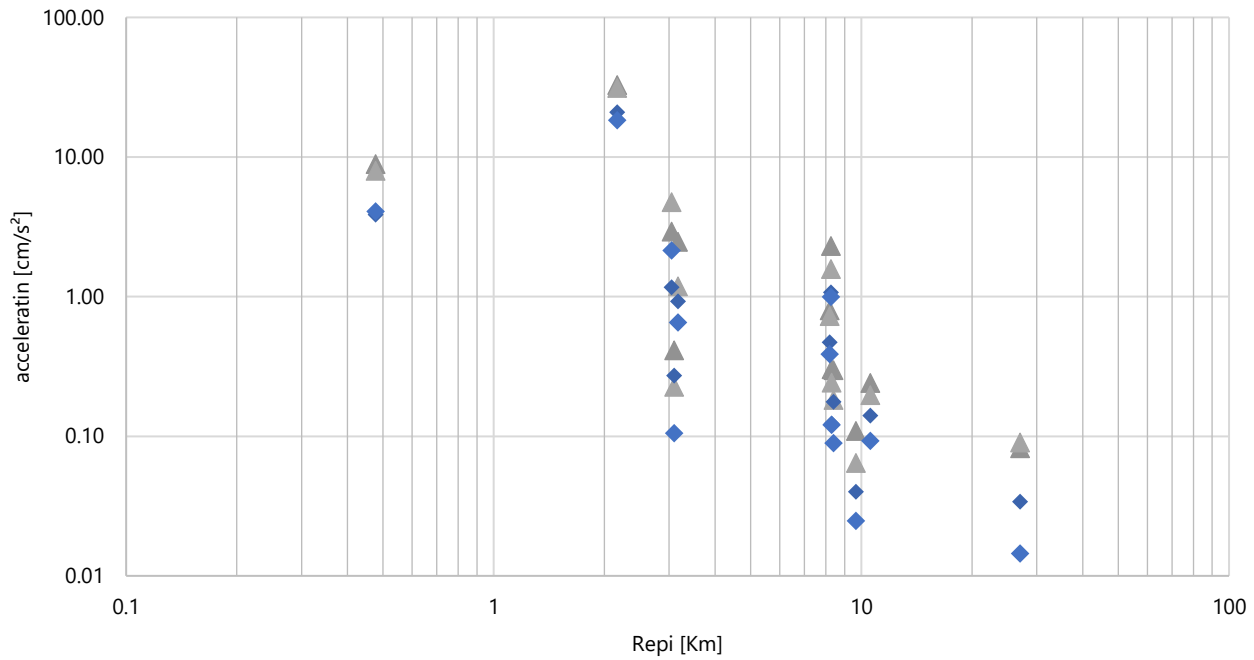


1\_XXX\_H1 = Horizontal component 1 CRL outside, 2\_XXX\_H1 = CRL inside, 3\_XXX\_H1 = Epson outside

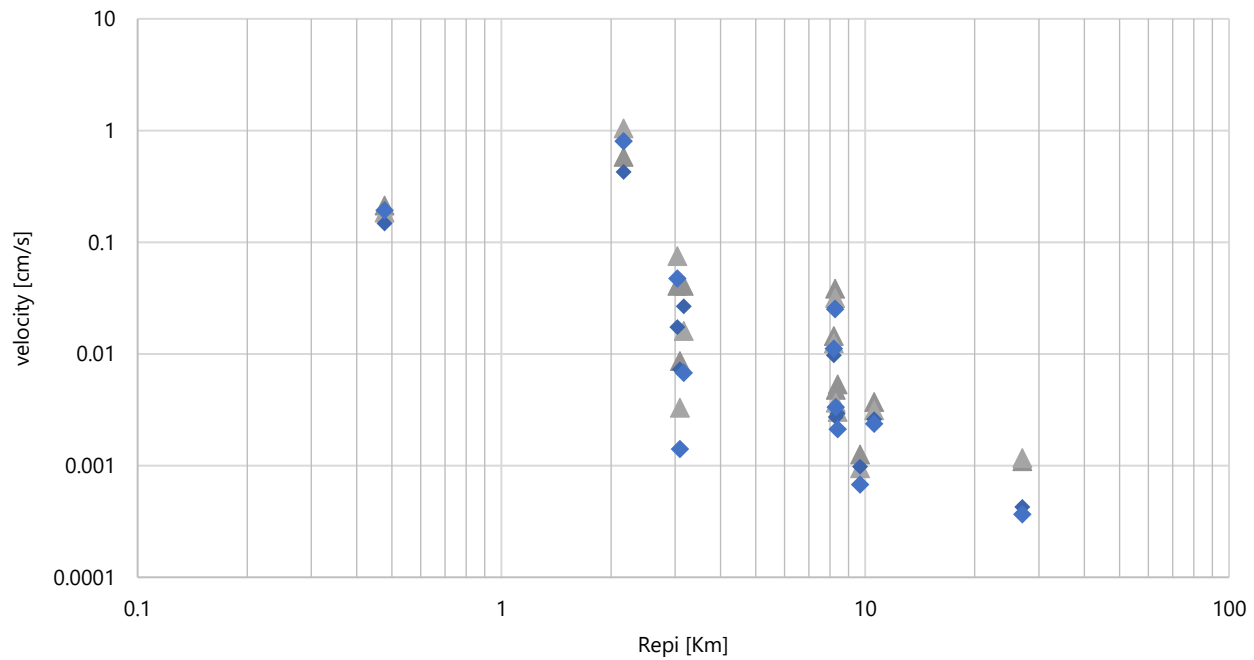
# Maximum measured PGA and PGV

Location: 11\_Loppersum

Period: 2022-2023



▲ 1\_PGA\_H1 ▲ 1\_PGA\_H2 ◆ 2\_PGA\_H1 ◆ 2\_PGA\_H2



▲ 1\_PGV\_H1 ▲ 1\_PGV\_H2 ◆ 2\_PGV\_H1 ◆ 2\_PGV\_H2

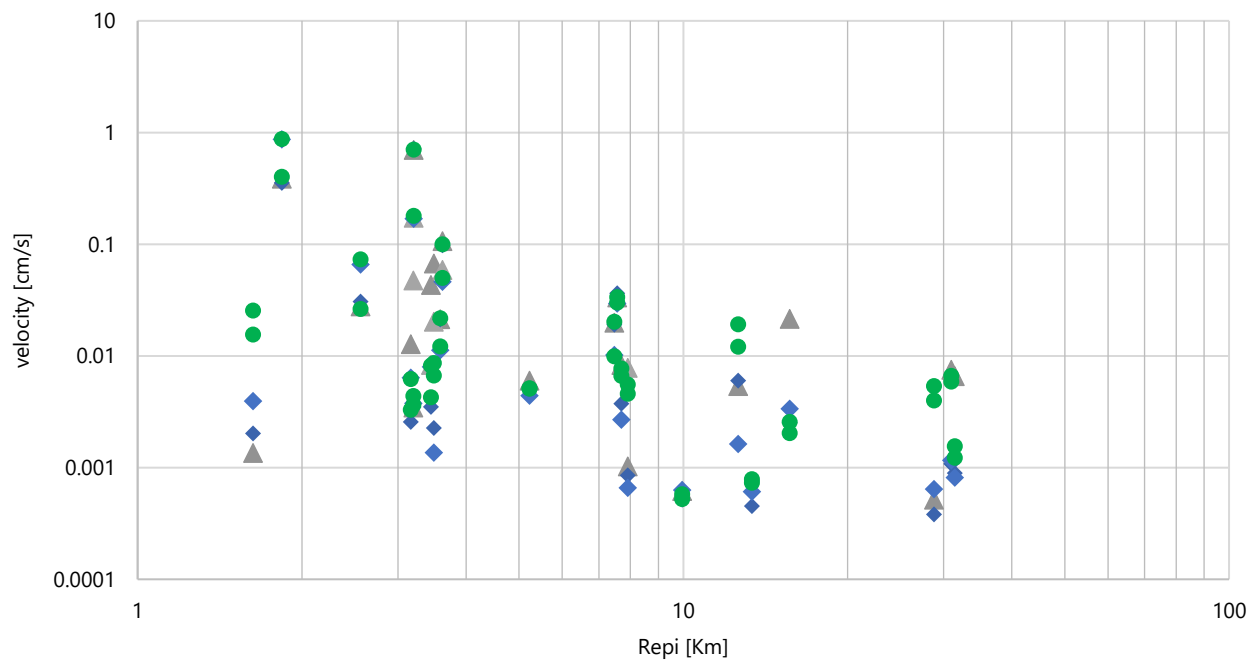
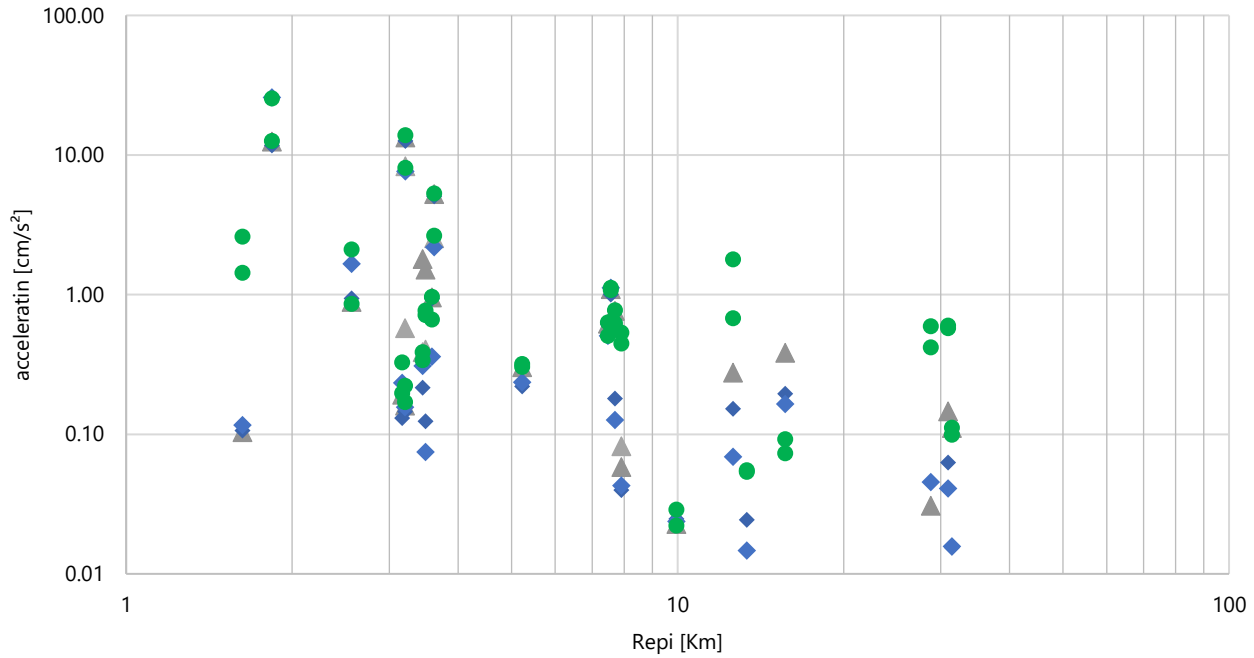
1\_XXX\_H1 = Horizontal component 1 CRL outside, 2\_XXX\_H1 = CRL inside, 3\_XXX\_H1 = Epson outside



# Maximum measured PGA and PGV

Location: 12\_Zeerijp

Period: 2022-2023

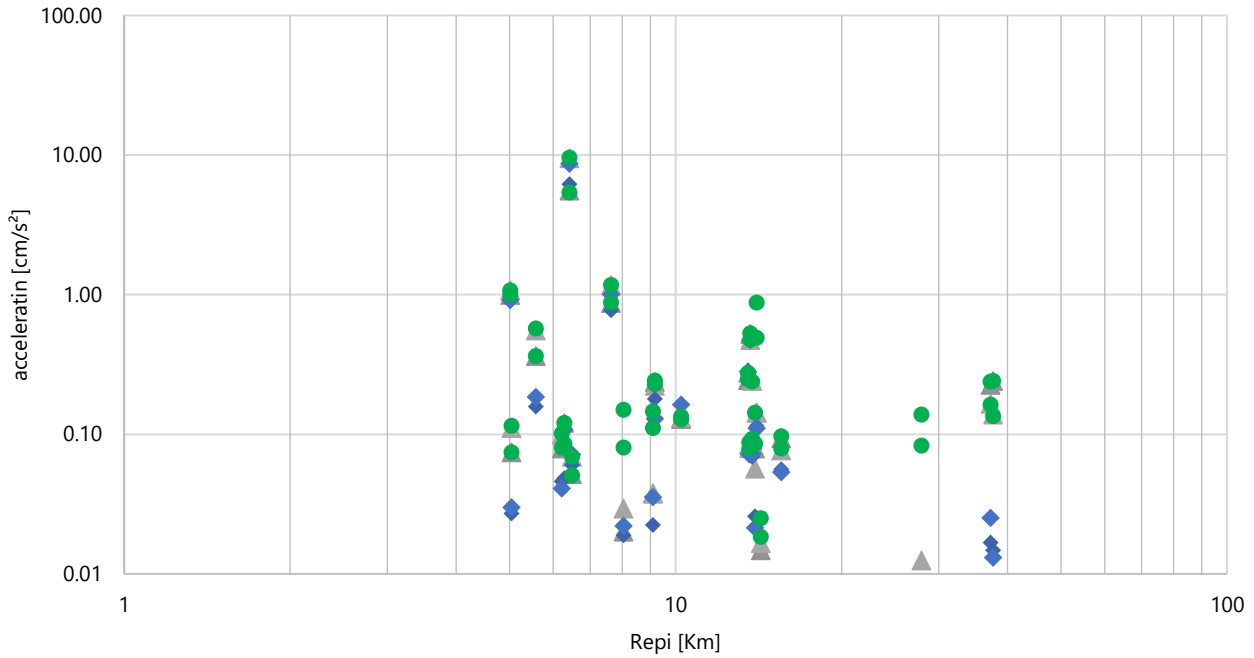


1\_XXX\_H1 = Horizontal component 1 CRL outside, 2\_XXX\_H1 = CRL inside, 3\_XXX\_H1 = Epson outside

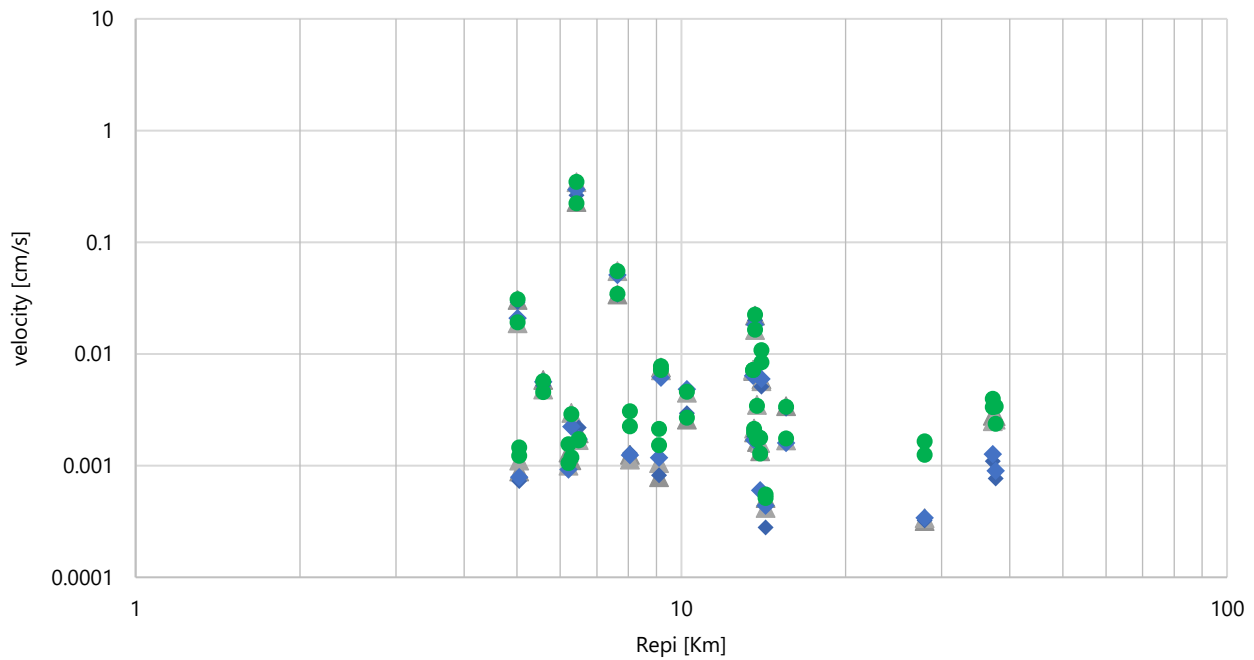
# Maximum measured PGA and PGV

Location: 13\_Appingedam

Period: 2022-2023



▲ 1\_PGA\_H1 ▲ 1\_PGA\_H2 ◆ 2\_PGA\_H1 ◆ 2\_PGA\_H2 ● 3\_PGA\_H1 ● 3\_PGA\_H2



▲ 1\_PGV\_H1 ▲ 1\_PGV\_H2 ◆ 2\_PGV\_H1 ◆ 2\_PGV\_H2 ● 3\_PGV\_H1 ● 3\_PGV\_H2

1\_XXX\_H1 = Horizontal component 1 CRL outside, 2\_XXX\_H1 = CRL inside, 3\_XXX\_H1 = Epson outside

# **Appendix C**

---

## Conditie monitoring



---

# Object Conditie monitoring

Pilot Tiltsensoren Groningen | Groningen

6421-206125-CM 1.0 | 15 juni 2023

Definitief

**Nationaal Coördinator Groningen**



Nationaal Coördinator Groningen

# Versiebeheer

## Documentinformatie

Projectnaam	Pilot Tiltensoren Groningen
Documentnaam	Object Conditie monitoring
Fugro Projectnr.	6421-206125
Fugro Documentnr.	6421-206125-CM
Versienummer	1.0
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land BV
Adres	Grondzijk 16, 9731 DG, Groningen

## Klantinformatie

Klant	Nationaal Coördinator Groningen
Adres	Paterswoldseweg 1, 9726BA, Groningen
Contactpersoon	-
Documentnr. Klant	-

## Documentgeschiedenis

Versie	Datum	Status	Wijzigingen	Opgesteld	Gecontroleerd	Vrijgegeven
1.0	15 juni 2023	Definitief				

---

# Inhoudsopgave

---

<b>1. Introductie</b>	<b>2</b>
<b>2. Schadeopname</b>	<b>4</b>
2.1 Introductie	4
2.2 Proces resultaten en statistieken	4
2.3 Gerapporteerde toegenomen schades	6
2.3.1 Schade 06_231	6
2.3.2 Schade 07_058	6
2.3.3 Schade 07_059	6
2.3.4 Schade 07_066	7
2.3.5 Schade 12_041	7
2.3.6 Schade 12_244	7
2.3.7 Schade 13_064	7
2.4 Kwaliteitscontrole schadeopname	8
2.4.1 Schades nabij grote anomalieën in de tiltmetingen	8
2.4.2 Willekeurige controles per locatie	9
<b>3. Laserscan metingen</b>	<b>10</b>
3.1 Introductie	10
3.2 Object 01	12
3.3 Object 03	13
3.4 Object 04	14
3.5 Object 05	15
3.6 Object 06	16
3.7 Object 07	17
3.8 Object 08	19
3.9 Object 09	20
3.10 Object 10	21
3.11 Object 11	22
3.12 Object 12	23
3.13 Object 13	24

## Bijlagen

---

<b>Appendix A</b>	<b>Schadeopname protocol</b>
<b>Appendix B</b>	<b>Resultaten opnames Pilot Project Tiltensoren</b>
<b>Appendix C</b>	<b>Toegenomen schades</b>

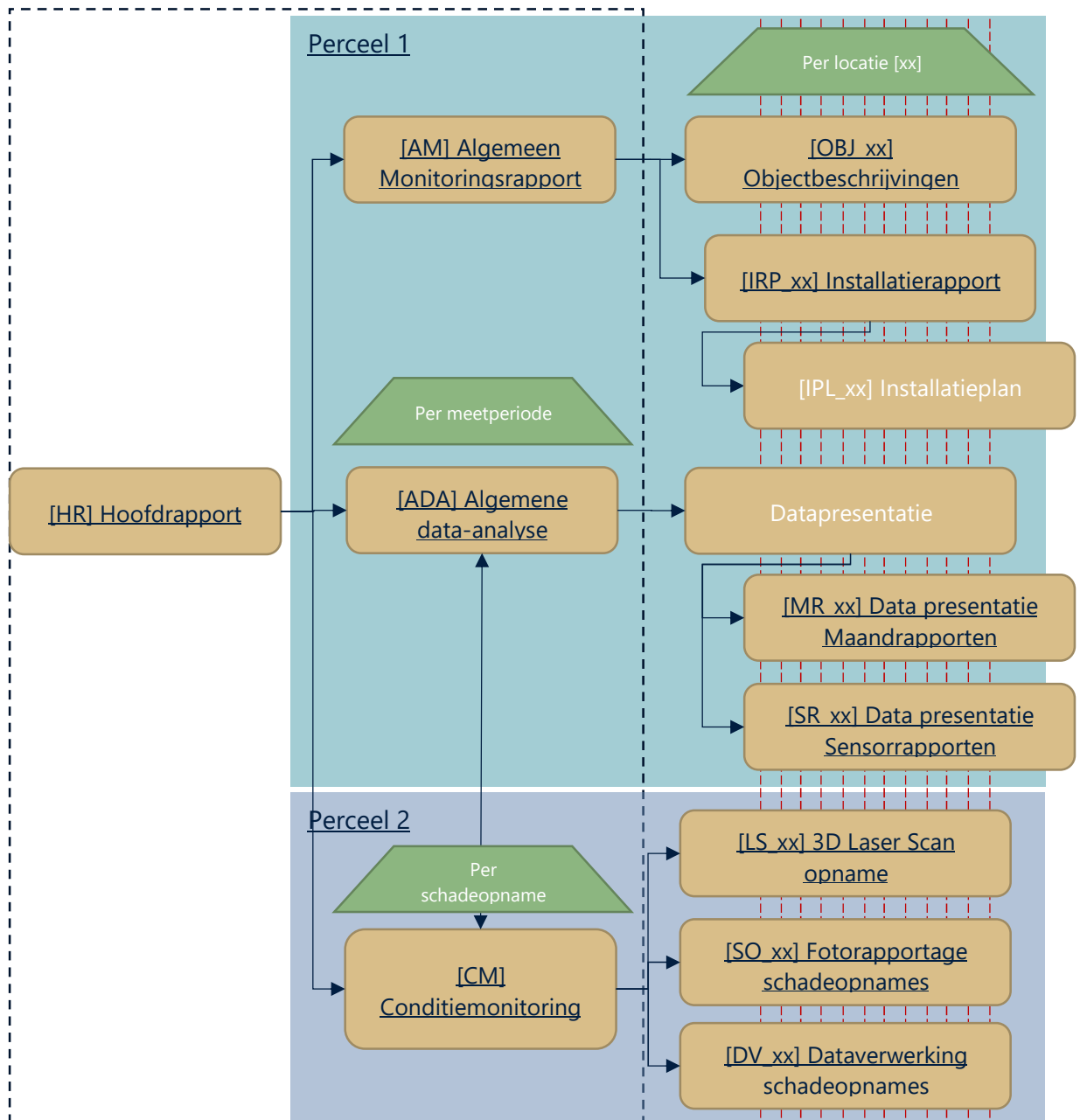
---

## 1. Introductie

Dit rapport is onderdeel van de Pilot Tiltsensoren. Het bevat de relevante geanonimiseerde resultaten van de schade-opnames die zijn uitgevoerd door Hanselman en de laserscan metingen uitgevoerd door Fugro. Voor de schade-opnames is ook een kwaliteitscontrole uitgevoerd in samenspraak met Hanselman.

Vanwege de Algemene Verordening Gegevensbescherming (AVG) en afspraken met de bewoners en/of eigenaren zijn de locatie-specifieke rapportages privacygevoelig en derhalve niet openbaar. Deze rapportages en de meetdata vormen wel de basis voor de analyses. Daar waar privacygevoelige informatie wordt gebruikt, is deze geanonimiseerd of er wordt alleen informatie opgenomen in de te publiceren rapporten als het adres niet kan worden herleid. Onderzoekers die specifieke resultaten willen bekijken of verifiëren, kunnen na toestemming toegang verleend worden. Data herleidbaar tot niet-openbare pilotlocaties is dus uit privacyoverwegingen weggelaten uit dit rapport, maar is wel gedeeld met en beoordeeld door de Nationaal Coördinator Groningen en de Technische Commissie.

Onderhevig rapport is input voor de Algemene Data Analyse. Het verband tussen de diverse rapportages is weergegeven in onderstaande schema:





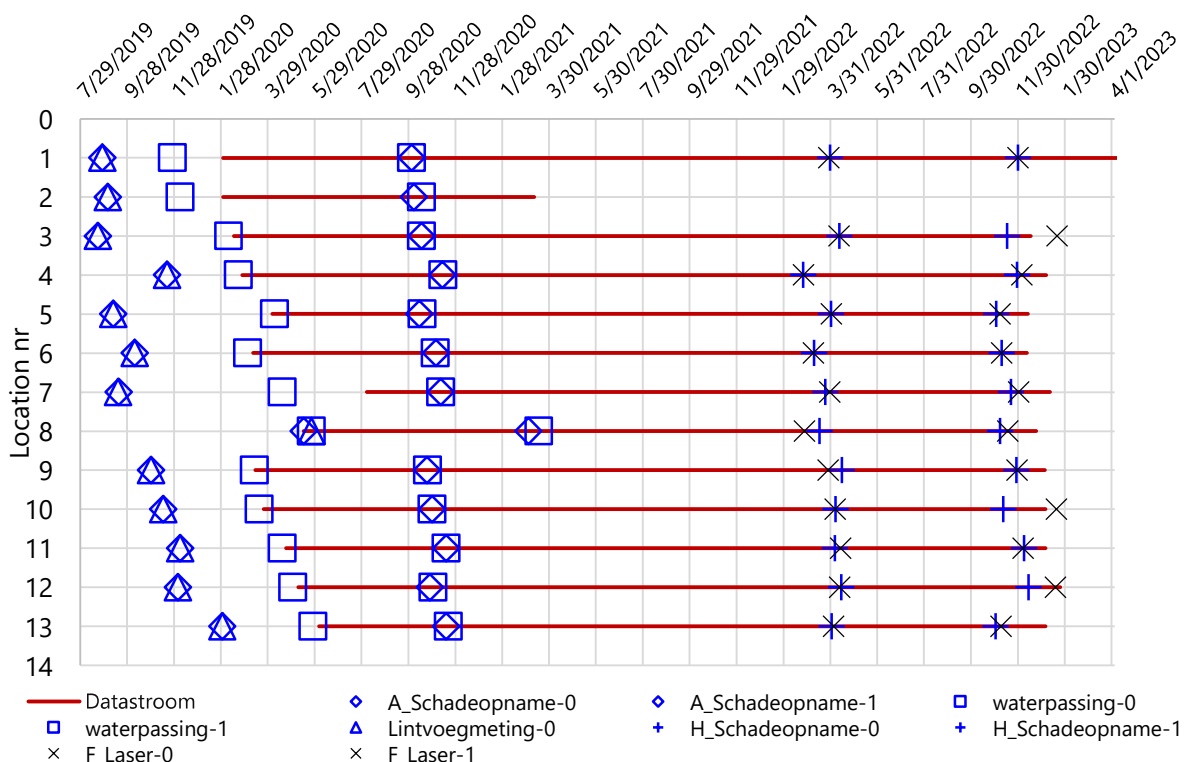
## 2. Schadeopname

### 2.1 Introductie

Eind 2019 – begin 2020 en eind 2020 zijn een referentieopname en een heropname uitgevoerd door Archipunt. Uit een analyse van de resultaten is gebleken dat deze opnames onvoldoende betrouwbaar waren om te gebruiken voor het doel van de Pilot Tiltensoren. Begin 2022 is gestart met een schadeopname volgens een nieuw protocol uitgevoerd door Hanselman. Dit nieuwe protocol is tot stand gekomen door aanbevelingen van de Technische Commissie en de opgedane ervaring in de eerdere periode en is vastgelegd in het document 1418-0227-010\_opzet-meetprotocol\_20220112.pdf, opgenomen in dit document als Appendix A. De resultaten van de schadeopnames zijn gegeven in Appendix B.

### 2.2 Proces resultaten en statistieken

De 0-metingen of referentiemetingen van de objecten volgens het nieuwe protocol en de laserscans zijn in de periode rondom maart 2022 uitgevoerd en de herhalingsmeting in de periode rondom november 2022. De datums van de schadeopname en het uitvoeren van de laserscans zijn weergegeven in Figuur 2.1. Voor volledigheid zijn in Figuur 2.1 ook de schadeopnames door Archipunt weergegeven maar deze zijn niet gebruikt voor nadere analyses.

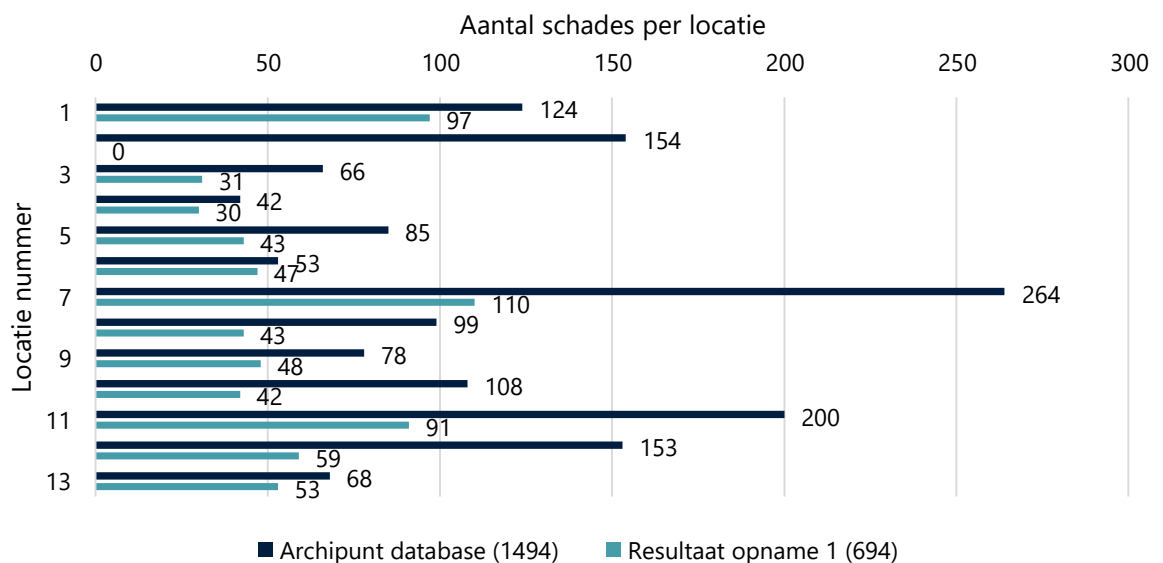


Figuur 2.1: Schadeopname-momenten in de tijd (A: Archipunt, H: Hanselman)

Als basis voor de opnames volgens het nieuwe protocol zijn de schadeopnames uitgevoerd door Archipunt gebruikt. De geïdentificeerde schades en naamgeving van de schades zijn

overgenomen. Tijdens de referentiemeting is beoordeeld of het een relevante schade is en zijn relevante schades die niet aanwezig waren in de rapporten van Archipunt toegevoegd.

Door Archipunt zijn in totaal 1494<sup>1</sup> schades geïdentificeerd bij 13 locaties. Door Hanselman zijn deze schades beoordeeld of het relevante schades zijn die mee worden genomen in de opnames. Schades die niet relevant zijn, zijn niet meegenomen in het opnameproces. De classificatie "niet relevant" is bijvoorbeeld gegeven aan gebreken bestaande uit loszittende en verweerde onderdelen (stucwerk/metselwerk), naden en enkel gescheurde stenen (bakfouten). Daarnaast zijn schades niet meegenomen doordat de schade niet bereikbaar was, niet conform het protocol konden worden opgenomen, de schade hersteld is of door het stopzetten van locatie 2. Uiteindelijk is van 694 schades door Hanselman een beoordeling gegeven of de schade is toegenomen of de schade gelijk is gebleven t.o.v. de referentiemeting (Appendix B). Als referentiemeting is de nulmeting van Hanselman genomen. Toename van schade kenmerkt zich in het algemeen tot zichtbare verlenging van scheuren. Er is geen eenduidige maat te geven voor de lengtetoe name waarbij wordt gesproken over schadetoename. Deze is namelijk afhankelijk van de materialen, de referentiepunten en de scheurwijdte nabij het uiteinde van de scheur. Als indicatie kan worden gesteld dat een verlenging met 1 tot 10 cm zichtbaar is. De zichtbaarheid is daarbij van toepassing op het oog en op de foto.



Figuur 2.2: Overzicht aantal schades per locatie en opname moment

Figuur 2.3: Verloop van schades in het opnameproces

<sup>1</sup> Dit aantal wijkt af van het aantal gerapporteerd in eerdere rapportages. Tijdens het uitvoeren van de schadeopnames volgens het nieuwe protocol is geconstateerd dat er schades ontbreken in de schadelijsten t.o.v. de PDF rapporten van Archipunt.

## 2.3 Gerapporteerde toegenomen schades

Na de twee opnames van de schade door Hanselman in 2022, zijn er zeven schades gerapporteerd als zijnde toegenomen (Appendix B). Deze zeven schades bevinden zich op vier locaties zoals weergegeven in Tabel 2.1 en worden in deze sectie kort uitgelicht. Alle andere 687 overige schades zijn op basis van de visuele inspecties en vergelijkingen niet toegenomen.

Tabel 2.1: Toegenomen schades volgens Hanselman

ID	Opmerking Archipunt tijdens opname	Opmerking Hanselman tijdens opname	
		Nulopname	Heropname
06_231 <sup>1</sup>	-	-	-
07_058 <sup>1</sup>	-	-	-
07_059	-	-	Schade lijkt te zijn toegenomen bij heropname
07_066 <sup>1</sup>	-	-	-
12_041	Geen foto beschikbaar van Opname 2	-	20221223; schade lijkt te zijn toegenomen bij heropname
12_244	Geen foto beschikbaar van Opname 2	-	20221214: schade lijkt in lengte iets te zijn toegenomen bij heropname
13_064	Ander referentiepunt tussen nul-opname en de 1 <sup>e</sup> herhaalmeting? Schade is door en door gescheurd met schade 43	Schade is hersteld	Schade is na eerste opname opnieuw ontstaan (na reparatie)

1) Op basis van voortschrijdend inzicht is door Hanselman geconcludeerd dat de schade is toegenomen

### 2.3.1 Schade 06\_231

De opnames door Hanselman zijn samen met de oorspronkelijke opnames door Archipunt weergegeven in Appendix C. De locatie van de schade is een binnenmuur van een woning op de 1<sup>ste</sup> verdieping. De scheurlengte lijkt tijdens fase 2 te zijn toegenomen van 49 tot 66 cm.

### 2.3.2 Schade 07\_058

De opnames door Hanselman zijn samen met de oorspronkelijke opnames door Archipunt weergegeven in Appendix C. De locatie van de schade is een buitenmuur van een schuur. De scheurlengte lijkt tijdens fase 2 te zijn toegenomen van 108 tot 122 cm.

### 2.3.3 Schade 07\_059

De opnames door Hanselman zijn samen met de oorspronkelijke opnames door Archipunt weergegeven in Appendix C. De locatie van de schade is een buitenmuur van een schuur. De scheurlengte lijkt tijdens fase 2 te zijn toegenomen van 83 tot 138 cm.

#### **2.3.4 Schade 07\_066**

De opnames door Hanselman zijn samen met de oorspronkelijke opnames door Archipunt weergegeven in Appendix C. De locatie van de schade is een buitenmuur van een schuur. De scheurlengte lijkt tijdens fase 2 te zijn toegenomen van 113 tot 119 cm.

#### **2.3.5 Schade 12\_041**

De opnames door Hanselman zijn samen met de oorspronkelijke opnames door Archipunt weergegeven in Appendix C. De locatie van de schade is een buitenmuur van een woning op de begane grond. De scheurlengte lijkt tijdens fase 2 te zijn toegenomen van 124 tot 127 cm.

#### **2.3.6 Schade 12\_244**

De opnames door Hanselman zijn samen met de oorspronkelijke opnames door Archipunt weergegeven in Appendix C. De locatie van de schade is een buitenmuur van een woning op de 1<sup>ste</sup> verdieping. De scheurlengte lijkt tijdens fase 2 te zijn toegenomen van 36 tot 39 cm.

#### **2.3.7 Schade 13\_064**

De opnames door Hanselman zijn samen met de oorspronkelijke opnames door Archipunt weergegeven in Appendix C. De locatie van de schade is een buitenmuur van een schuur die in een eerder stadium is hersteld. De schade lijkt daarna, tijdens fase 2, te zijn toegenomen van 0 tot 89 cm. Ten opzichte van de situatie voor herstel is het verschil beperkt.

## 2.4 Kwaliteitscontrole schadeopname

Aangezien slechts zeven van de 694 schades zijn aangemerkt als toegenomen door Hanselman, is besloten om na te gaan of de schades inderdaad niet zijn toegenomen voor

a) schades nabij grote anomalieën in de tiltmetingen, en

b) drie willekeurige schades per locatie.

Deze kwaliteitscontrole bestaat uit het vergelijken van de nul- en heropname door Hanselman. De opnames door Archipunt zijn ook weergegeven, voor zover beschikbaar. Bij een deel van de schades is geen foto van Archipunt beschikbaar omdat er geen schadetoename van toepassing zou zijn. Uit een globale vergelijking met de Archipunt-foto's blijken geen grote verschillen. De gedetailleerde vergelijking is uitgevoerd bij de foto's die door Hanselman zijn gemaakt.

In enkele gevallen is geconstateerd dat de definitie van de schade is veranderd, terwijl de schade zelf niet veranderd is. Ook is enkele keren vastgesteld dat de schade in één van beide opnames niet volledig is vastgelegd, waardoor de schade niet gecontroleerd kon worden. Voor deze schades is de beoordeling van de inspecteur van Hanselman gevolgd, en er dus geen sprake is van een toename in schade.

De foto's en vergelijkingen behorende bij de kwaliteitscontrole zijn gedeeld met de opdrachtgever en Technische Commissie, maar vanwege mogelijke privacy-issues niet als bijlage aan dit rapport toegevoegd.

### 2.4.1 Schades nabij grote anomalieën in de tiltmetingen

In 1418-0227010.ADA zijn 25 grote anomalieën vermeld voor de meetperiode 2022, waarvan de meeste op locatie 07, waar een verbouwing werd uitgevoerd. De geconstateerde meetbeelden zijn vrijwel uitsluitend "blijvende verschuiving meetbeeld omhoog of omlaag >0,05". De drie sensoren 07TM03, 07TM13 en 07TM14 op locatie 07 zijn verantwoordelijk voor het grootste deel van deze afwijkende meetbeelden en vier schades nabij enkele van deze sensoren zijn uitgelicht voor een kwaliteitscontrole, zie Tabel 2.2. De conclusie van deze controles is dat de foto's in het algemeen geschikt zijn om de schade-toename te kunnen beoordelen en dat ze in dat geval niet duiden op een toename van scheurlengte.

Tabel 2.2: Schades nabij grote anomalieën

Sensor	Schades		Schade verandering	
	1	2	1	2
07TM03	07_039	07_041	Nee	Nee <sup>2</sup>
07TM13	07_065	-	Nee	-
07TM14	07_063	-	Nee <sup>1</sup>	-

1) Definitie schade veranderd; schade onveranderd  
2) Schade niet volledig zichtbaar in beide opnames; schade onveranderd

## 2.4.2 Willekeurige controles per locatie

Voor de locaties 01 t/m 13 (m.u.v. locatie 02) zijn per locatie drie schades willekeurig gekozen voor de kwaliteitscontrole. Steekproefsgewijs zijn in totaal 36 schades gecontroleerd en is nagegaan of het schadebeeld onveranderd is gebleven, zie Tabel 2.3. De conclusie van deze controles is dat de foto's in het algemeen geschikt zijn om de schade-toename te kunnen beoordelen en dat ze in dat geval niet duiden op een toename van scheurlengte.

Tabel 2.3: Willekeurige schades per locatie

Loc.	Schades			Schade verandering		
	1	2	3	1	2	3
01	01_040	01_004	01_116	Nee <sup>1</sup>	Nee <sup>1</sup>	Nee
03	03_021	03_003	03_058	Nee <sup>1</sup>	Nee	Nee
04	04_023	04_026	04_037	Nee	Nee	Nee
05	05_002	05_254	05_030	Nee	Nee	Nee
06	06_215	06_233	06_009	Nee <sup>1</sup>	Nee	Nee <sup>1</sup>
07	07_088	07_101	07_167	Nee	Nee	Nee
08	08_096	08_066	08_044	Nee	Nee	Nee
09	09_013	09_249	09_004	Nee <sup>2</sup>	Nee	Nee
10	10_025	10_224	10_313	Nee	Nee	Nee
11	11_214	11_120	11_045	Nee	Nee	Nee
12	12_021	12_252	12_013	Nee	Nee	Nee
13	13_010	13_061	13_029	Nee	Nee	Nee

1) Definitie schade veranderd; schade onveranderd  
2) Schade niet volledig zichtbaar in beide opnames; schade onveranderd

---

## 3. Laserscan metingen

### 3.1 Introductie

In het voorjaar 2022 zijn op 12 locaties de objecten vastgelegd door middel van 3D laserscanning aan de binnen- en buitenkant van de gebouwen. In het najaar is de 3D laserscanning herhaald aan de buitenzijde. Het doel van de laserscanning is om de toestand van de constructie zowel aan de binnen- als buitenzijde vast te leggen. Hiermee is een 3D model van het bouwwerk verkregen, inclusief een globaal beeld van de aanwezige schades. Ook zijn de meetbouten vastgelegd met de laserscan. Vanwege de aanwezigheid van begroeiing was een deel van de bouten niet (goed) zichtbaar. De eventuele vastgelegde verplaatsingen of rotaties van de muren aan de buitenkant van het gebouw kunnen vergeleken worden met de tiltmetingen en de waargenomen schades. In de volgende secties is voor alle objecten in de laserscan data gezocht naar significante verplaatsingen en/of rotaties en indien mogelijk, vergeleken met de schadetoenames.

Belangrijk is dat de laser het object scant, wat resulteert in een grote verzameling van punten ("puntenwolk") die het object beschrijft. Door de puntenwolken van de nulmeting en heropname te vergelijken, kan een verplaatsing of tiltverandering worden gevonden. Dit betekent niet dat tijdens de nulmeting en heropname exact dezelfde punten gescand worden. De relatieve verplaatsing wordt bepaald op basis van de kortste afstand tussen een oud en een nieuw punt. Hoewel de laserscan nauwkeurig is tot 1 á 2 mm (over korte afstand), is de relatieve verplaatsing sterk afhankelijk van het aantal punten en de richting van het te meten vlak. Indien een gevel naar of van het apparaat beweegt (een horizontale beweging) is de nauwkeurigheid in de orde van grootte van +/- 2 mm. Voor een beweging dwars op de meetrichting (verticaal) is de nauwkeurigheid in de orde van grootte van +/- 4 mm. Voor de vergelijking van de hoogtes van de bouten is een gedetailleerde analyse uitgevoerd. Indien nodig, bijvoorbeeld vanwege begroeiing, zijn alternatieve punten geanalyseerd die zicht nabij (meestal boven) de bouten bevonden. De nauwkeurigheid van de verticale verplaatsing is hierdoor verbeterd tot naar schatting +/- 2 mm.

Op basis van de vergelijking van de puntenwolken zijn aanzichten gemaakt van de gebouwen op de 12 meetlocaties. Daarbij is door middel van kleurverschillen gevisualiseerd of, en zo ja, waar er sprake is van verschillen tussen de 0-opname en de heropname. Een voorbeeld is gegeven voor locatie 08 in Figuur 3.1. Tevens zijn op diverse plaatsen doorsnedes gemaakt van de buitengevel nabij tiltsensoren.



Figuur 3.1: Achteraanzicht object 08



## 3.2 Object 01

De nulopname op locatie 01 heeft plaatsgevonden op 29 maart 2022 en de heropname op 30 november 2022. Uit de aanzichten en doorsnedes op basis van de laserscan data blijkt dat er in deze periode geen significante verplaatsingen en/of rotaties zijn opgetreden van het object. De verticale verplaatsingen van de bouten en/of alternatieve punten zijn weergegeven in Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Verticale verplaatsingen object 01 op basis van laserscandata en NAP metingen

Punt	Type	Laserscan		
		Nulmeting	Herhalingsmeting	Vershil
101 <sup>1</sup>	-	-	-	-
102	Alternatief	2,970	2,971	0,001
103	Bout	1,000	1,000	0,000
104	Bout	0,670	0,673	0,003
105	Alternatief	2,270	2,267	-0,003
106	Alternatief	2,709	2,709	0,000
107	Alternatief	1,057	1,058	0,001
108	Alternatief	0,890	0,890	0,000
109	Alternatief	2,377	2,378	0,001
110	Alternatief	2,470	2,467	-0,003
111	Alternatief	2,402	2,398	-0,004
112 <sup>1</sup>	-	-	-	-
113	Alternatief	2,781	2,778	-0,003
114 <sup>1</sup>	-	-	-	-
115 <sup>1</sup>	-	-	-	-
116 <sup>1</sup>	-	-	-	-
117 <sup>1</sup>	-	-	-	-

1) De punten 101, 112 en 113 t/m 117 konden om diverse redenen niet worden opgemeten

### 3.3 Object 03

De nulopname op locatie 03 heeft plaatsgevonden op 11 april 2022 en de heropname op 19 januari 2023. Uit de aanzichten en doorsnedes op basis van de laserscan data blijkt dat er in deze periode geen significante verplaatsingen en/of rotaties zijn opgetreden van het object. De verticale verplaatsingen van de bouten en/of alternatieve punten zijn weergegeven in Tabel 3.2.

Tabel 3.2: Verticale verplaatsingen object 03 op basis van laserscandata

Punt	Type	Laserscan		
		Nulmeting	Herhalingsmeting	Vershil
301 <sup>1</sup>	-	-	-	-
302	Bout	1,079	1,082	0,003
303	Bout	1,121	1,118	-0,003
304 <sup>1</sup>	-	-	-	-
305	Bout	1,443	1,442	-0,001
306	Bout	1,467	1,468	0,001
307	Bout	1,549	1,553	0,004
308	Alternatief	2,605	2,604	-0,001
309 <sup>1</sup>	-	-	-	-
310	Bout	1,387	1,390	0,003
311	Alternatief	3,457	3,455	-0,002
312	Bout	1,421	1,420	-0,001
313	Bout	1,353	1,351	-0,002

1) De punten 301, 304 en 309 konden om diverse redenen niet worden opgemeten

### 3.4 Object 04

De nulopname op locatie 04 heeft plaatsgevonden op 24 februari 2022 en de heropname op 5 december 2022. Uit de aanzichten en doorsnedes op basis van de laserscan data blijkt dat er in deze periode geen significante verplaatsingen en/of rotaties zijn opgetreden van het object. Van belang is dat de data van de tilsensoren wijst op een blijvende rotatie door stormen in februari. Deze rotatie is niet zichtbaar in de vergelijking van de laserscans doordat de eerste laserscan pas na de stormen is uitgevoerd. De verticale verplaatsingen van de bouten en/of alternatieve punten zijn weergegeven in Tabel 3.3.

Tabel 3.3: Verticale verplaatsingen object 04 op basis van laserscandata

Punt	Type	Laserscan		
		Nulmeting	Herhalingsmeting	Vershil
601	Bout	1,000	1,000	0,000
602 <sup>1</sup>	-	-	-	-
603	Bout	0,810	0,813	0,003
604 <sup>1</sup>	-	-	-	-
605	Bout	0,942	0,940	-0,002
606	Bout	1,060	1,063	0,003
607	Bout	1,704	1,706	0,002
608	Bout	1,575	1,573	-0,002
609	Alternatief	4,918	4,921	0,003
610	Alternatief	4,980	4,979	-0,001
611	Bout	1,435	1,436	0,001
612	Bout	1,485	1,484	-0,001
613	Bout	1,182	1,185	0,003
614	Alternatief	1,717	1,716	-0,001
615	Bout	1,555	1,553	-0,002
616	Bout	0,995	0,994	-0,001
1) De punten 602 en 604 konden om diverse redenen niet worden opgemeten				

### 3.5 Object 05

De nulopname op locatie 05 heeft plaatsgevonden op 1 april 2022 en de heropname op 7 november 2022. Uit de aanzichten en doorsnedes op basis van de laserscan data blijkt dat er in deze periode geen significante verplaatsingen en/of rotaties zijn opgetreden van het object. De verticale verplaatsingen van de bouten en/of alternatieve punten zijn weergegeven in Tabel 3.4.

Tabel 3.4: Verticale verplaatsingen object 05 op basis van laserscandata

Punt	Type	Laserscan		
		Nulmeting	Herhalingsmeting	Vershil
701	Bout	0,000	0,000	0,000
702 <sup>1</sup>	-	-	-	-
703	Bout	0,194	0,193	-0,001
704	Alternatief	4,439	4,437	-0,002
705	Bout	0,124	0,124	0,000
706	Alternatief	2,264	2,265	0,001
707	Bout	0,044	0,043	-0,001
708	Bout	0,036	0,038	0,002
709	Alternatief	2,274	2,273	-0,001
710	Alternatief	0,061	0,059	-0,002
711	Alternatief	0,125	0,124	-0,001
712	Bout	-0,005	-0,005	0,000

1) Het punten 702 kon om diverse redenen niet worden opgemeten

### 3.6 Object 06

De nulopname op locatie 06 heeft plaatsgevonden op 9 maart 2022 en de heropname op 9 november 2022. Uit de aanzichten en doorsnedes op basis van de laserscan data blijkt dat er in deze periode geen significante verplaatsingen en/of rotaties zijn opgetreden van het object. De verticale verplaatsingen van de bouten en/of alternatieve punten zijn weergegeven in Tabel 3.5.

Tabel 3.5: Verticale verplaatsingen object 06 op basis van laserscandata en

Punt	Type	Laserscan		
		Nulmeting	Herhalingsmeting	Vershil
501	Alternatief	3,394	3,394	0,000
502	Alternatief	3,298	3,296	-0,002
503	Bout	1,000	0,998	-0,002
504	Bout	0,997	0,995	-0,002
505	Bout	0,997	0,996	-0,001
506	Bout	1,000	1,000	0,000
507	Alternatief	3,283	3,281	-0,002
508	Bout	0,993	0,993	0,000
509	Alternatief	3,287	3,289	0,002
510	Alternatief	3,298	3,295	-0,003
511 <sup>1</sup>	-	-	-	-
512	Alternatief	3,388	3,387	-0,001
513 <sup>1</sup>	-	-	-	-

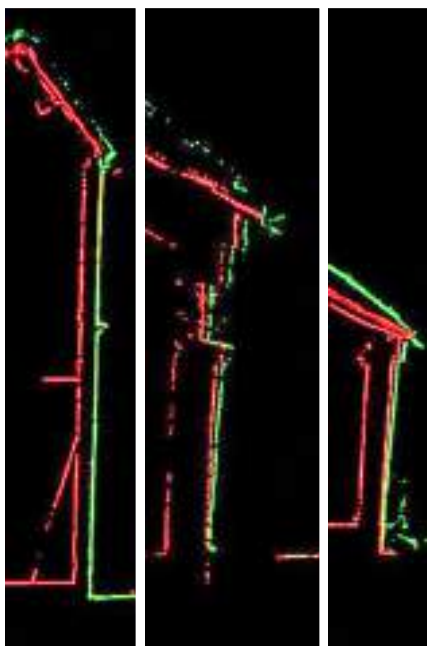
1) De punten 511 en 513 konden om diverse redenen niet worden opgemeten

### 3.7 Object 07

De nulopname op locatie 07 heeft plaatsgevonden op 30 maart 2022 en de heropname op 1 december 2022. Er zijn in deze periode significante verplaatsingen en rotaties zichtbaar in de aanzichten en doorsnedes op basis van de laserscan data. Een mogelijke verklaring is de uitvoering van een verbouwing in 2022, welke tot een (tijdelijk) minder stabiele situatie heeft geleid, of een gevoeligheid voor uitdroging van de ondergrond.

Voornamelijk de muren die de schuur flankeren tonen duidelijke rotaties naar buiten met nabij de top van de muur ( $\pm 2$  m t.o.v. MV) relatieve horizontale verplaatsingen van 5 tot 7 cm. De achtergevel van de schuur toont relatieve horizontale verplaatsingen tot 2-3 cm nabij de top van de gevel ( $\pm 7$  m t.o.v. MV), al is dit niet zo duidelijk zichtbaar in de verticale doorsnedes.

Drie schade toenames op locatie 07 zijn waargenomen tijdens fase 2 van de Pilot Tiltensoren: bij schade nummers 07\_58, 07\_59 en 07\_66. Schades 07\_58 en 07\_59 bevinden zich op de zuidoostelijke hoek van de schuur. Schade 07\_66 bevindt zich op de zuidelijke muur van de schuur. Drie verticale doorsnedes in de laserscan data nabij deze sensoren zijn weergegeven in Figuur 3.2. Het is goed zichtbaar dat de schades zich bevinden in muren die relatief grote rotaties en verplaatsingen hebben ondergaan.



Figuur 3.2: Verticale doorsnedes van laserscan data van 30-03-2022 (rood) en 01-12-2022 (groen)

De verticale verplaatsingen van de bouten en/of alternatieve punten zijn weergegeven in Tabel 3.6.

Tabel 3.6: Verticale verplaatsingen object 07 op basis van laserscandata

Punt	Type	Laserscan		
		Nulmeting	Herhalingsmeting	Vershil
201	Bout	1,470	1,467	-0,003
202	Bout	1,674	1,670	-0,004
203	Bout	1,711	1,708	-0,003
204	Bout	1,657	1,655	-0,002
205	Bout	1,838	1,836	-0,002
206	Bout	1,828	1,825	-0,003
207	Alternatief	4,049	4,045	-0,004
208	Alternatief	4,058	4,055	-0,003
209	Alternatief	5,964	5,962	-0,002
210	Alternatief	5,924	5,922	-0,002
211	Alternatief	6,097	6,094	-0,003
212	Alternatief	6,053	6,051	-0,002
213	Bout	1,449	1,446	-0,003
214	Bout	1,264	1,264	0,000
215	Bout	1,189	1,185	-0,004
216 <sup>1</sup>	-	-	-	-
217 <sup>1</sup>	-	-	-	-
218	Bout	1,364	1,365	0,001
219 <sup>1</sup>	-	-	-	-
220	Bout	1,000	1,000	0,000

1) De punten 216, 217 en 219 konden om diverse redenen niet worden opgemeten

### 3.8 Object 08

De nulopname op locatie 08 heeft plaatsgevonden op 25 januari 2022 en de heropname op 27 november 2022. Uit de aanzichten en doorsnedes op basis van de laserscan data blijkt dat er in deze periode geen significante verplaatsingen en/of rotaties zijn opgetreden van het object. De verticale verplaatsingen van de bouten en/of alternatieve punten zijn weergegeven in Tabel 3.7.

Tabel 3.7: Verticale verplaatsingen object 08 op basis van laserscandata

Punt	Type	Laserscan		
		Nulmeting	Herhalingsmeting	Vershil
1301	Alternatief	1,000	1,000	0,000
1302	Alternatief	0,945	0,948	0,003
1303	Alternatief	0,939	0,942	0,003
1304	Alternatief	1,121	1,118	-0,003
1305	Alternatief	1,278	1,276	-0,002
1306	Alternatief	1,547	1,544	-0,003
1307	Alternatief	1,238	1,235	-0,003
1308	Alternatief	1,135	1,133	-0,002



### 3.9 Object 09

De nulopname op locatie 09 heeft plaatsgevonden op 28 maart 2022 en de heropname op 29 november 2022. Uit de aanzichten en doorsnedes op basis van de laserscan data blijkt dat er in deze periode geen significante verplaatsingen en/of rotaties zijn opgetreden van het object. De verticale verplaatsingen van de bouten en/of alternatieve punten zijn weergegeven in Tabel 3.8.

Tabel 3.8: Verticale verplaatsingen object 09 op basis van laserscandata

Punt	Type	Laserscan		
		Nulmeting	Herhalingsmeting	Vershil
901	Bout	1,000	1,000	0,000
902	Bout	1,099	1,101	0,002
903	Bout	1,090	1,093	0,003
904	Bout	1,399	1,397	-0,002
905	Alternatief	2,996	2,995	-0,001
906 <sup>1</sup>	-	-	-	-
907	Alternatief	3,014	3,016	0,002
908	Bout	1,958	1,960	0,002
909	Bout	1,247	1,244	-0,003
910	Bout	1,158	1,156	-0,002

1) Het punt 906 kon om diverse redenen niet worden opgemeten

### 3.10 Object 10

De nulopname op locatie 10 heeft plaatsgevonden op 6 april 2022 en de heropname op 19 januari 2023. Uit de aanzichten en doorsnedes op basis van de laserscan data blijkt dat er in deze periode geen significante verplaatsingen en/of rotaties zijn opgetreden van het object. De verticale verplaatsingen van de bouten en/of alternatieve punten zijn weergegeven in Tabel 3.9.

Tabel 3.9: Verticale verplaatsingen object 10 op basis van laserscandata

Punt	Type	Laserscan		
		Nulmeting	Herhalingsmeting	Vershil
801	Bout	1,000	1,000	0,000
802	Bout	1,097	1,099	0,002
803	Alternatief	2,965	2,963	-0,002
804	Alternatief	3,078	3,079	0,001
805	Alternatief	3,053	3,051	-0,002
806	Bout	1,171	1,171	0,000
807 <sup>1</sup>	-	-	-	-
808 <sup>1</sup>	-	-	-	-
809 <sup>1</sup>	-	-	-	-
810	Bout	1,215	1,217	0,002
811	Bout	1,148	1,147	-0,001
812	Alternatief	3,148	3,146	-0,002
813	Bout	1,056	1,058	0,002
814 <sup>1</sup>	-	-	-	-
815	Alternatief	3,026	3,025	-0,001
816	Bout	1,063	1,062	-0,001
817	Bout	1,063	1,064	0,001
818	Bout	1,064	1,061	-0,003
819	Bout	1,034	1,032	-0,002

1) De punten 807 t/m 809 en 814 konden om diverse redenen niet worden opgemeten

### 3.11 Object 11

De nulopname op locatie 11 heeft plaatsgevonden op 13 april 2022 en de heropname op 7 december 2022. Uit de aanzichten en doorsnedes op basis van de laserscan data blijkt dat er in deze periode geen significante verplaatsingen en/of rotaties zijn opgetreden van het object. De verticale verplaatsingen van de bouten en/of alternatieve punten zijn weergegeven in Tabel 3.10.

Tabel 3.10: Verticale verplaatsingen object 11 op basis van laserscandata

Punt	Type	Laserscan		
		Nulmeting	Herhalingsmeting	Vershil
111	Bout	2,997	2,997	0,000
112	Bout	3,015	3,016	0,001
113	Bout	3,026	3,027	0,001
114	Bout	3,079	3,080	0,001
115	Alternatief	8,437	8,439	0,002
116	Alternatief	8,461	8,460	-0,001
117 <sup>1</sup>	-	-	-	-
118 <sup>1</sup>	-	-	-	-

1) De punten 117 en 118 konden om diverse redenen niet worden opgemeten

### 3.12 Object 12

De nulopname op locatie 12 heeft plaatsgevonden op 12 april 2022 en de heropname op 18 januari 2023. Uit de aanzichten en doorsnedes op basis van de laserscan data blijkt dat er in deze periode geen significante verplaatsingen en/of rotaties zijn opgetreden van het object. De verticale verplaatsingen van de bouten en/of alternatieve punten zijn weergegeven in Tabel 3.11.

Tabel 3.11: Verticale verplaatsingen object 12 op basis van laserscandata

Punt	Type	Laserscan		
		Nulmeting	Herhalingsmeting	Vershil
1101	Bout	1,000	1,000	0,000
1102	Bout	1,221	1,224	0,003
1103	Bout	1,082	1,085	0,003
1104	Bout	1,068	1,066	-0,002
1105 <sup>1</sup>	-	-	-	-
1106	Alternatief	3,877	3,875	-0,002
1107	Alternatief	2,737	2,738	0,001
1108	Alternatief	3,174	3,172	-0,002
1109 <sup>1</sup>	-	-	-	-
1110	Alternatief	3,305	3,307	0,002
1111	Alternatief	3,324	3,322	-0,002
1112 <sup>1</sup>	-	-	-	-
1113 <sup>1</sup>	-	-	-	-
1114 <sup>1</sup>	-	-	-	-
1115 <sup>1</sup>	-	-	-	-
1116	Bout	1,193	1,192	-0,001
1117	Bout	1,193	1,193	0,000
1118	Alternatief	3,954	3,952	-0,002

1) De punten 1105, 1109 en 1112 t/m 1115 konden om diverse redenen niet worden opgemeten

### 3.13 Object 13

De nulopname op locatie 13 heeft plaatsgevonden op 4 april 2022 en de heropname op 8 november 2023. Uit de aanzichten en doorsnedes op basis van de laserscan data blijkt dat er in deze periode geen significante verplaatsingen en/of rotaties zijn opgetreden van het object. De verticale verplaatsingen van de bouten en/of alternatieve punten zijn weergegeven in Tabel 3.12.

Tabel 3.12: Verticale verplaatsingen object 13 op basis van laserscandata

Punt	Type	Laserscan		
		Nulmeting	Herhalingsmeting	Vershil
1201	Bout	1,000	1,001	0,001
1202	Alternatief	2,703	2,705	0,002
1203	Bout	1,538	1,535	-0,003
1204	Bout	1,541	1,539	-0,002
1205 <sup>1</sup>	-	-	-	-
1206	Bout	1,403	1,402	-0,001
1207	Bout	1,352	1,356	0,004
1208	Bout	1,341	1,344	0,003
1209	Alternatief	4,092	4,089	-0,003
1210	Alternatief	2,257	2,258	0,001
1211	Bout	1,226	1,228	0,002
1212	Bout	1,224	1,226	0,002
1213	Bout	1,127	1,128	0,001

1) Het punt 1205 kon om diverse redenen niet worden opgemeten

# Appendix A

## Schadeopname protocol

A.1 1418-0227-010 Scope Hanselman perceel 2 | 26-11-2021

## 1418-0227-010 Scope Hanselman perceel 2

To:

From:

Date: 26 November 2021

Ref no.: 1418-0227-010

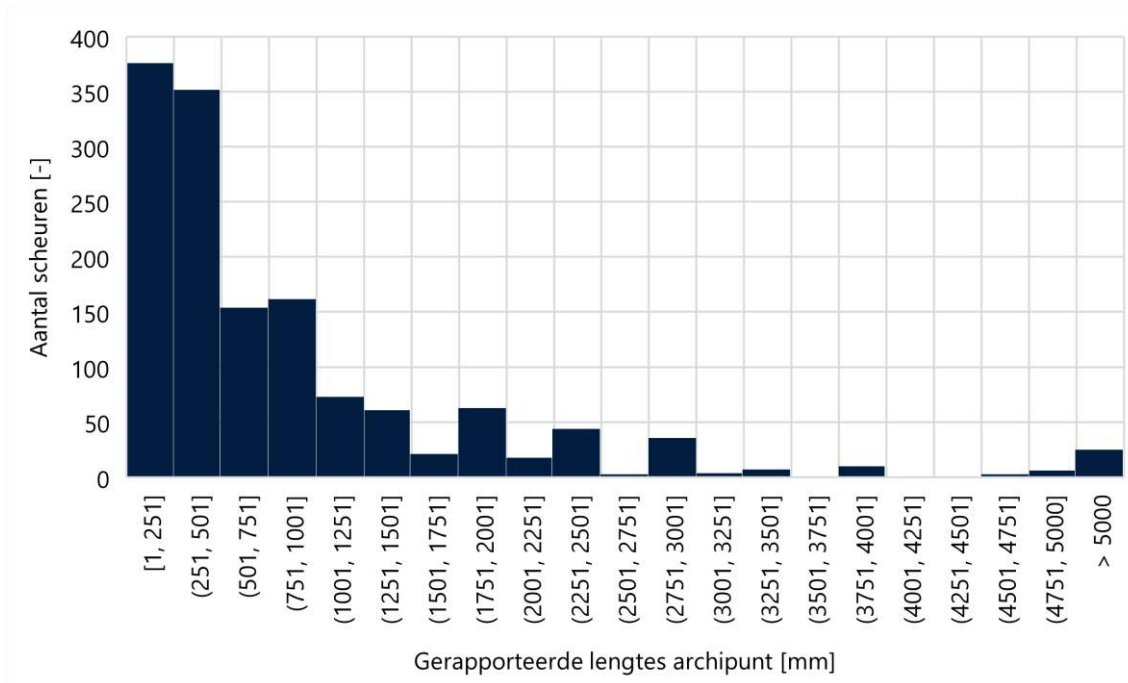
Subject: Scope Hanselman perceel 2

Nationaal Coördinator Groningen heeft Fugro gevraagd om haar werkzaamheden voor de Pilot Tiltensoren Groningen (Fugro projectnummer 1418-0227-000 en -010, Perceel 1) uit te breiden. De uitbreiding betreft het invulling geven aan perceel 2 welke bestaat uit het monitoren van de ontwikkeling van schade aan de gebouwen die worden gemonitord in perceel 1. In deze memo wordt een globale beschrijving gegeven van het proces en de voorziene werkzaamheden behorende bij perceel 2 en heeft als doel input te geven voor een kostenraming. Aanvullend is eerder een memo van NCG gestuurd met daarin aanvullende voorwaarden/richtlijnen voor de schadeopnames. In een eerder stadium zijn door Archipunt schadeopnames gedaan en gerapporteerd. Deze rapportages zijn gebruikt om een indicatie te geven van het aantal te verwachten schades/scheuren. In Tabel 1 is per locatie het aantal schades/scheuren gerapporteerd door Archipunt weergegeven. In Figuur 1 is een overzicht gegeven van de verdeling van de lengte van de scheuren

Tabel 1: Omvang schade per locatie en label boerderij/woning

Furo_ID [-]	Totaal aantal gerapporteerde schades [aantal]	Type
01_Niehove	123	Boerderij
03_Onderdendam	66	Woning
04_Kantens	42	Boerderij
05_Groningen	85	Woning
06_Overschild	53	Woning
07_Noordbroek	264	Boerderij
08_Zeerijp-kerk	65	Toren
09_Borgercompagnie	75	Woning
10_Steenbergen	108	Boerderij
11_Loppersum	200	Woning
12_Zeerijp	152	Woning
13_Appingedam	68	Boerderij
<b>Totaal gerapporteerd Archipunt</b>	<b>1301</b>	
<b>Totaal geïdentificeerd Archipunt</b>	<b>1489</b>	





Figuur 1: verdeling lengt van de scheuren

# Schadeopname protocol

## Beoordeling meenemen schade 0-opname

Voor het doel van de pilot is het noodzakelijk om schade die ontstaan is door natuurlijke oorzaken mee te nemen. Natuurlijke oorzaken zijn schades niet direct veroorzaakt door mensen, dieren of mechanisch contact. Indien niet met redelijke zekerheid kan worden vastgesteld of de schade een niet natuurlijke oorzaak heeft, dient deze te worden meegenomen in de opname. In Appendix A zijn een aantal voorbeelden van schades die niet binnen de Pilot Tiltensoren vallen en niet hoeven te worden opgenomen. Onderstaand de opsomming van schades die niet hoeven worden meegenomen zoals verstrekt door NCG:

- Schade ontstaan door mechanische bewerking (bv. gat muur door boor)
- Bros voegwerk (in combinatie met scheur wel opnemen)
- Gesloopte onderdelen
- Werkzaamheden die nog in uitvoering zijn (bv. ontbrekende voeg)
- Verkleuringen
- Schade door slijtage of gebruik
- Loszittend behang en andere gevelbekleding
- Aansluitingen tussen verschillende materialen (bv. hout tegen metselwerk)

In onderstaande tabel zijn omschrijvingen van schades gegeven die wel moeten worden meegenomen. In de kolom "Opmerkingen Fugro" is aangegeven hoe hier mee om dient te worden gegaan.

Tabel .2: [Insert Table Caption]

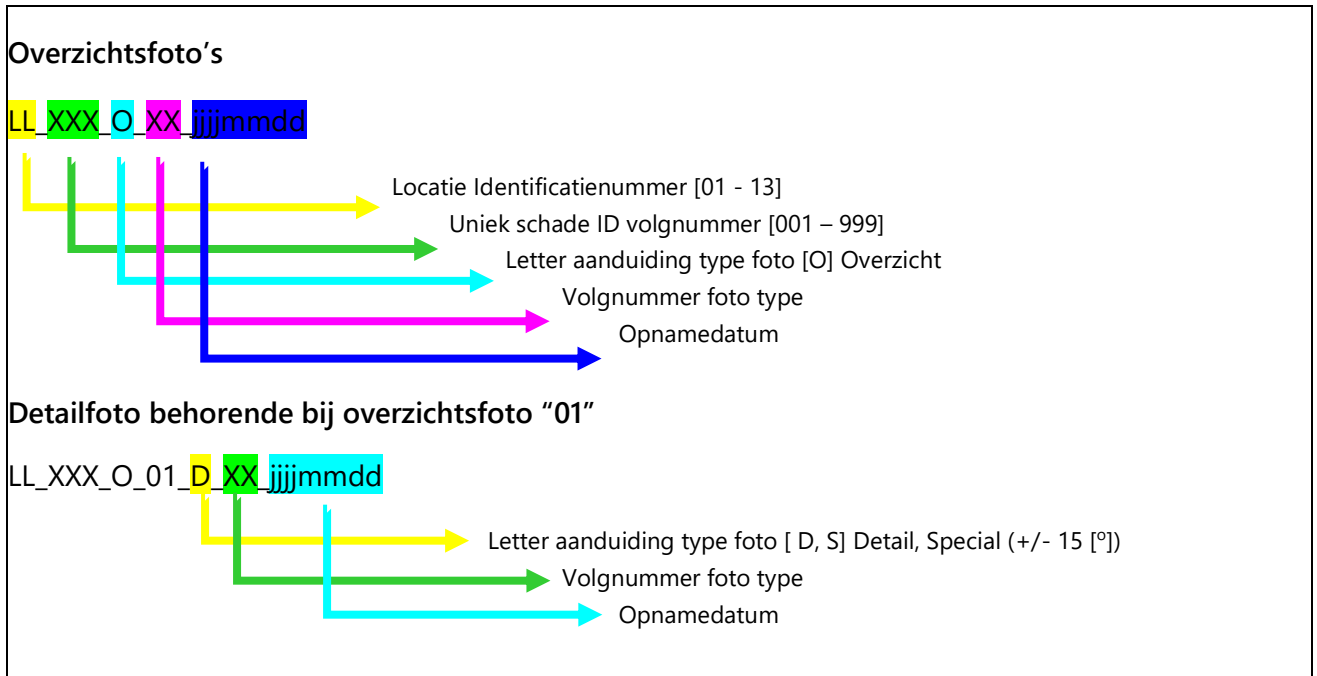
NCG	Opmerking Fugro
scheuren	Met een scheurwijdte > 0.1 mm en een lengte > 50mm
afspattingen	Indien niet met zekerheid kan worden gesteld dat de afspatting een niet natuurlijke oorzaak heeft
vervormingen/ scheefstand	Wordt gemeten door meetbouten/lintvoeg/sensoren
lekkages	Wordt niet meegenomen, niet relevant

## Naamgeving en overzicht te maken foto's

Om de digitale foto bestanden geschikt te maken voor het automatisch verwerken en generen van rapportages dienen de bestanden volgens een vast format te worden opgeslagen. Onderstaand is de bestandsnaam schematisch weergegeven. Hierbij geldt dat detailfoto's gekoppeld worden aan een overzichtsfoto waarop het beeld van de detailfoto terug kan worden gevonden.

Andere mogelijkheid is om de bestandsnaam zoals deze door de camera wordt gegenereerd te koppelen aan onderstaande codering in een tabel.

Tabel 3: Naamgeving bestanden



## Fotograferen schade

Afhankelijk van de lengte en de complexiteit van een schade dient het aantal benodigde foto's te worden bepaald waarmee de schade op een betrouwbare manier kan worden vastgelegd.

Onderstaand staan richtlijnen waaraan de foto's moeten voldoen. In onderstaande dient scheur te worden gelezen als scheur/schade.

### ■ Fotocompositie en referentiemaat

- De gehele scheur inclusief eindpunten van de scheur dienen duidelijk op een foto te staan.
- Het begin- en eindpunt van de scheur op het vlak dient te worden aangemerkt met een tijdelijke markering
- Alle foto's dienen te worden genomen met een referentiemaat (liniaal) welke gebruikt kan worden om de lengte te bepalen tijdens postprocessing.
- Indien meerdere overzichtsfoto's en/of detailfoto's moeten worden genomen dienen deze overlappend te zijn waarbij de referentiemaat in het overlappende deel moet worden geplaatst.
- Indien meerdere overlappende beelden worden genomen dienen vooraf meerdere referentiematen te worden aangebracht die voor het nemen van de foto's dienen te worden geplaatst en niet mogen worden verplaatst tijdens het nemen van de foto's.

### ■ Camerapositie

- Scheuren dienen zo goed als mogelijk frontaal/loodrecht op het vlak te worden genomen
- Indien een frontale/loodrechte foto niet mogelijk is dan onder een hoek van 45[°]
- Alle foto's dienen vanaf een statief/vast object te worden genomen.

### ■ Fotokwaliteit/eigenschappen

- De foto's dienen een resolutie van minimaal 24 MegaPixels te hebben
- De cameralens dient minimale verstoring te veroorzaken in het van toepassing zijnde afstandsgebied. (Geen groothoek lens).
- Alle foto's dienen met voldoende belichting te worden genomen or er dient een flitser te worden gebruikt waarbij "harde" schaduwen moeten worden voorkomen (bv. Indirect flitsen of een andere vorm van kunstmatig licht, ring flitser/belichting)

### ■ Naamgeving foto's

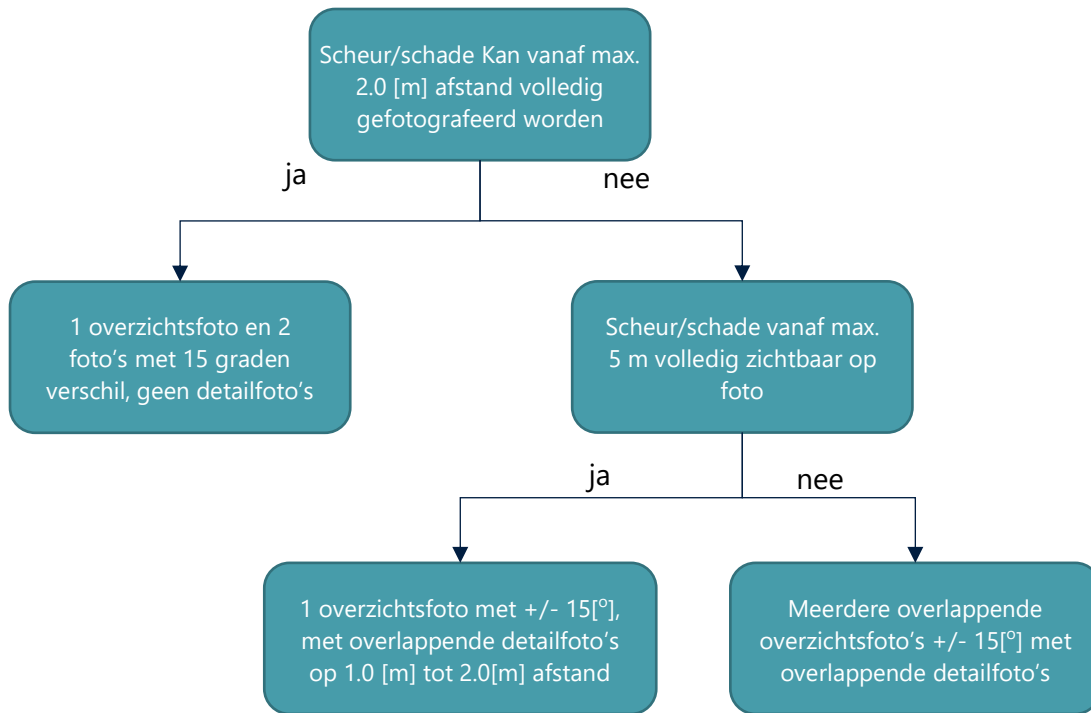
- Indien meerdere foto's van een scheur moeten worden gemaakt dient de bestandsnummering oplopend van links naar rechts en van boven naar beneden te worden aangehouden.
- Indien één overzichtsfoto of detailfoto meerdere schades/scheuren goed in beeld kan brengen mag deze foto worden hergebruikt. De foto dient dan als separaat bestand te worden opgeslagen met de bestandsnamen behorende bij de desbetreffende scheuren.

### ■ Beeldeigenschappen






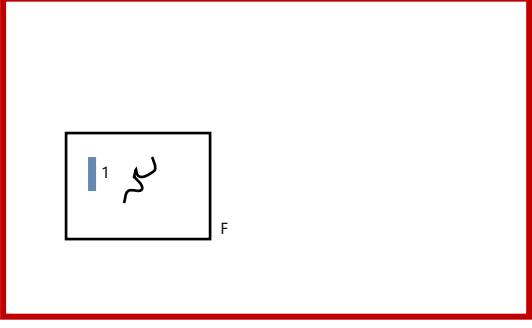
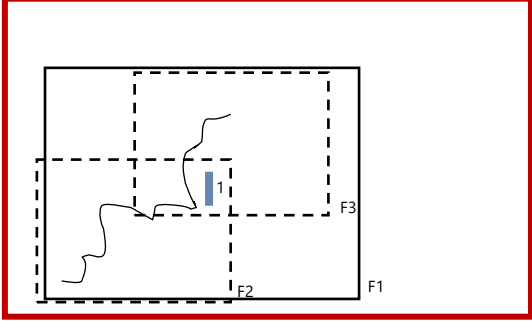
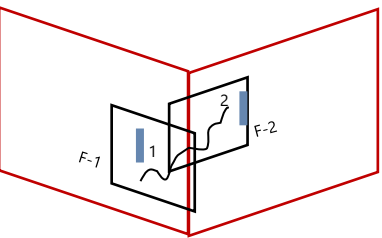
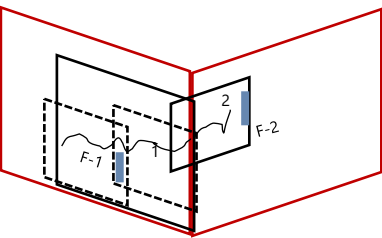
- Een overzichtsfoto mag op minimaal ca. 1.5 [m] afstand en maximaal ca. 5.0 [m] afstand worden genomen.
- Indien vanaf ca. 5.0 m de scheur/schade niet volledig in beeld kan worden gebracht dienen meerdere overlappende overzichtsfoto's te worden gemaakt
- Indien de scheur/schade vanaf een afstand van maximaal ca. 2.0 [m] goed en volledig in beeld kan worden gebracht hoeven geen detailfoto's te worden gemaakt.
- Een detailfoto mag op maximaal 2.0 [m] afstand worden genomen en minimaal 1.0 [m]

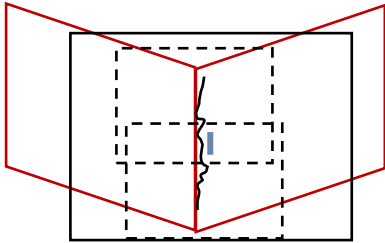
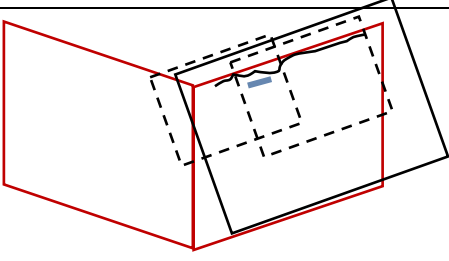
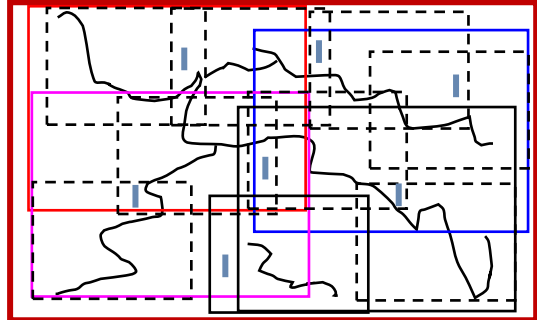
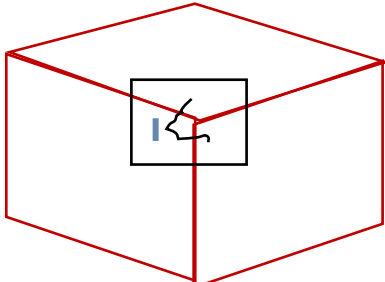
### ■ Beschrijving

- Bij de overzichtsfoto dient een beschrijving van de schade en de locatie in of rondom het object worden gegeven



Tabel 4: [Insert Table Caption]

<p>  Muur   Scheur/schade   Overzichtsfoto (afstand tussen camera-scheur min 1.5[m], max 5.0 [m])   Detailfoto (afstand tussen camera en scheur min. 1.0 [m], max. 2.0 [m])   Schaallat / liniaal         </p>	
	
<p>Enkelvoudige scheur goed en volledig in beeld te brengen vanaf max 2.0 [m]</p> <p>F1: 01_001_O_01_20211125.jpg            F2: 01_001_O_01_S_01_20211125.jpg            F3: 01_001_O_01_S_02_20211125.jpg</p>	<p>Enkelvoudige scheur niet volledig in beeld te brengen vanaf max 2.0 [m]</p> <p>F1: 01_002_O_01_20211125.jpg            F2: 01_002_O_01_D_01_20211125.jpg            F3: 01_002_O_01_D_02_20211125.jpg            F4: 01_002_O_01_S_01_20211125.jpg            F5: 01_002_O_01_S_02_20211125.jpg</p>
	
<p>Enkelvoudige scheur op meerdere vlakken, per vlak goed en volledig in beeld vanaf max 2.0 [m]</p> <p>F1: 01_003_O_01_20211125.jpg            F1: 01_003_O_01_S_01_20211125.jpg            F1: 01_003_O_01_S_02_20211125.jpg            F2: 01_003_O_02_20211125.jpg            F2: 01_003_O_02_S_01_20211125.jpg            F2: 01_003_O_02_S_02_20211125.jpg</p>	<p>Enkelvoudige scheur op meerdere vlakken, op 1 vlak wel volledig in beeld vanaf max 2.0 [m] en de andere niet.</p> <p>F1: 01_004_O_01_20211125.jpg            F1: 01_004_O_01_D_01_20211125.jpg            F1: 01_004_O_01_D_02_20211125.jpg            F3: 01_004_O_01_S_01_20211125.jpg            F4: 01_004_O_01_S_02_20211125.jpg            F2: 01_004_O_02_20211125.jpg            F5: 01_004_O_02_S_03_20211125.jpg            F6: 01_004_O_02_S_04_20211125.jpg</p>

	
<p>Scheur in hoek gefotografeerd onder 45 [o]</p> <p>F1: 01_005_O_01_20211125.jpg F1: 01_005_O_01_S_01_20211125.jpg F1: 01_005_O_01_S_02_20211125.jpg F2: 01_005_O_01_D_01_20211125.jpg F2: 01_005_O_01_D_02_20211125.jpg</p>	<p>Scheur tegen plafond</p> <p>F1: 01_006_O_01_20211125.jpg F1: 01_006_O_01_S_01_20211125.jpg F1: 01_006_O_01_S_02_20211125.jpg F2: 01_006_O_01_D_01_20211125.jpg F2: 01_006_O_01_D_02_20211125.jpg</p>
	
<p>1 complexe scheur en 1 enkele scheur op 1 wand, complexe scheur: meerdere overzichtsfoto's en 3 detailfoto's per overzichtsfoto. Enkele scheur 1 overzichtsfoto</p> <p>F1: 01_007_O_01_20211125.jpg F1: 01_007_O_01_D_01_20211125.jpg F1: 01_007_O_01_D_02_20211125.jpg F1: 01_007_O_01_D_05_20211125.jpg F1: 01_007_O_01_S_01_20211125.jpg F1: 01_007_O_01_S_02_20211125.jpg F1: 01_007_O_02_20211125.jpg F1: 01_007_O_02_D_01_20211125.jpg F1: 01_007_O_02_D_02_20211125.jpg F1: 01_007_O_02_D_05_20211125.jpg F1: 01_007_O_02_S_01_20211125.jpg F1: 01_007_O_02_S_02_20211125.jpg F1: 01_007_O_05_20211125.jpg F1: 01_007_O_05_D_01_20211125.jpg F1: 01_007_O_05_D_02_20211125.jpg F1: 01_007_O_05_D_05_20211125.jpg F1: 01_007_O_05_S_01_20211125.jpg F1: 01_007_O_05_S_02_20211125.jpg F1: 01_007_O_04_20211125.jpg F1: 01_007_O_04_D_01_20211125.jpg F1: 01_007_O_04_D_02_20211125.jpg F1: 01_007_O_04_D_05_20211125.jpg F1: 01_007_O_04_S_01_20211125.jpg F1: 01_007_O_04_S_02_20211125.jpg</p> <p>F1: 01_008_O_04_20211125.jpg F1: 01_008_O_04_S_01_20211125.jpg F1: 01_008_O_04_S_02_20211125.jpg</p>	<p>Kleine scheur in lastige hoek, onder een hoek van 45 graden fotograferen</p> <p>F1: 01_009_O_01_20211125.jpg F1: 01_009_O_01_S_01_20211125.jpg F1: 01_009_O_01_S_02_20211125.jpg</p>

[Click to enter Memo Title]



# Appendix A

Schade voorbeelden

## A.1 Voorbeelden van niet-natuurlijke schade



Schade niet pilot gerelateerd



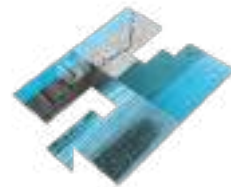
Beschadiging



# Appendix B

Resultaten opnames Pilot  
Project Tiltsensoren

## B.1 Briefrapport Hanselman: Pilot Project Tiltssensoren - 4 april 2023



**HANSELMAN**  
A SOCOTEC COMPANY

Postbus 557  
6800 AN Arnhem  
T (026) 442 04 60  
info@hanselman.nl  
www.hanselman.nl

Fugro NL Land B.V.  
Veurse Achterweg 10  
2264 SG LEIDSCHENDAM

Datum : 4 april 2023  
Uw referentie : --  
Onze referentie : 79836/001  
Betreft : Resultaten (0- en Her-) opname Pilot Project Tiltensoren

---

In navolging van uw opdracht, d.d. 14 februari 2022, hebben wij in maart/april 2022 de 0-opname uitgevoerd bij de 12 objecten zoals vastgelegd in onze offerte d.d. 8 december 2021.

In oktober 2022 ontvingen wij de opdracht voor het uitvoeren van de na-opname van de 12 objecten. Deze opnames zijn uitgevoerd in november en december 2022. De resultaten van deze opname zijn inmiddels via de Sharepoint van Fugro beschikbaar gesteld. Bijgaand rapporteren wij onze bevindingen als volgt.

### **Uitgangspunten**

De opnames van de 12 objecten zijn uitgevoerd conform de methode zoals vooraf afgestemd en vastgelegd door Fugro in het document "1418-0227-010 Scope Hanselman Perceel 2" d.d. 26 november 2021 en onze offerte d.d. 8 december 2021.

Op hoofdlijnen zijn de opnames op de navolgende wijze uitgevoerd:

- Foto's worden per gebrek gemaakt vanaf een statief met een camera van minimaal 24MP;
- De opname is uitgevoerd door twee bouwkundig opname experts;
- Naast of op elke schade is een standaard lengtemaat geplakt;
- Per (Overzichts-/detail-/special-)foto is een schaallat/liniaal.
- Per locatie is een Excelsheet bijgehouden met de navolgende onderdelen:
  - Locatie identificatienummer;
  - Uniek schadenummer;
  - Plaatsbepaling/schadeomschrijving;
  - Letter aanduiding type foto (Overzichtnummer/Detail/Special (+/- 15 graden));
  - Fotonummer;
  - Opnamedatum;
  - Bijzonderheden.

Het resultaat van de opname per object is vastgelegd in een Excelsheet en in een aparte map de foto's op de Sharepoint van Fugro.

Het doel van onze opname is aanleveren van data (foto's) om op basis van een 0-opname vast te stellen of er sprake is van een toename van een gebrek na een periode van ongeveer 8 maanden.

De mate van toename zal hierbij worden bepaald door het gebruik van een computermodel (3D analyse van de foto's) en is niet bepaald tijdens de opname.



## Bevindingen

Op basis van de 0-opname is tijdens de her-opname beoordeeld of sprake was van een toename van het gebrek, bijvoorbeeld in lengte-/breedte van een scheur. Hierbij is door onze experts enkel kwalitatief beoordeeld of sprake was van een verergering, de mate van verergering is niet kwantitatief vastgesteld.

Initieel zijn door Archipunt 1494 schades geïdentificeerd bij 13 locaties. Tijdens de opnames is door onze expert ter plaatse beoordeeld of het relevante schades waren die konden worden meegenomen in de opnames.

Schades die niet relevante zijn, zijn hierbij verder niet meegenomen in het proces. De classificatie "niet relevant" is bijvoorbeeld gegeven aan gebreken bestaande uit loszittende en verweerde onderdelen (stucwerk/metselwerk), naden en enkel gescheurde stenen (bakfouten). Daarnaast zijn schades niet meegenomen in het proces omdat ze niet bereikbaar waren, niet conform het protocol konden worden opgenomen, de schade al was hersteld of omdat een locatie (02) niet meer onderdeel was van de pilot.

In aanvulling op onze eerdere beoordeling zijn uiteindelijk door Fugro 3 categorieën gedefinieerd voor het wegvallen van schades ten opzichte van het Archipunt onderzoek: "Niet relevante schades", "Onbereikbare schades" en "Herstelde schades". In de database van Fugro is per niet opgenomen schade een relevante categorie geregistreerd.

Per object hebben wij op hoofdlijnen onderstaande de hoeveelheden vastgelegde gebreken en verergerde gebreken samengevat:

- 01-Niehove:
  - 97 gebreken opgenomen
  - Geen verergeringen waargenomen.
- 03-Onderdendam:
  - 31 gebreken opgenomen
  - Geen verergeringen waargenomen.
- 04-Kantens:
  - 30 gebreken opgenomen
  - Geen verergeringen waargenomen.
- 05-Groningen:
  - 43 gebreken opgenomen
  - Geen verergeringen waargenomen.
- 06-Overschild:
  - 47 gebreken opgenomen
  - Bij 1 gebrek is een verergering waargenomen.
- 07-Noordbroek:
  - 110 gebreken opgenomen
  - Bij 3 gebreken is een verergering waargenomen.
- 08-Toren Zeerijp:
  - 43 gebreken opgenomen
  - Geen verergeringen waargenomen.
- 09-Borgercompagnie:
  - 48 gebreken opgenomen
  - Geen verergeringen waargenomen.
- 10-Steenbergen:
  - 42 gebreken opgenomen
  - Geen verergeringen waargenomen.
- 11-Loppersum:
  - 91 gebreken opgenomen
  - Geen verergeringen waargenomen.
- 12-Zeerijp:
  - 59 gebreken opgenomen
  - Bij 2 gebreken is een verergering waargenomen.



- 13 Appingedam:
  - 53 gebreken opgenomen
  - Geen verergeringen waargenomen.
  - Wel 1 gebrek opnieuw ontstaan in voegwerk naast een latei, die bij de 0-opname niet aanwezig was.

### **Conclusie**

Op basis van onze her-opname stellen wij vast dat na een periode van circa 8 maanden bij 4 van de 12 objecten sprake is van een toename.

In absolute getallen zijn er over de 12 objecten in totaal 694 gebreken vastgelegd. Hiervan zijn er bij 7 gebreken vastgesteld dat sprake is van een verergering. Dit betekent dat bij ongeveer 1% van de vastgelegde gebreken sprake is van een verergering in de afgelopen 8 maanden (tussen de 0-opname en heropname).

De overige resultaten van onze opname, zijnde het Excel-bestand met de registraties en de foto's van de gebreken, zijn reeds aan u beschikbaar gesteld.

Wij vertrouwen erop u hiermee voldoende te hebben geïnformeerd.

Met vriendelijke groet,

Hanselman Groep B.V.

# Appendix C

Toegenomen schades







## C.1 Overzicht opnames toegenomen schades Archipunt en Hanselman

06_231	Nulopname	Heropname
Archipunt		
Datum	21-08-2019	
Opmerking	-	
Hanselman		
Datum	09-03-2022	
Opmerking	-	
Geschatte toename in lengte van 49 cm tot 66 cm		

07_058	Nulopname	Heropname
Archipunt		
Datum	17-09-2019	09-11-2020
Opmerking	-	-
Hanselman		
Datum	22-03-2022	22-11-2022
Opmerking	-	-
Geschatte toename in lengte van 108 cm tot 122 cm		




07_059	Nulopname	Heropname
Archipunt		
Datum	17-09-2019	09-11-2020
Opmerking	-	-
Hanselman		
Datum	22-03-2022	22-11-2022
Opmerking	-	Schade lijkt te zijn toegenomen bij heropname
Geschatte toename van 83 cm tot 138 cm		



<b>07_066</b>	<b>Nulopname</b>	<b>Heropname</b>
Archipunt		
Datum	17-09-2019	09-11-2020
Opmerking	-	-
Hanselman		
Datum	22-03-2022	22-11-2022
Opmerking	-	-
Geschatte toename van 113 cm tot 119 cm		

<b>12_041</b>	<b>Nulopname</b>	<b>Heropname</b>
Archipunt		
Datum	03-12-2019	04-11-2020
Opmerking	-	Geen foto beschikbaar van Opname 2
Hanselman		
Datum	14-04-2022	23-12-2022
Opmerking	-	20221223; schade lijkt te zijn toegenomen bij heropname
Geschatte toename van 124 cm tot 127 cm		

<b>12_244</b>	<b>Nulopname</b>	<b>Heropname</b>
Archipunt		
Datum	03-12-2019	04-11-2020
Opmerking	-	Geen foto beschikbaar van Opname 2
Hanselman		
Datum	12-04-2022	14-12-2022
Opmerking	-	20221214: schade lijkt in lengte iets te zijn toegenomen bij heropname
Geschatte toename van 36 cm tot 39 cm		

<b>13_064</b>	<b>Nulopname</b>	<b>Heropname</b>
Archipunt		
Datum	30-01-2020	17-11-2020
Opmerking	-	Ander referentiepunt tussen nul-opname en 1 <sup>e</sup> herhaalmeting? Schade is door en door gescheurd met schade 43
Hanselman		
Datum	01-04-2022	08-11-2022
Opmerking	Schade is hersteld	Schade is na eerste opname opnieuw ontstaan (na reparatie)
<b>Geschatte toename van 0 cm tot 89 cm</b>		



