Aanvullende monitoring voor de gasvelden Grijpskerk en Norg

Onderdeel van het omgevingstraject Grijpskerk Norg

Omgevingstraject Grijpskerk Norg

februari 2025

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave 2
1 Introductie 3
2 Doel van de aanvullende monitoring 4
3 Bestaande monitoring rondom Norg en Grijpskerk 5
3.1 Ondiepe ondergrond 5
3.2 Tussenliggende lagen 5
3.3 Diepe ondergrond 5
4 Selecteren van monitoringlocaties 7
4.1 Selectiecriteria 7
4.2 Locaties rondom het Norg veld 7
4.3 Locaties rondom het Grijpskerk gasveld 8
5 Meettechnieken voor aanvullende monitoring 10
5.1 Tiltmeters 10
5.2 Extensometers en waterpeilbuizen 10
5.3 InSAR 11
6 Projectstructuur 14
7 Referenties 15
Appendix 1: Geologische beschrijvingen van de ondiepe ondergrond boven het Norg gasveld 16
Appendix 2: Geologische beschrijving van de ondiepe ondergrond boven het Grijpskerk gasveld 19
Appendix 3: Onderzochte locaties rondom Norg veld 22
Appendix 4: Onderzochte locaties rondom Grijpskerk veld 23

1 Introductie

In 2021 hebben vier initiërende partijen, te weten het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK)[1], de gemeente Noordenveld, de gemeente Westerkwartier en de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM), het omgevingstraject Grijpskerk Norg gestart. Het traject is gekoppeld aan de afbouw van het Groningenveld en de twee ondergrondse gasopslagen in Grijpskerk en Norg.

Als onderdeel van het omgevingstraject is gesproken over aanvullende monitoring van bodembeweging. De insteek hiervan is het adresseren van zorgen en wensen zoals geformuleerd door de deelnemers van het omgevingsproces, en bevestigd tijdens de omgevingstafels van 7 en 14 maart 2024:

- Beter inzicht in het effect op bebouwing van de gecombineerde processen en activiteiten in de diepe en ondiepe ondergrond en tussenliggende lagen in samenhang met de lokale bodemeigenschappen.
- Beter inzicht in directe en indirecte effecten van mijnbouwactiviteiten, om tijdig mitigerende maatregelen te kunnen nemen.
- Beter inzicht in wisselwerking tussen mijnbouw en waterhuishoudingsprocessen (specifiek de grondwaterdruk).
- Beter inzicht in het effect van de veranderde bedrijfsvoering op de ondergrondse gasopslagen Grijpskerk en Norg.
- Beter inzicht in het mogelijke effect van lokale bodemeigenschappen in de modellering van bodembeweging.
- Verwerken van lokale bodemeigenschappen in de te gebruiken modellen.
- Transparante, betrouwbare en toegankelijke data in samenhang beoordelen.

Op basis van deze wensen uit de omgeving is allereerst de bestaande monitoring op het gebied van seismiciteit, ondiepe bodemdaling en bodemstijging, en diepe bodemdaling en bodemstijging in kaart gebracht. Vervolgens heeft een begeleidingscommissie besproken welke aanvullende monitoring tegemoet kan komen aan deze zorgen en wensen. De begeleidingscommissie bestaat uit de volgende leden: Pauline Kruiver (KNMI), Peter van der Gaag (Holland Innovation Team), Ramon Hanssen (TU Delft), Kay Koster (TNO) en Chris Geurts (TNO). Deze experts hebben de contouren van een aanvullend monitoringsplan opgesteld.

Tijdens de omgevingstafels is het aanvullend monitoringsplan gepresenteerd en op bepaalde punten aangepast. In het stuurgroepoverleg van 3 juli 2024 is het aanvullend monitoringsplan goedgekeurd. In de omgevingstafels in december 2024 is de conceptversie van dit document gedeeld voor commentaar. Het voorliggend document vormt de uitwerking van de contouren die toen gepresenteerd zijn.

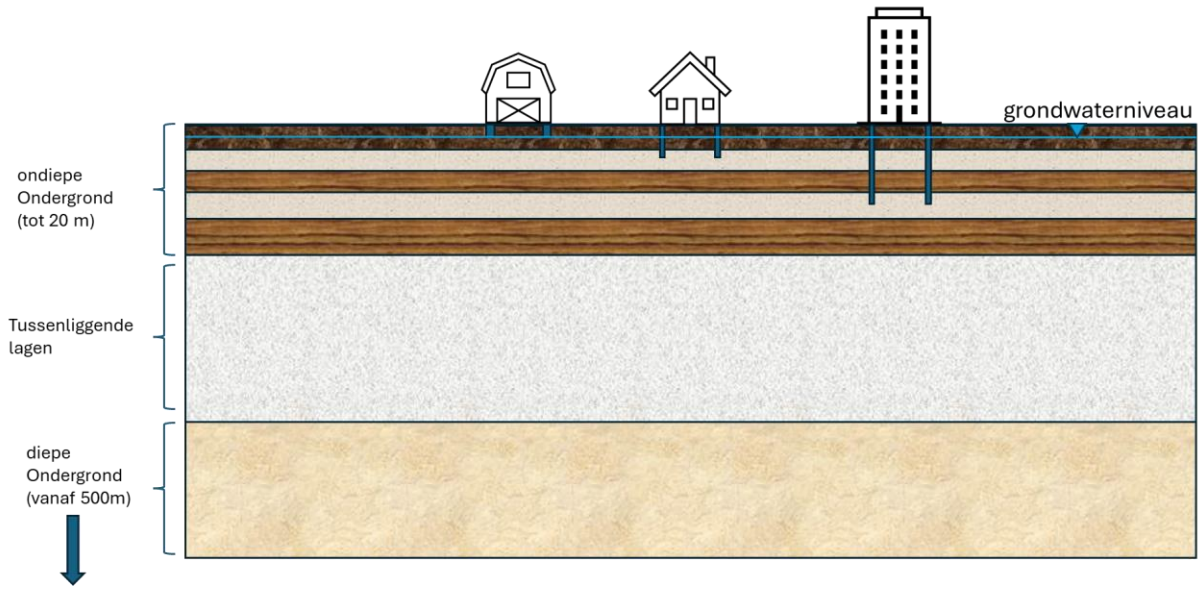
[111] In 2024 is dit het ministerie van Klimaat en Groene Groei (KGG) geworden.

2 Doel van de aanvullende monitoring

Het doel is om door middel van aanvullende monitoring tegemoet te komen aan de zorgen en wensen van de bewoners rondom Grijpskerk en Norg. De monitoring richt zich erop om onderscheid te kunnen maken tussen bewegingen in de *diepe* ondergrond (bijvoorbeeld als gevolg van gaswinning uit een gasveld) en *ondiepe* ondergrond (bijv. als gevolg van het uitzetten van een ondiepe kleilaag). Met ondiepe ondergrond wordt in dit document de grond bedoeld van het maaiveld tot geologische eenheden uit het Pleistoceen. In de omgeving van Grijpskerk en Norg ligt dit op een diepte tot enkele tientallen meters onder het maaiveld. Met diepe ondergrond wordt in dit document bedoeld de grond en het gesteente van 500 m diep en dieper. Daartussen ligt een pakket zand en klei dat minder geconsolideerd is dan de diepe ondergrond van ongeveer 20 tot 500 m. Dit pakket noemen we de tussenliggende lagen (zie Figuur 1).

Om de bewegingen in de ondergrond beter te begrijpen zullen lokaal metingen worden gedaan. Voor de locatiekeuze van de meetapparatuur wordt rekening gehouden met locatie-specifieke omstandigheden, zoals de opbouw van de ondiepe ondergrond, lokale grondwaterstanden en verwachte diepe bodemdaling. De resultaten van deze metingen worden gerapporteerd (inclusief een integrale analyse en publiekssamenvatting) en voor een breed publiek inzichtelijk gemaakt. Daarnaast zal de TU Delft met behulp van satellieten de bodembeweging als gevolg van verschillende deformatie-oorzaken voor het grotere gebied in kaart brengen.

Het opzetten van een systeem van mitigerende maatregelen valt buiten het doel van deze aanvullende monitoring. Ook het ontwikkelen van modellen van de ondiepe ondergrond valt buiten het doel van de aanvullende monitoring.



Figuur 1: Onderverdeling van de ondergrond en schematische weergave van mogelijke funderingen van gebouwen.

3 Bestaande monitoring rondom Norg en Grijpskerk

3.1 Ondiepe ondergrond

Rondom Norg en Grijpskerk wordt momenteel niet direct bodembeweging gemeten in de ondiepe ondergrond. Wel is een aanzienlijke hoeveelheid ondergrondgegevens beschikbaar in het gebied op dinoloket.nl en broloket.nl. Deze gegevens bestaan voornamelijk uit boringen en grondwatermeetgegevens.

In september 2024 heeft TNO een monitoringslocatie ingericht in de gemeente Westerkwartier, bij Ezinge, waarbij bodembewegingen in de ondiepe ondergrond en een gebouw worden gemeten. Deze gegevens zijn nog niet gepubliceerd.

In opdracht van de Nationaal Coördinator Groningen is een meetnetwerk van tiltsensoren ingericht in gebouwen nabij het Groningenveld (van 2020 tot 2022). Twee locaties zijn ingericht bij de gasopslagen van Norg (Steenbergen) en Grijpskerk (Niehove). Momenteel wordt verkend of deze locaties kunnen worden meegenomen in het nieuw beoogde netwerk.

3.2 Tussenliggende lagen

Voor de tussenliggende lagen in dit gebied is gedurende lange tijd de samendrukking (ook wel compactie genoemd) gemeten met behulp van extensometers. Extensometers meten de dikteverandering van bodemlagen, zie ook paragraaf 5.2. Zo zijn tussen 1970 en 2002 op twintig locaties de compactie tot 400 meter diep gemeten[2]. Van deze twintig meetlocaties zijn er veertien in Groningen, één in Friesland en één in Drenthe. Deze metingen laten een compactie zien tussen de 0 en 1,2 mm per jaar (Wierda, 1994). Op basis van deze waarden is de verwachting dat de beweging van de tussenliggende lagen binnen de onderzoeksperiode van 5 jaar beperkt is (namelijk 0 - 6 mm).

3.3 Diepe ondergrond

Bodemdaling en bodemstijging in de diepe ondergrond wordt in deze omgeving voornamelijk veroorzaakt door productie en injectie uit de gasreservoirs. Het meten van bodembeweging door gaswinning en gasopslag is een wettelijke verplichting volgend uit de Mijnbouwwet. In de winningsplannen en opslagplannen staan meer informatie over de verwachte bodemdaling en/of bodemstijging van elk veld. De meettechnieken voor de diepe ondergrond, de ligging van de meetpunten en de meetintervallen worden beschreven in meetplannen, die jaarlijks worden geactualiseerd en goedgekeurd door Staatstoezicht op de Mijnen (SodM). De door SodM goedgekeurde meettechnieken zijn waterpassen, GNSS (Global Navigation Satellite System) en InSAR.

Tijdens de verwerking van deze geodetische metingen worden meetpunten geïdentificeerd die representatief zijn voor bodembeweging in de diepe ondergrond. InSAR meetpunten worden als representatief beschouwd voor diepe bodembeweging als de tijdserie van de bodembeweging in overeenstemming is met die van naburige meetpunten. Hierbij wordt, indien nodig, ook gekeken

[2] Shallow compaction data of the Groningen gas field and other locations in the Netherlands – period 1970 to 2021. - Data Publication platform of Utrecht University.

naar het type object dat reflecteert. In het geval van waterpassen wordt een stabiliteitsanalyse uitgevoerd, welke wordt gerapporteerd aan SodM als onderdeel van de Meetregisters.

De metingen worden gebruikt om de bodemdalingsmodellen van NAM te kalibreren. Deze modellen kunnen dan worden ingezet om bodemdalingsprognoses te maken in de winningsplannen die voor alle velden verplicht zijn en gecontroleerd worden door SodM en TNO. Eens in de 5 jaar publiceert de NAM een totaaloverzicht van de bodemdaling in Noord-Nederland voor de bodemdalingscommissies Friesland en Groningen. Het laatste rapport dateert uit 2020 (NAM, 2020).

4 Selecteren van monitoringlocaties

4.1 Selectiecriteria

De monitoringstations worden bij voorkeur geplaatst bij gebouwen die onder beheer zijn van een gemeente of stichting. Hiervoor hebben de gemeentes Noordenveld en Westerkwartier een lijst opgesteld met mogelijke locaties. Ook heeft de Stichting Oude Groninger Kerken (SOGK) een aantal opties gegeven in de omgeving van Grijpskerk. Het voordeel van deze locaties t.o.v. locaties bij particulieren is dat tiltmeterdata vanuit deze gebouwen minder privacygevoelig is. De volledige lijst staat in Appendix 3 en 4.

Voor de monitoring van (mogelijke) beweging veroorzaakt door processen in de ondiepe ondergrond is het van belang dat er ook locaties worden gekozen waar deze beweging wordt verwacht. Dit zijn vooral de bodems met klei- en veenlagen. De verspreiding en dikte van de verschillende bodemlagen verschilt per locatie. Appendix 1 en 2 geven een overzicht hiervan voor de omgeving Grijpskerk en Norg. Ook het reliëf van het landschap varieert: zo is het rondom Grijpskerk vlakker dan rondom Norg. Het monitoren van veranderingen in de ondiepe ondergrond is belangrijk, want deze hebben een groot effect op de bebouwing. De reden hiervoor is dat gebouwen meestal gefundeerd zijn op deze lagen in deze ondiepe ondergrond. Zie ook in Figuur 1 dat de funderingsdiepte van elk gebouw variabel is: grotere en nieuwere gebouwen zijn vaak beter en dieper gefundeerd. Het is ook mogelijk dat er bouwgrond is gestort voor de bebouwing. Vóór installatie van apparatuur zal eerst een aantal sonderingen worden uitgevoerd, ook dicht bij het gebouw. Met sonderen kan snel inzicht verkregen worden in de grondopbouw van de bovenste 10 tot 15 m. Hierbij wordt een metalen conus de grond ingeduwd, waarbij gemeten wordt hoeveel weerstand de conus ondervindt; bij klei en veen is er weinig weerstand en bij zand veel. Ook relevant kan zijn of de ondiepe ondergrond in het verleden relatief ongestoord is. Om deze reden worden wierden vermeden, want hier is de grondopbouw afwijkend van de directe omgeving.

Naast de verwachte beweging van de ondergrond is het van belang dat de meetlocaties geografisch verdeeld zijn in het gebied waar bodembeweging als gevolg van gaswinning of gasinjectie wordt verwacht. Voor het versturen van de data en het opvangen van satellietsignalen is het verder ook relevant dat er weinig bebouwing en grote bomen in de buurt van de beoogde meetlocaties staan.

Ten slotte zullen ook andere criteria een rol spelen of de locatie definitief kan worden gemaakt, zoals de aan- en afwezigheid van sloten, kabels, leidingen, kelders of kruipruimtes, en eventueel ook toekomstige bouwplannen.

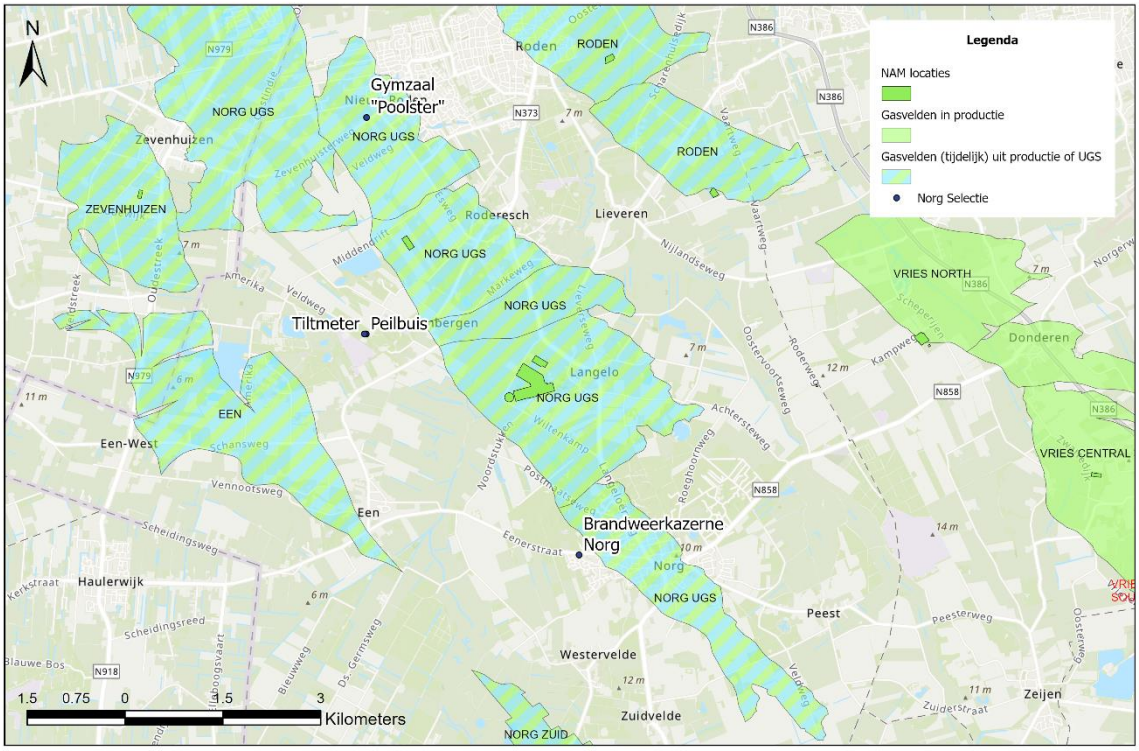
4.2 Locaties rondom het Norg veld

Een groot aantal locaties rondom het Norg gasveld zijn onderzocht, zie Appendix 3. Op basis van criteria zoals aangegeven in de vorige paragraaf en na een veldbezoek is het aantal locaties teruggebracht naar een lijst met geselecteerde locaties. Deze locaties zijn weergegeven in Figuur 2.

Tabel 1 bevat meer informatie over deze locaties. Het Laagpakket van Nieuwolda (PENI) in de Formatie van Peelo is de potklei: liefst wordt een locatie gevonden waarin deze potklei afhankelijk van de grondwaterstand zowel onder water kan staan als droog kan vallen. Zoals afgesproken worden rondom het Norg veld in totaal drie locaties met tiltmeters, extensometers en waterpeilbuizen gerealiseerd. Ook zal er op één locatie een peilbuis worden gerealiseerd.

Tabel 1: Geselecteerde locaties voor Norg.

Gebouwnaam	Adres	Plaats	Ondiepe geologie	Bijzonderheden
Gymzaal "Poolster"	Zevenhuisterweg 3	Nieuw-Roden	DRGI op -0,50-0,80m, PENI op -1,8m, lokaal. Op keileem nog veenresten.	Eigendom gemeente
Brandweerkazerne Norg	Eenerstraat 69	Norg		Eigendom gemeente
Locatie tiltmeter		Steenbergen		Geen eigendom gemeente
Locatie peilbuis		Steenbergen		Geen eigendom gemeente



Figuur 2: Mogelijke locaties voor monitoring boven en rondom het Norg gasveld. De putten zijn vanuit de Norg NAM locatie geboord.

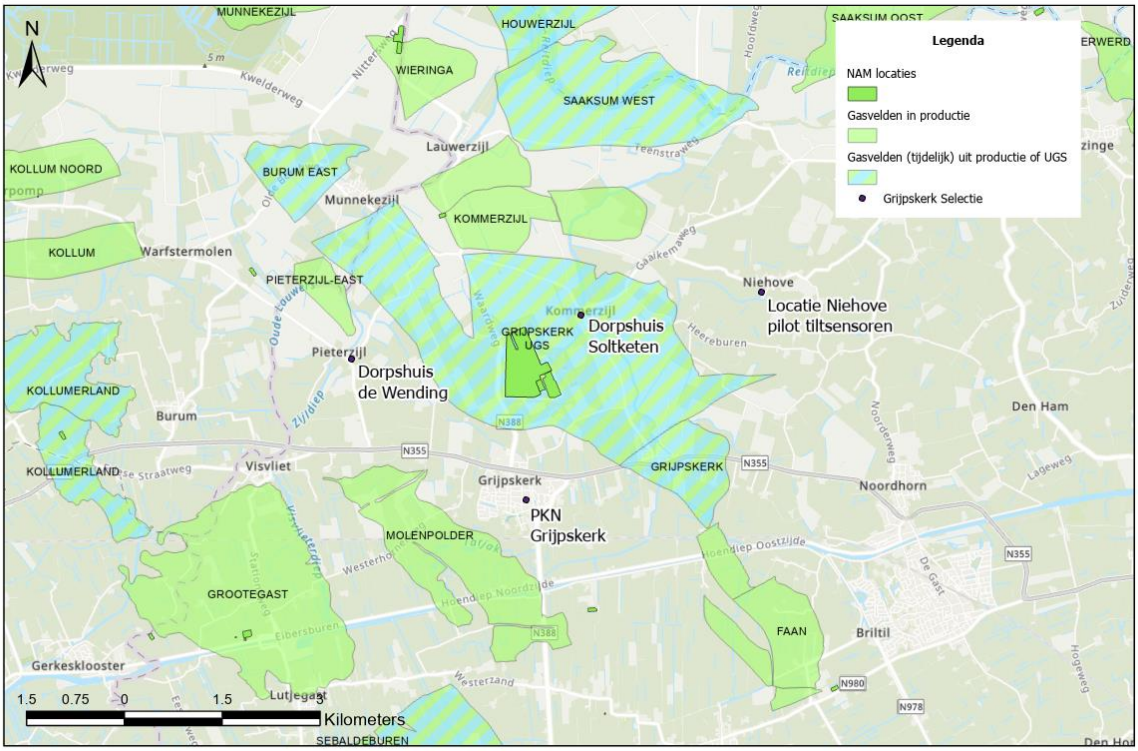
4.3 Locaties rondom het Grijpskerk gasveld

Een groot aantal locaties rondom het Grijpskerk gasveld zijn onderzocht, zie Appendix 4. Op basis van criteria zoals eerder aangegeven is het aantal locaties teruggebracht. Na een veldbezoek aan deze locaties is het aantal verder teruggebracht naar 4 locaties. Deze uiteindelijke locaties zijn weergegeven in Figuur 3. Tabel 2 bevat meer informatie over deze locaties. De locatie met een bestaande tiltmeter ten zuiden van Niehove is een onderdeel geweest van het Fugro tiltmeter project.

Zoals afgesproken worden in totaal vier locaties uit de onderstaande lijst met tiltmeters, extensometers en waterpeilbuizen gerealiseerd rondom het Grijpskerk veld.

Tabel 2: Geselecteerde locaties voor Grijpskerk.

Gebouwnaam	Adres	Plaats	Ondiepe geologie	Bijzonderheden
Dorpshuis de Wending	Schoolstraat 4	Pieterzijl	NA klei, NIBA (dun), PL op -5,5m (BX, dunne DRGI, PE zand)	Grote kelder; geen eigendom van gemeente.
Dorpshuis Soltketen	Dorpsstraat 25	Kommerzijl	NA klei, NIBA, PL op -9,5m	Geen kelder
PKN Grijpskerk	Nicolaas Grijpstraat 26	Grijpskerk	NA klei/zand op NIHO (<50 cm) op nawo (<1m), op NIBA (<2m), op PL BX	Onderdeel van PKN
Bestaande tiltmeter		Niehove	NA klei 3-4m op NA geulzand. Top PL op 10-15m	Onderdeel van het Fugro tiltmeter project.



Figuur 3: Geselecteerde locaties voor monitoring van de ondiepe bodembeweging boven Grijpskerk en omstreken. De putten zijn vanuit de Grijpskerk NAM-locatie geboord.

5 Meettechnieken voor aanvullende monitoring

5.1 Tiltmeters

Tiltmeters meten de tilt of de hoek gedurende langere tijd. Tiltmeters kunnen worden geplaatst op verschillende dieptes. Tiltmeters aan het maaiveld meten de gecombineerde beweging van zowel de diepe als de ondiepe ondergrond, terwijl dieper geplaatste tiltmeters de tilt van de diepere lagen onder de tiltmeter meten.

De nauwkeurigheid van de metingen met tiltmeters wordt onder andere beïnvloed door:

- Gevoeligheid van de tiltmeter. Hierbij speelt de resolutie van de meter een rol. De resolutie van een meter verwijst naar de kleinste stap die het instrument kan detecteren en weergeven. De verwachte tilt die ontstaat door de productie en injectie van UGS Grijpskerk is in de orde van 2 miljoenste graad per week (0,000002 graad, oftewel 2e-6 graad). Als we dus wekelijks de verandering in tilt willen meten, moet de resolutie minimaal 2e-6 graden zijn.
- Wijze van plaatsing. De meter dient zodanig geplaatst te worden dat de meter de effecten van bodembeweging meet, en niet verstoord wordt door andere effecten (zoals bijvoorbeeld wind of verkeer).
- Lange termijn drift effecten. Omdat de verwachte veranderingen van de tilt klein zijn en plaatsvinden over langere tijd (jaren), is het belangrijk dat de meetwaardes niet met verloop van tijd gaan driften. Daarom moet gekozen worden voor een meter met een drift die aantoonbaar significant lager is dan de verwachte tilt door de bodembeweging (over een half jaar in orde van maximaal 1 ppm (hoekverschil van ~0.00005˚).
- De bemonsteringssnelheid (sample rate): hoe vaak kan een meetwaarde worden bepaald en opgeslagen. In principe meet de tiltmeter continue, maar niet alle metingen kunnen worden opgeslagen. Als de tilt elke seconde opgeslagen wordt, betekent dit dat er meer dan 31 miljoen waarden zijn per jaar per tiltmeter. Het is gebruikelijk om in het begin vaker te meten, en vervolgens na analyse van de resultaten de bemonsteringssnelheid te optimaliseren.

Op dit moment worden tiltmeters niet gebruikt voor het meten van bodembeweging door diepe oorzaken op tijdschalen in orde van jaren. Indien mogelijk kunnen optioneel enkele permanente GNSS-stations geïnstalleerd worden nabij enkele diep gefundeerde tiltmeters op dezelfde funderingsdiepte. Middels de gemeten bodembeweging met GNSS kunnen mogelijke systematische afwijkingen in de tiltmeters (o.a. drift) in kaart worden gebracht. Op een later moment zal in overleg besloten worden of GNSS-stations toegevoegd zullen worden.

5.2 Extensometers en waterpeilbuizen

Op de locaties worden extensometers geplaatst. Extensometers meten de krimp, zwel en dikteverandering van bodemlagen. Voor het project bij museum Wierdenland (zie Figuur 4) zijn deze geplaatst op dieptes van ca. 1,5 m, 6 m en 12 m onder NAP. Deze dieptes zijn bepaald op basis van de sonderingsresultaten.

Op de locaties worden ook peilbuizen geplaatst om de stijghoogte (grondwaterdruk) te meten op dezelfde dieptes als de ankers van de extensometers. Deze informatie is belangrijk omdat fluctuaties in grondwaterdruk veel invloed hebben op bodembeweging in de ondiepe ondergrond. Zo kan als gevolg van een lage grondwaterstand bijvoorbeeld een kleilaag of veenlaag uitdrogen en afnemen in

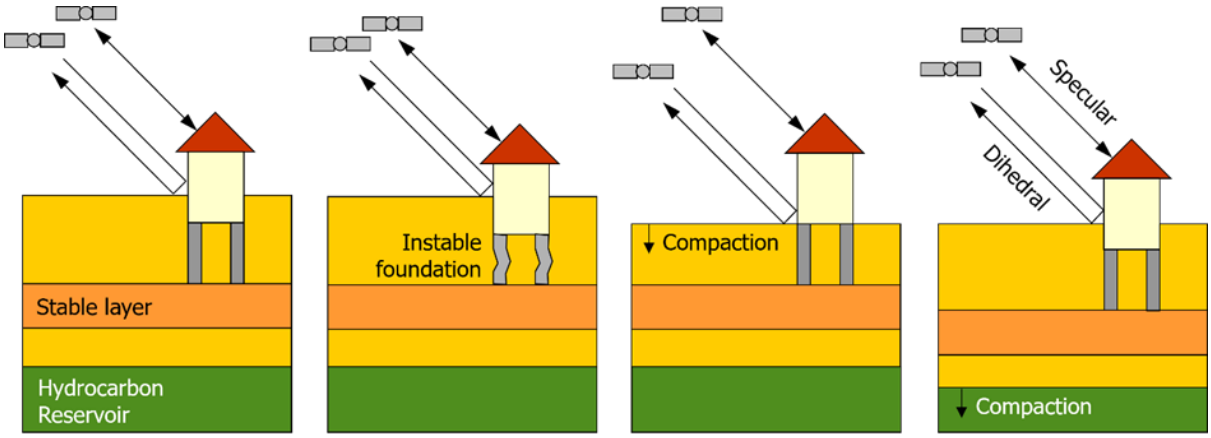
dikte. De informatie uit de metingen van de peilbuizen kan in combinatie met de andere meetinstrumenten meer inzicht geven en daarmee tegemoetkomen aan de geformuleerde zorgen.

De apparatuur kan van stroom worden voorzien middels een zonnepaneel (zie Figuur 4) of via een directe stroomverbinding. De frequentie waarmee de metingen van de peilbuizen en extensometers kunnen worden verricht is instelbaar (bijv. elk uur). Vervolgens kunnen de meetwaardes via satellietverbinding worden doorgestuurd naar servers.

Figuur 4: De TNO meetopstelling zoals deze bovengronds te zien is bij museum Wierdenland. De rode kap bevat peilbuizen en de witte kappen extensometers.

5.3 InSAR

Interferometrische Synthetische Apertuur Radar (InSAR, satelliet radar interferometrie) is een radartechniek die wordt gebruikt in de geodesie. Met een tijdserie van radaropnamen van satellieten kan de deformatie van objecten op het aardoppervlak worden geschat. InSAR wordt gebruikt in Nederland om bodembeweging als gevolg van gaswinning te meten, maar ook om bijvoorbeeld de beweging van infrastructurele werken te monitoren. De nauwkeurigheid van InSAR is vergelijkbaar met die van waterpassen en GNSS. De nauwkeurigheid van InSAR metingen wordt naast de meetprecisie bepaald door de ‘idealisatieprecisie’: de mate waarin een InSAR meetpunt representatief is voor bodembeweging als gevolg van een bepaalde deformatie-oorzaak. Welke (superpositie van) deformatie wordt gemeten, wordt naast door het type object en de diepte van de fundering, ook bepaald door het type reflectie (direct of indirect, zie Figuur 5).



Figuur 5: Deformatie regimes en directe en indirecte InSAR reflecties.

InSAR-meetpunten zijn objecten op het aardoppervlak die (coherent) reflecteren in een bepaalde tijdsperiode. Coherente reflectoren over meerdere tijdsperiodes worden zogenaamde Persistent Scatterers (PS) genoemd, en corresponderen voornamelijk met bebouwing in het terrein. Een voorbeeld hiervan is het dak in Figuur 5. Meestal is er één dominante reflectie binnen een resolutiecel in een InSAR opname. Bij de satellietmissie Sentinel-1 is zo'n resolutiecel ongeveer 20x5 m^2 groot. Daarnaast zijn er zogenaamde Distributed Scatterers (DS). Bij DS is er geen dominante reflectie binnen een resolutiecel, maar door toepassing van nieuwe methodieken kan er ook informatie over grondbeweging worden verkregen in sommige gebieden zonder sterke reflectoren (Conroy et al., 2023). Deze nieuwe ontwikkelingen zullen worden getest in het studiegebied om een beter inzicht te krijgen in de bodembeweging van de niet bebouwde gebieden.

Kortom, InSAR meet alle coherent reflecterende objecten vanuit de ruimte, welke representatief kunnen zijn voor de bodembeweging als gevolg van één of meerdere deformatie-mechanismes. Waar we voor het monitoren van bodembeweging als gevolg van gaswinning de meetpunten selecteren die corresponderen met gefundeerde gebouwen, ligt de focus in de uitbreiding van de monitoring bij Norg en Grijpskerk op het vergroten van inzicht in bodembeweging door ondiepe processen, en de totale superpositie van deformatie-regimes.

De TU Delft zal in het kader van het omgevingstraject Grijpskerk Norg een onderzoek uitvoeren hoe de InSAR processing kan worden ingericht om tegemoet te komen aan de zorgen en wensen van de omgevingstafel. Dit onderzoek zal zich richten op de volgende onderdelen:

- Het verwerken van nieuwe InSAR opnamen zodra deze beschikbaar komen en de inzet van geodetische methoden om anomalieën in de tijdseries te detecteren.
- Het berekenen van deformatie van alle relevante InSAR meetpunten: zowel point scatterers (gebouwen, constructies) als distributed scatterers (percelen); ook de scatterers die alleen in een bepaald tijdsinterval coherent zijn.
- Het verbeteren van de 3D-locatie van de InSAR meetpunten, waardoor een betere inschatting worden gemaakt aan welke object het InSAR meetpunt is gerelateerd en op welke hoogte. N.B.: de precisie van deformatie-metingen in de satelliet-kijkrichting is sub-cm, maar de 3D locatie van een InSAR meetpunt is dat niet (ligt in de orde van meters tot 10-20 m).
- Het maken van een inschatting welke deformatie-oorzaken van toepassing zijn bij welke meetpunten. Uit sets van meetpunten waarvan de metingen een hoge waarschijnlijkheid

hebben om hetzelfde deformatie-regime(s) te hebben, kan vervolgens onderzocht worden of 3D deformatie-componenten geschat kunnen worden.

Waarbij het monitoren met tiltmeters en extensometers gedetailleerde lokale informatie zal opleveren, is de verwachting dat het InSAR onderzoek door TU Delft ruimtelijke invulling geeft op geaggregeerde niveaus.

6 Projectstructuur

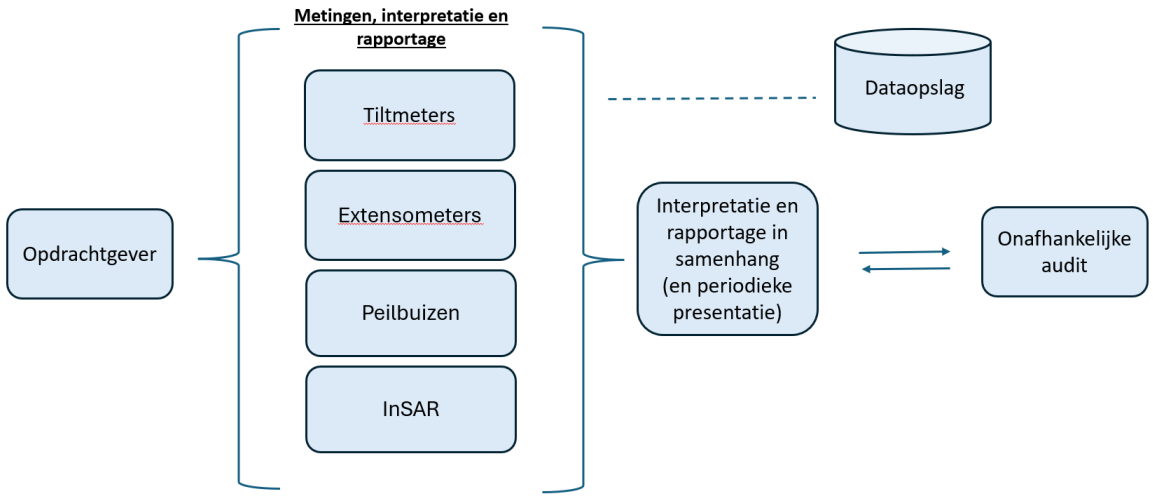
De projectstructuur bestaat uit een aantal elementen zoals aangegeven in Figuur 6. Verschillende partijen worden gevraagd voor de installatie van de verschillende monitoringsinstrumenten en/of het uitvoeren van de monitoring. De Technische Universiteit Delft is gevraagd om het onderdeel InSAR voor haar rekening te nemen. De monitoringslocaties met tiltmeters, extensometers en peilbuizen zullen door een nader te bepalen partij(en)worden gerealiseerd.

Deze partij (en) zorg(en) ook voor de interpretatie van de data en individuele rapportages. Alle onbewerkte data van de tiltmeters, de extensometers en peilbuizen worden vanaf het meetpunt direct geladen en opgeslagen voor een periode van minimaal 5 jaar. Onbewerkte data van de tiltmeters, extensometers en peilbuizen kunnen worden opgevraagd en ingezien door derden. Een verzoek hiervoor zal verlopen via de opdrachtgever.

Het voorstel van de begeleidingscommissie is om voor een periode van vijf jaar te monitoren. Dit voorstel is door de Stuurgroep aangenomen. Elke 2 jaar wordt het programma geëvalueerd.

Jaarlijks wordt een rapportage verzorgd in de vorm van deelrapporten en een integratierapport. Deze rapporten zullen openbaar zijn. De belangrijkste inzichten van deze rapporten worden ook gepresenteerd aan de omgeving.

De rapportages worden na bijvoorbeeld twee jaar ook gereviewd door een onafhankelijke, nader te bepalen partij (onafhankelijke audit).



Figuur 6: Projectstructuur.

7 Referenties

NAM (2020) Bodemdaling door aardgaswinning - Statusrapport 2020 en Prognose tot het jaar 2080. https://nam-onderzoeksrapporten.data-app.nl/reports/download/bodemdaling/nl/aa0e05c7-704a-4f9f-a02c-ea7ece904905.

Wierda, K.J. (1994) Ondiepe compactie. Stageverslag (TU Twente).

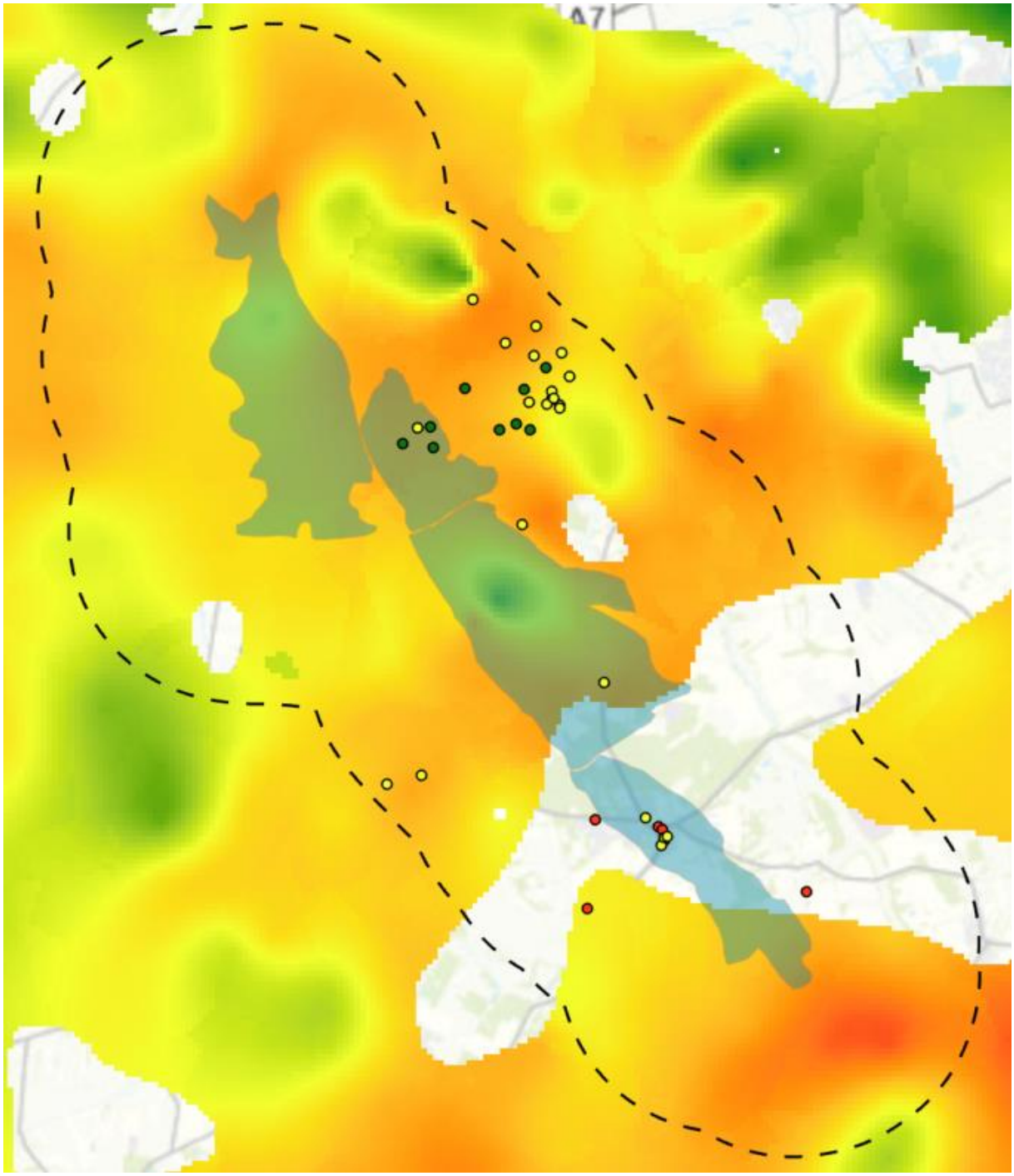
Pilot Tiltsensoren Groningen (2023), Fugro rapport 1418-0227-010.HR, 15 juni 2023.

Conroy P, van Diepen SAN, van Leijen FJ, Hanssen RF (2023) Bridging loss-of-lock in insar time series of distributed scatterers. In: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 61, pp. 1-11

Brouwer WS, Hanssen RF (2024) Estimating Three-Dimensional Displacements with InSAR: the Strapdown Approach, accepted for publication in Journal of Geodesy

Appendix 1: Geologische beschrijvingen van de ondiepe ondergrond boven het Norg gasveld

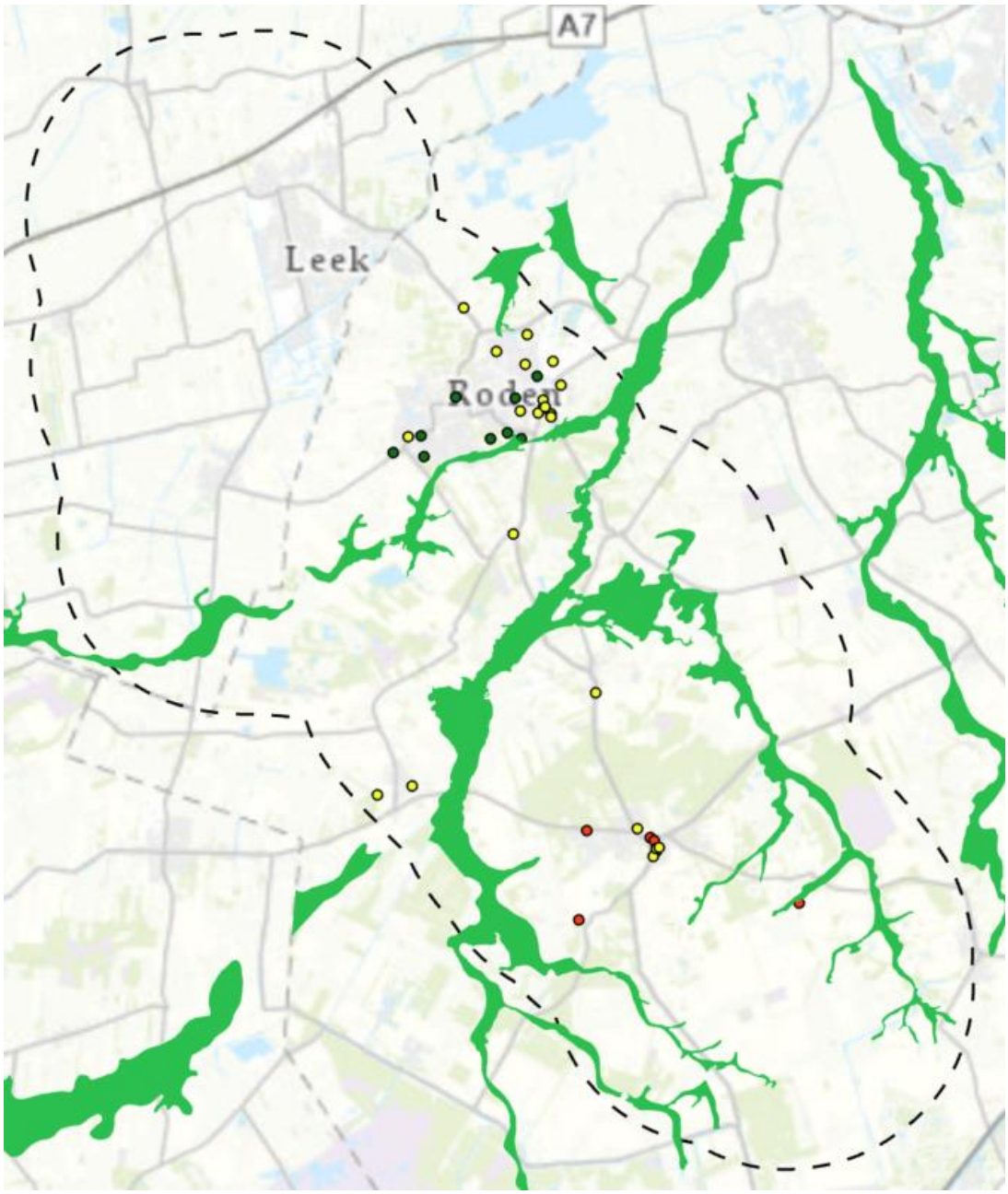
De ondergrond van Norg en omgeving wordt gekenmerkt door afzettingen die gevormd zijn tijdens verschillende fasen van het Pleistoceen; zowel tijdens ijstijden als warmere perioden. Onder het gehele gebied komen afzettingen voor die gevormd zijn tijdens de één na laatste keer dat landijs dit gebied bedekte (Formatie van Peelo (PE); Elsterien ijstijd). Deze afzettingen zijn door verschillende processen gevormd en kennen daardoor een sterk variërende samenstelling. De zandige afzettingen in het gebied zijn gevormd tijdens het afsmelten van het landijs, en afgezet in smeltwaterrivierbeddingen. Deze smeltwaterafzettingen zijn bijvoorbeeld onder en nabij het dorp Norg te vinden op zo'n 5 meter diepte. Lokaal ontstonden tijdens het afsmelten van het landijs diepe meren. Deze meren konden tientallen meters diep zijn, en werden lokaal opgevuld met klei (potklei; Laagpakket van Nieuwolda, PENI). Potklei kan zeer compact en gedeformeerd zijn door latere landijs bedekking. Vooral in de omgeving van Roden en Nieuw-Roden komen potkleilagen ondiep voor, al op zo'n 2 meter diepte.
In de zuidwestrand van het gebied ligt direct op Formatie van Peelo (PE) een zandpakket dat voornamelijk door de wind is afgezet (Formatie van Drachten, DR). Kenmerkend voor dit pakket is dat het ook zeer compact kan zijn, wat komt omdat het in een latere fase bedekt is geweest met landijs. Kenmerkend is dan ook de aanwezigheid van een laag keileem direct erbovenop liggend (laagpakket van Gieten, GI), gevormd tijdens de laatste keer dat Nederland met landijs bedekt is geraakt (Saalien ijstijd). Hoewel deze keileem in vrijwel het gehele gebied voorkwam, is de verbreiding in de huidige situatie door latere erosie versnipperd geraakt. Onder enkele woonkernen komt de keileem nog wel voor op zo'n 1 a 2 meter diepte, zoals onder Nieuw-Roden, Norg, en Noordeind.



Figuur 7: Kaart met daarop de diepteligging van de potklei (Laagpakket van Nieuwolda), zoals gemodelleerd in TNO's ondergrondmodel REGIS. Met name onder Roden en Nieuw-Roden bevindt deze potklei zich relatief ondiep (rood), terwijl in andere delen dit dieper ligt (groen)

Een van de oorzaken van de erosie van keileem is de vorming van een beekdalsysteem. Dit beekdalsysteem was het meest erosief tijdens de laatste ijstijd (Weichselien ijstijd), omdat tijdens het afsmelten van sneeuw in de lente, in combinatie met weinig vegetatie, relatief grote beeksystemen konden ontstaan. Deze voormalige beeklopen zijn met name ingevuld met zand (Formatie van Boxtel). Gelijktijdig werd er buiten de beeklopen een zandpakket door de wind afgezet (Laagpakket van Wierden). Tijdens het Holoceen zijn deze beeklopen deels actief gebleven; in de jongere

beeklopen is naast zand ook lokaal veen gevormd en klei afgezet (Laagpakket van Singraven). Deze slappere beekafzettingen komen voornamelijk voor buiten de woonkernen (Figuur 5).

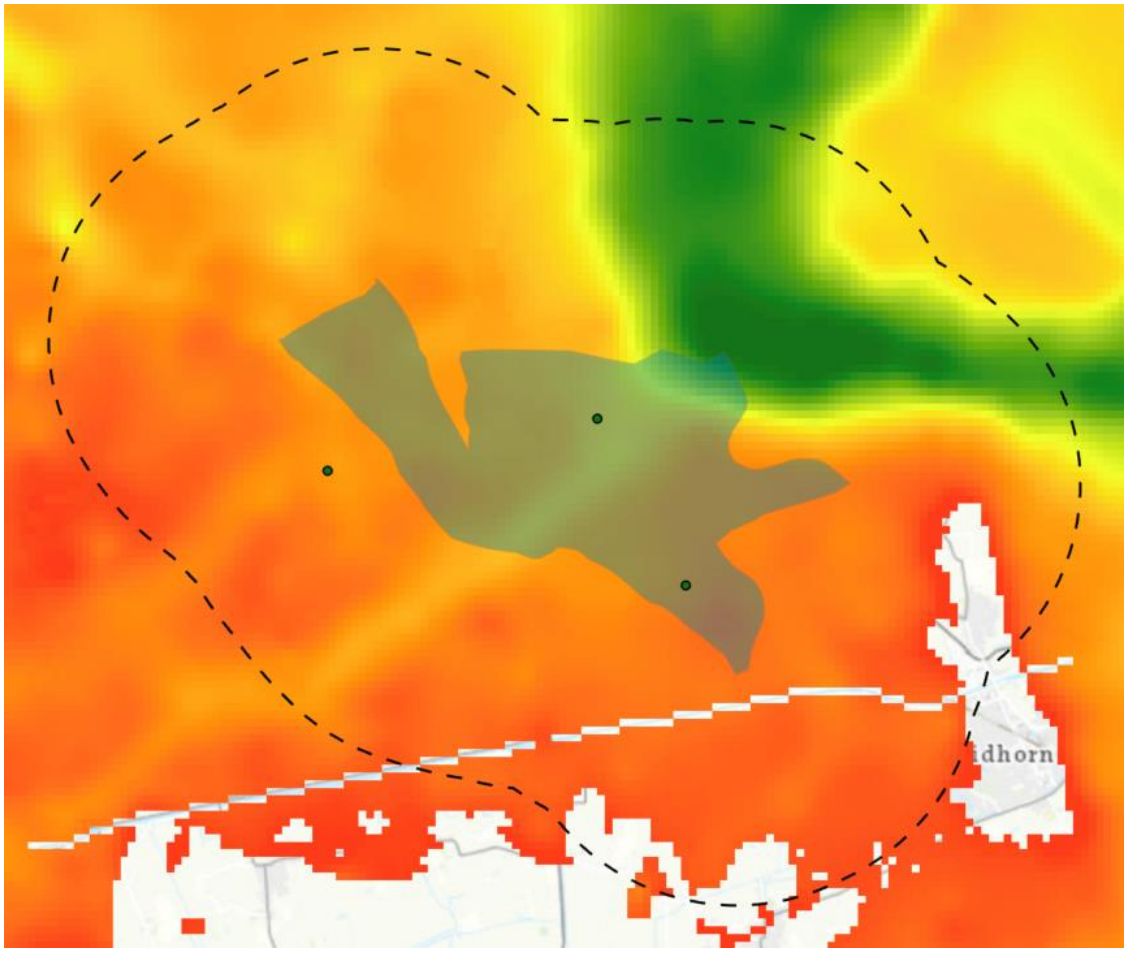


Figuur 8: Positie van de beekdalen waarin veen en klei kan voorkomen. Deze beekdalen zijn voornamelijk aanwezig buiten de bebouwde gebieden. Gegevens afkomstig van de Geomorfologischekaart 2023.

De ondiepe ondergrond kan vervormen door natuurlijke processen, meestal als een gevolg van veranderde grondwaterspiegel. De grondwaterspiegel varieert met de seizoenen, maar kan ook variëren door peilaanpassingen die worden uitgevoerd door het waterschap. Grondwaterstandverlaging zorgt voor compactie en inklinking van voornamelijk veen- en kleilagen. De zandlagen zijn minder gevoelig voor grondwatervariaties. Grondwaterstandverhoging kan tot zwelling leiden van kleilagen.

Appendix 2: Geologische beschrijving van de ondiepe ondergrond boven het Grijpskerk gasveld

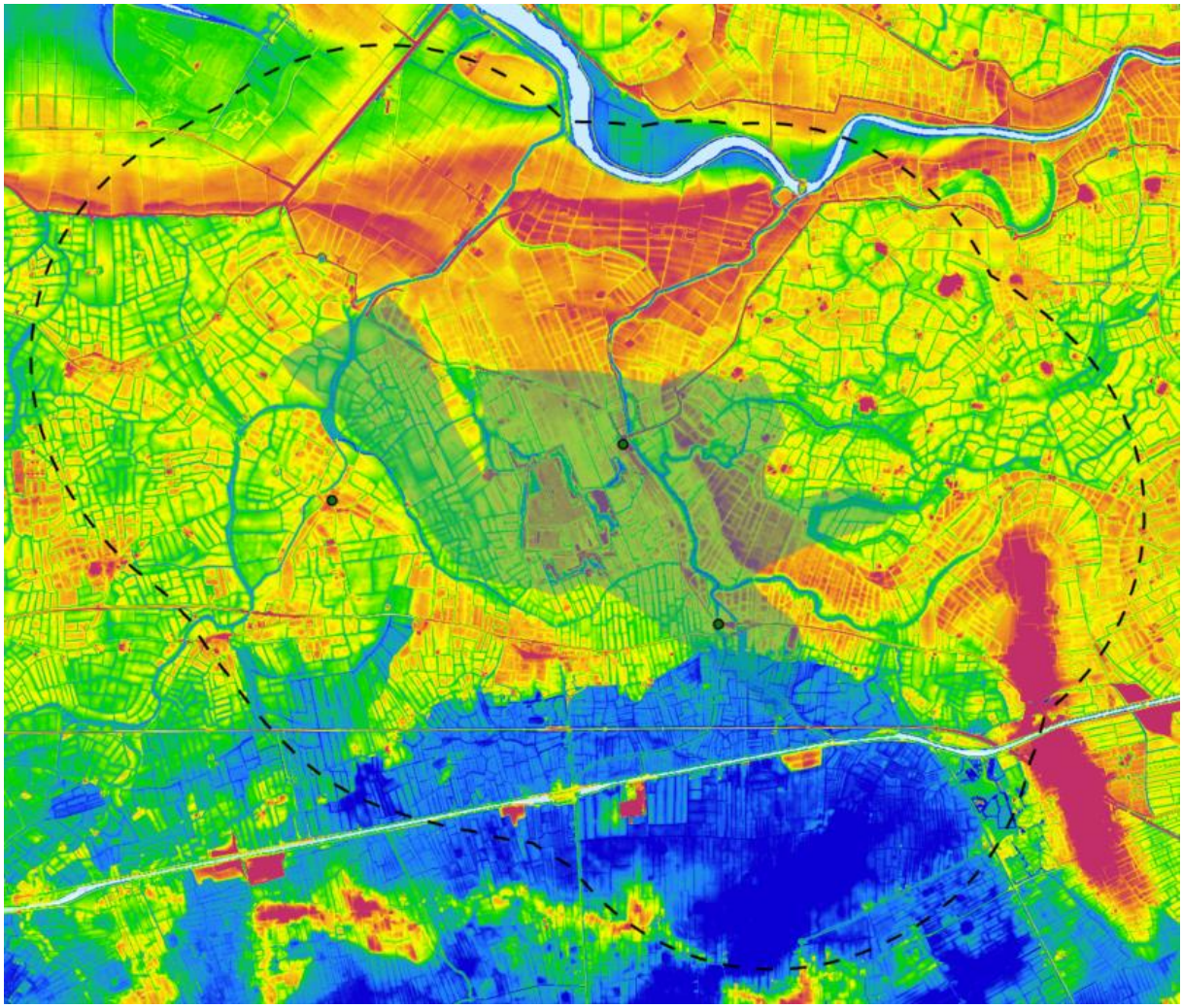
De ondergrond van Grijpskerk en omgeving wordt gekarakteriseerd door afzettingen die tijdens het Holoceen gevormd zijn in een getijdenmilieu. Het gebied rondom de gasopslag ligt aan de zuidrand van het Hunzedal, een zandig beekdalsysteem dat al gedurende het Pleistoceen (Weichselien ijstijd) vanuit het zuiden gevormd werd door de beek de Hunze (Formatie van Boxtel) (Figuur 9). Het beekdal kwam vanuit het zuidoosten het gebied binnen, en krulde in westwaartse richting om de verhoogde keileemrug van Zuidhorn (Laagpakket van Gieten). In en rondom het beekdal vormde zich direct op de zandige ondergrond een veenmoeras; de veenlagen (Basisveen Laag) die hierin gevormd werden zijn door latere erosie van getijdengeulen momenteel alleen nog maar terug te vinden op de flanken van het dal. Zo bevindt zich onder het dorp Grijpskerk een veenlaag van zo'n 2 meter dik, waarvan de top zich ongeveer 2 meter onder het maaiveld ligt. Direct onder het veen begint dan weer het Pleistocene zand.



Figuur 9: De basis van Holocene eenheden zoals gemodelleerd in TNO's ondergrondmodel REGIS. Duidelijk zichtbaar is het dieperliggende Hunzedal (groen) en de minder diepe, niet geërodeerde delen (rood). De keileemrug van Zuidhoorn is zichtbaar rechtsonder. Het gasveld van Grijpskerk is met blauw aangeven, de stippellijn is een 3 km buffer rondom het veld, en de stippen geven door de gemeente Westerkwartier aangeleverde meetlocaties weer.

Het Hunzedal verdronk zo'n 7000 jaar geleden onder invloed van Holocene zeespiegelstijging. Getijdengeulen begonnen zich te vormen in het Hunzedal, waarvan de diepste delen werden

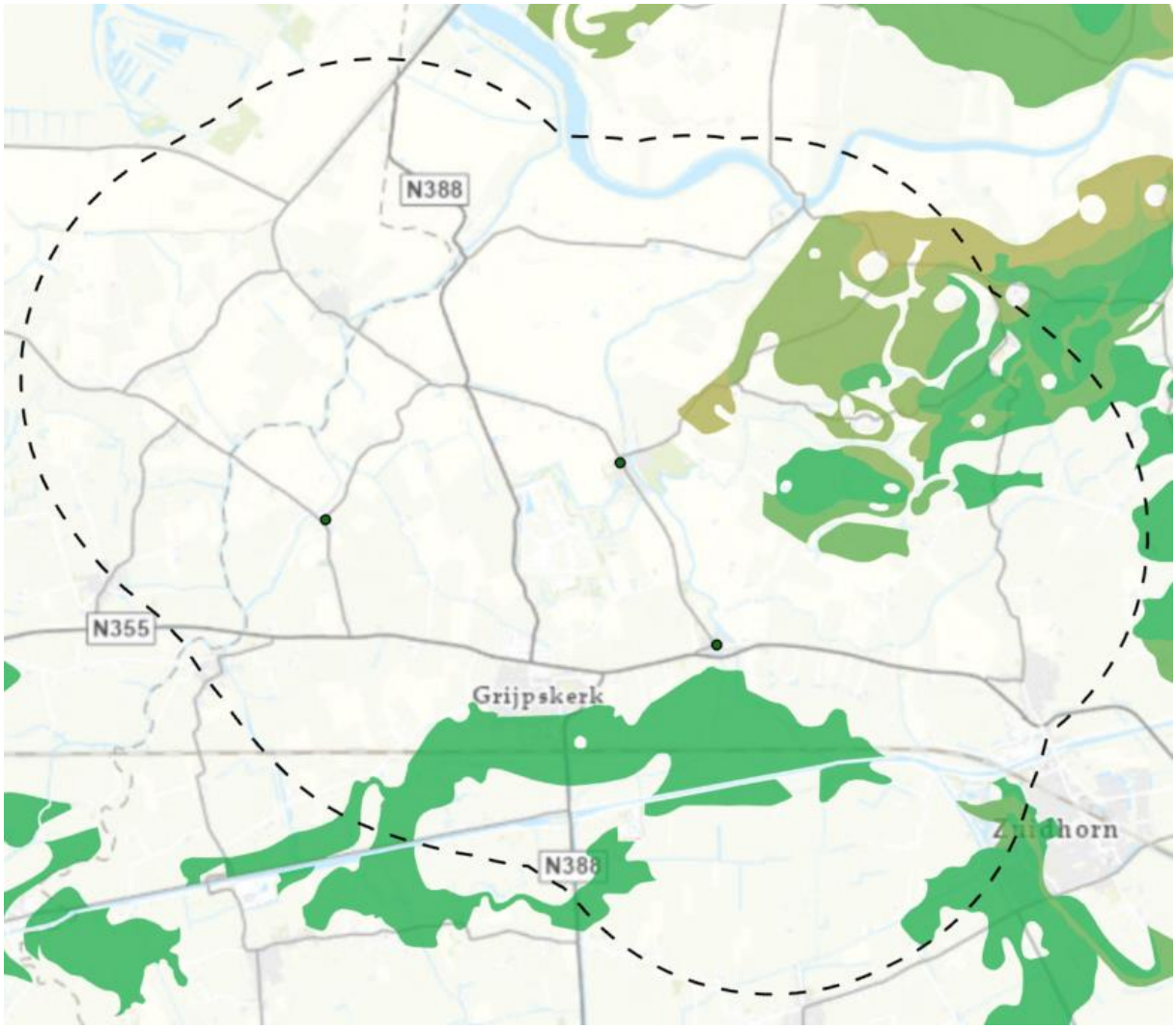
opgevuld met getijdenzand (Laagpakket van Wormer). Rondom het dorp Niehove zijn getijdengeulen tot ruim 17 meter diepte ingesleten en hebben daar een 10 tot 15 meter dik pakket zand afgezet. Aan de flanken van het Hunzedal neemt de hoeveelheid zand af en zijn getijdenafzettingen over het algemeen kleiiger en dunner. Doordat de getijdengeulen voornamelijk het voormalige Hunzedal binnendrongen, kent het gebied een relatief heterogene kustsequentie opbouw. Met zandige tot kleiige afzettingen daar waar de kustopbouw het dikste is, en klei tot venige opbouw waar de kustafzettingen het dunste zijn. Doordat de zeespiegelstijging afremde, kon er op de getijdenafzettingen aan de zuidkant van het gebied lokaal weer een dun laagje veen vormen (Hollandveen Laagpakket).



Figuur 10: Hoogtekaart van het gebied (AHN4; rood is hoog en blauw is laag). Doordat sommige gebieden langer overstroomd konden worden dan andere, vaak eerder ingedijkte, gebieden is er een sterk variërende maaiveldhoogte ontstaan. Hierin zijn de verscheidende voormalige getijdengeullopen nog duidelijk zichtbaar.

Overstromingen vanuit de zee gingen in het gebied door tot in de historische tijd, wat ervoor zorgde dat ook de sedimentatie doorging (Laagpakket van Walcheren). Figuur 10 toont een hoogtekaart van het gebied waarbij de relatief grote verschillen in reliëf opvallen. Deze verschillen hadden ook een relatie met de bewoningsfasen en gebruik van het gebied. Venige gebieden werden verder ontwaterd, waardoor het veen inklonk en deels verging. Hierdoor trad er bodemdaling op waardoor het gebied verder kon overstromen. Bewoners wierpen hierop terpen op, voornamelijk op kwelderafzettingen. De uitbreiding van de Lauwerszee in de vroege Middeleeuwen wordt

bijvoorbeeld toegeschreven aan bodemdaling door veenontwatering. Zuidelijke zandige getijdengeuluitlopers van de Lauwerszee zijn bijvoorbeeld nog aanwezig tussen Pieterzijl en Munnekezijl. Op de flanken van de grotere getijdengeulen ontstonden kleiige kwelders. Deze kwelders lagen relatief hoog, raakte deels begroeid, en in combinatie met neerslag werden deze ontkalkt. De bodem die hierdoor ontstond staat bekend als knipklei, en kent relatief sterke zwel-krimp eigenschappen (Figuur 11). Door structurele bedijking vanaf de Middeleeuwen stopte de frequente inundaties en sedimentatie, maar tijdens stormen konden dijken doorbreken en lokaal zand en klei afzetten.



Figuur 11: Verbreiding van knipklei bodems in het gebied. Deze ontstonden in de voormalige kweldergebieden. Verbreiding is afkomstig van de Bodemkaart 2023.

Appendix 3: Onderzochte locaties rondom Norg veld

gebouwnaam	straat	huisnummer	plaats
Brinkhof	Brink Norg	1	Norg
Dorpshuis - RAShuys Roderesch	Giezenstraat	3	Steenbergen
Gemeentehuis Nieuwbouw	Raadhuisstraat Roden	1	Roden
Gymzaal "Poolster"	Zevenhuisterweg	3	Nieuw-Roden
Bedrijfsverzamelgebouw - Julianagebouw	Raadhuisstraat Roden	1	Roden
Begraafplaats Een	Vennootsweg	1a	Een
Begraafplaats Nieuw Roden	Beukenlaan Nieuw-Roden	15	Nieuw-Roden
Begraafplaats Norg	Kerkhofsdrift	3	Norg
Begraafplaats Roden	Norgerweg Roden	13a	Roden
Brandweer Norg	Eenerstraat	69	Norg
Brandweerkazerne Roden	Westeresch	20	Roden
Brengstation	Overslagweg	3	Roden
De Dobbe	Koerskamp	2a	Roden
De Haven - K38	Kanaalstraat	38	Roden
Elsakker	Schoolstraat Westervelde	5	Westervelde
Garageboxen Paaskamp	Paaskamp	9x11	Roden
Gemeentehuis Oudbouw	Raadhuisstraat Roden	1	Roden
Gymlokaal Hoge holt	Lijsterbesstraat	1	Roden
Gymzaal Schonauwen	Schonauwen	2a	Roden
Gymzaal Schoolstraat Norg	Schoolstraat Norg	5	Norg
Hekakker Noodgebouw	Schoolstraat Norg	3	Norg
Huiskamer Langelo	Hoofdweg Langelo	10	Langelo
Koetshuis l Complex Mensinge	Mensingheweg	3	Roden
Koetsierswoning l Complex Mensinge	Mensingheweg	1	Roden
Korfbal Borglaan	Borglaan	7	Roden
Marke	Molenweg Roden	1/1a	Roden
MAVO vm. Dorpshuis Norg	Dorpshuisstraat	1	Norg
MFA Een	Norgerweg Een	18	Een
Museum Kinderwereld - nu: Speelgoedmuseum Roden	Brink Roden	31	Roden
Ny Roon	Roderweg Roden	86	Roden
Oude werkplaats Roden	1e Energieweg	10	Roden
Peester Mug	Schaapdijk	7c	Peest
Sporthallen l Sportcomplex "De Hullen"	Ceintuurbaan Zuid	6	Roden
Tandem bovenbouw	Klimop	2	Roden
Toren NH Kerk Nieuw Roden	Terheijlsterweg	1	Nieuw-Roden
Toren NH Kerk Norg	Brink Norg	2	Norg
Toren NH Kerk Roden	Brink Roden	8	Roden
vm. Werkplaats Norg	Schoolstraat Norg	1a	Norg
Winsinghhof	Brink Roden	10	Roden
Woning J.P. Santeeweg 118	J.P. Santeeweg	118	Nietap
Woning Zevenhuisterweg 3a - "Voetbalboerderij"	Zevenhuisterweg	3a	Nieuw-Roden

Appendix 4: Onderzochte locaties rondom Grijpskerk veld

gebouwnaam	straat	huisnummer	plaats
Schanshuus	Hoofdstraat	83	Niezijl
Dorpshuis de Wending	Schoolstraat	4	Pieterzijl
gemeentewerf	Kievitsweg	20	Grijpskerk
sporthal Bokkediek	Sportlaan	5	Grijpskerk
kerk Niehove	Kerkstraat	1	Niehove
kerk Niezijl	Hoofdstraat	54	Niezijl
Doopsgezinde vermaning Grijpskerk	Herestraat	18	Grijpskerk
Dorpshuis Soltketen	Dorpsstraat	25	Kommerzijl
Jeugdcentrum De Smidse	Smidshornerweg	49a	Niekerk
CCZ	Jellemaweg	3	Zuidhorn
sporthal QuickSilver S	Sportlaan	1	Zuidhorn
sporthal Oosterweg	Oosterweg	52	Noordhorn
sporthal De kooi	Bovenstilsterweg	1	Oldehove
Kerk Visvliet	Heirweg	16	Visvliet
PKN Grijpskerk	Nicolaas Grijpstraat	26	Grijpskerk
SOGK Grijpskerk	Kerkplein	11	Grijpskerk
Locatie Niehove pilot tiltsensoren	Tilstok	1	Niehove