
Projectnummer: 51001122 (367825)

Referentienummer: NL21-648800269-4235

Datum: 02-09-2021

Pilots onderzoek naar ongelijkmatige bodemdaling en drainage op landbouwgronden

Verkennd onderzoek naar de omvang en de oorzaken van (ongelijkmatige) bodemdaling en effect op de drainage op twee pilotlocaties (landbouwgronden) in het gaswinningsgebied van Groningen

Definitief

Oprachtgever: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Team Groningen Bovengronds
Postbus 20401
2500 EK Den Haag

Revisiebeheer

Revisie	Datum	Status	Belangrijkste wijzigingen
C2	26-04-2021	Concept	Feedback begeleidingsgroep, zie besprekingsverslag met kenmerk SWNL0275898
D1/C3*	20-05-2021	Definitief	Resultaten drainagemetingen Loppersum toegevoegd inclusief aanvulling conclusies Feedback begeleidingsgroep, zie besprekingsverslag met kenmerk SWNL0276724 Verwerking schriftelijk commentaar K. Kooistra, P. van de Gaag. I. Grevers
D2	21-07-2021	Definitief	Feedback begeleidingsgroep, grondeigenaren, deelnemers sectoroverleg en opdrachtgevers verwerkt.
D3	02-09-2021	Definitief	Eindcommentaren begeleidingsgroep, grondeigenaren, deelnemers sectoroverleg en opdrachtgevers verwerkt.

*In deze versie zijn twee verschillende revisienummers gehanteerd (D1 en C3).

Verantwoording

Titel	Pilots onderzoek naar ongelijkmatige bodemdaling en drainage op landbouwgronden
Subtitel	Verkennd onderzoek naar de omvang en de oorzaken van (ongelijkmatige) bodemdaling en effect op de drainage op twee pilotlocaties (landbouwgronden) in het gaswinningsgebied van Groningen
Projectnummer	51001122 (367825)
Referentienummer	NL21-648800269-4235
Revisie	D3
Datum	02-09-2021
Auteur	Jaap de Wit, Dominique Engelen*
E-mailadres	jaap.dewit@sweco.nl

Gecontroleerd door** Jochem Knol, Marco Peters*
Paraaf gecontroleerd



Goedgekeurd door Hilde Boon
Paraaf goedgekeurd



*tekstuele bijdragen met betrekking tot verweking

**De rapportage versie D1/C3 van 21 mei 2021 is extern gereviewed door Mandy Korff (Deltares) en Bart Schultz (zelfstandige, expert drainage). De bevindingen zijn als addendum bij dit rapport gevoegd.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding	7
1.2	Onderzoeksvragen	7
1.3	Doelstelling	7
1.4	Totstandkoming en begeleiding van het onderzoek.....	8
1.5	Afbakening	8
1.6	Leeswijzer	9
2	Werkwijze onderzoek pilotlocaties	10
2.1	Bureauonderzoek en keuze onderzoekslocaties.....	10
2.2	Locatiebezoek en interview grondeigenaren	11
2.3	Uitvoering hoogtemetingen en grondonderzoeken	11
2.3.1	Hoogtemetingen.....	11
2.3.2	Grondonderzoek	11
2.3.3	Plaatsing peilbuizen	12
2.4	Meting vlakteligging van de drainage	13
2.5	Analyse naar verweking	16
3	Resultaten pilotlocatie Loppersum	17
3.1	Huidige situatie	17
3.2	Hoogteligging.....	19
3.3	Bodemopbouw.....	20
3.3.1	Bodemopbouw tot de boordiepte (0 tot 6 m).....	20
3.3.2	Bodemschematisatie (tot 30 m) en grondparameters	21
3.4	Waterhuishouding	23
3.4.1	Grondwaterstanden	23
3.4.2	Grondwaterstanden per perceel.....	24
3.4.3	Oppervlaktewater	25
3.4.4	Gemiddelde huidige drooglegging	25
3.5	Drainage	25
3.5.1	Algemeen.....	25
3.5.2	Meting van de vlakteligging van de drainagebuizen.....	26
3.6	Verwekingsanalyse	30
3.6.1	Uitgangspunten.....	30
3.6.2	Resultaten verwekingsanalyse.....	30
3.6.3	Gevoelighedsanalyse zakkingsgevoeligheid versus maaiveldversnelling	31
4	Resultaten pilotlocatie Godlinze	33
4.1	Huidige situatie	33
4.2	Hoogteligging.....	35

4.3	Bodemopbouw	36
4.3.1	Bodemopbouw tot de boordiepte (0 tot 6 m)	37
4.3.2	Bodemschematisatie (tot 30 m) en grondparameters	37
4.4	Waterhuishouding	39
4.4.1	Grondwaterstanden	39
4.4.2	Grondwaterstand per perceel	40
4.4.3	Oppervlaktewater	41
4.4.4	Gemiddelde huidige drooglegging	41
4.5	Drainage	41
4.5.1	Algemeen	41
4.5.2	Meting van de vlakteligging van de drainagebuizen	43
4.6	Verwekingsanalyse	45
4.6.1	Uitgangspunten	45
4.6.2	Resultaten verwekingsanalyse	45
4.6.3	Gevoeligheidsanalyse zakkingsgevoeligheid versus maaiveldversnelling	46
5	Analyse (ongelijkmatige) bodemdaling en bodemdalingsprocessen van de pilotlocaties	47
5.1	Inleiding	47
5.2	Onnauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de gegevens	47
5.3	Analyse bodemdaling pilotlocatie Loppersum	51
5.3.1	Hoogteverschil 1960 – 2020 op basis van TopHoogteMD en hoogtemeting	51
5.3.2	Hoogteverschil op basis van beoordeling NAP-peilmerken Rijkswaterstaat	51
5.3.3	Bodemdaling op basis van informatie van de Nederlandse Aardolie Maatschappij	52
5.3.4	Berekende hoogteverschillen tussen 1960 – 2020 per historische hoogte/boorpunt	53
5.3.5	Hoogteverschil en vergelijking bodemprofiel boringen ruilverkaveling	56
5.4	Analyse bodemdaling pilotlocatie Godlinze	57
5.4.1	Hoogteverschil 1960 – 2020 op basis van TopHoogteMD en hoogtemeting	57
5.4.2	Hoogteverschil op basis van beoordeling NAP-peilmerken Rijkswaterstaat	57
5.4.3	Bodemdaling op basis van informatie van de Nederlandse Aardolie Maatschappij	58
5.4.4	Berekende hoogteverschillen tussen 1960 – 2020 per historische hoogte/boorpunt	59
5.5	Beoordeling (toename) van ongelijkmatigheid van de percelen	61
5.5.1	Locatie Loppersum	61
5.5.2	Locatie Godlinze	68
5.6	Analyse mogelijke ondiepe bodemdalingsprocessen	73
5.6.1	Locatie Loppersum	73
5.6.2	Locatie Godlinze	75
6	Conclusie en discussie	78
6.1	Pilotlocatie Loppersum	78

6.1.1	Conclusies	78
6.1.2	Discussie.....	80
6.2	Pilotlocatie Godlinze	82
6.2.1	Conclusies	82
6.2.2	Discussie.....	84
6.3	Representativiteit pilotlocaties gaswinningsgebied Groningen	86
7	Aanbevelingen	87
7.1	Aanbevelingen naar aanleiding van conclusies en overleggen met betrokkenen	87
7.2	Aanbevelingen vanuit de begeleidingsgroep.....	88
7.3	Aanbevelingen vanuit de reviewers.....	89
	Referenties	90

Bijlage 1	Resultaat hoogtemetingen en locaties, boringen en peilbuizen
Bijlage 2	Resultaten grondonderzoeken
Bijlage 3	Historische hoogteligging pilotlocaties
Bijlage 4	Kaart met geïnterpoleerde hoogtemetingen
Bijlage 5	Vergelijking boringen ruilverkaveling en boringen 2020
Bijlage 6	Hoogteverschilkaarten hoogtemeting en AHN2
Bijlage 7	Bodemdalingsprocessen
Bijlage 8	Resultaten verwekingsanalyses
Bijlage 9	Resultaten vlakteligging drainagemetingen Godlinze
Bijlage 10	Beoordeling vlakteligging en risico op luchtinsluiting drainage Godlinze
Bijlage 11	Resultaten vlakteligging drainagemetingen Loppersum
Bijlage 12	Beoordeling vlakteligging en risico op luchtinsluiting drainage Loppersum

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In 2016 heeft Sweco in opdracht van de Commissie Bodemdaling onderzoek uitgevoerd naar ongelijkmatige bodemdaling in landbouwpercelen als gevolg van geïnduceerde aardbevingen door de gaswinning in Groningen [1]. Op twee verschillende pilotlocaties in het gaswinningsgebied is een aantal landbouwpercelen onderzocht. Op basis van de resultaten van deze twee pilotlocaties is geen verband gevonden tussen de verzakkingen in de landbouwpercelen en de geïnduceerde aardbevingen in het gaswinningsgebied van Groningen.

De afgelopen jaren zijn er vanuit het gaswinningsgebied in Groningen nieuwe meldingen van agrariërs gekomen over verzakkingen en (tijdelijke) wateroverlast in landbouwpercelen. Agrariërs in het gebied vermoeden dat dit wordt veroorzaakt worden door de gaswinning en de daarmee gepaarde geïnduceerde aardbevingen in het gaswinningsgebied.

Sweco is door het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en de Agrarische Tafel gevraagd om het eerdere onderzoek met nieuwe onderzoekslocaties in het gaswinningsgebied van Groningen uit te breiden. Het betreft vergelijkbaar onderzoek in de vorm van pilots naar ongelijkmatige bodemdaling en de vlakteligging van drainage en de mogelijke relatie met opgetreden geïnduceerde aardbevingen.

Ten opzichte van de eerdere pilots is in deze nieuwe pilots ook de diepere bodemopbouw onderzocht om meer inzicht te krijgen in het risico op verweking als gevolg van geïnduceerde aardbevingen. Ook is in dit onderzoek op beide onderzoekslocaties de actuele vlakteligging van een aantal drains in de agrarische percelen gemeten en beoordeeld.

1.2 Onderzoeksvragen

De te beantwoorden onderzoeksvragen in de uit te voeren pilots zijn:

- 1) Wat is de omvang van de opgetreden bodemdaling en de bijdrage daarvan door gaswinning (diepe compactie van het gasreservoir en/of verweking door trillingscompactie) en ondiepe bodemdalingsprocessen zoals oxidatie, krimp, rijping en zetting?
- 2) Kunnen er op basis van beschikbare data en uit te voeren hoogtemetingen laagtes in de agrarische percelen worden geïdentificeerd?
- 3) Hebben geïnduceerde aardbevingen mogelijk invloed gehad op de vlakteligging van het maaiveld en/of de drainagebuizen?
- 4) Wat zijn de mogelijke oorzaken van opgetreden ongelijkmatige bodemdaling (laagtes in percelen en/of verzakte drainagebuizen)?

1.3 Doelstelling

Het doel van het onderzoek is om op pragmatische wijze door middel van pilots inzicht te krijgen in:

- De mogelijk opgetreden ongelijkmatige bodemdaling op perceelsniveau (zowel aan maaiveld als op drainniveau).
- De hieraan ten grondslag liggende mogelijke oorzaken.
- En de mogelijke relatie met de gaswinning en geïnduceerde aardbevingen in het gebied.

1.4 Totstandkoming en begeleiding van het onderzoek

De opdrachtgever voor dit onderzoek is het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. De opdracht is in samenspraak met Agrarische Tafel uitgevraagd. Het door Sweco opgestelde onderzoeksvoorstel voor dit onderzoek is op 4 september 2019 toegelicht in een overleg met de Agrarische Tafel en het ministerie van Economische Zaken en Klimaat. Op basis van de reacties van de Agrarische Tafel is het onderzoeksvoorstel aangepast [2].

Op 17 februari 2020 heeft een startoverleg plaatsgevonden met het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en één vertegenwoordiger vanuit de Agrarische Tafel. Naar aanleiding van dit overleg is een brief naar de Agrarische Tafel verstuurd [3] en is op 13 maart 2020 een overleg gevoerd met de agrariërs van de Agrarische Tafel [4].

In samenspraak met de Agrarische Tafel is een begeleidingscommissie voor het onderzoek samengesteld bestaande uit Peter van der Gaag (geoloog), Klaas Kooistra (expert drainage), Albrechtus Toringa (makelaar en akkerbouwer in het gaswinningsgebied) en Sijbrand Doornbosch Clevering (Federatie Particulier Grondbezit). De opzet van het onderzoek is op 7 juli 2020 met deze begeleidingsgroep besproken [5].

De tussentijdse resultaten zijn in oktober 2020 met de begeleidingsgroep, grondeigenaren en de vertegenwoordigers van de Agrarische Tafel gedeeld. Op 29 oktober 2020 zijn deze tussenresultaten met de begeleidingscommissie en een vertegenwoordiger van de Agrarische Tafel besproken [38]. Op 9 november 2020 zijn deze tussenresultaten door Sweco (Jaap de Wit en Jochem Knol) met de grondeigenaren van de onderzoekslocaties besproken.

Op 4 mei 2021 is het conceptrapport met de begeleidingscommissie en een vertegenwoordiger van de Agrarische Tafel besproken.

In overleg met de begeleidingsgroep en het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat zijn twee onafhankelijke externe reviewers geselecteerd voor de review van de rapportage van dit onderzoek. De resultaten van de reviews zijn als addendum aan dit rapport gevoegd.

Op 5 juli 2021 is het eindconcept (versie D1/C3) met de opdrachtgevers, begeleidingsgroep, de deelnemers van het sectoroverleg en de grondeigenaren van de onderzoekslocaties besproken.

1.5 Afbakening

Door de Agrarische Tafel zijn voor dit onderzoek drie pilotlocaties aangedragen. Voor deze drie pilotlocaties is als eerste stap een bureau-onderzoek uitgevoerd. Dit bureau-onderzoek is separaat gerapporteerd [22]. Uitgangspunt voor het bureau-onderzoek is dat gebruik is gemaakt van beschikbare informatie uit openbare bronnen en informatie van de grondeigenaren van de drie onderzoekslocaties.

Op twee van de drie aangedragen locaties is mede op basis van de resultaten van het bureau-onderzoek het onderzoek uitgebreid met veldonderzoek. Dit betreffen locatie Loppersum en locatie Godlinze.

Voorliggend onderzoek richt zich primair op ongelijkmatige bodemdaling en ongelijkmatige verzakking van drainage. Het inzichtelijk maken van andere mogelijke oorzaken voor de opgetreden en mogelijke toename van wateroverlast en/of verzilting van de pilotlocaties valt buiten de scope van dit onderzoek.

1.6 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 leest u de gehanteerde werkwijze terug met onder andere een beschrijving van de uitgevoerde veldwerkzaamheden. De resultaten hiervan zijn voor locatie Loppersum opgenomen in hoofdstuk 3 en voor locatie Godlinze in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 volgt een analyse van de resultaten waarbij vooral wordt ingegaan op de omvang van de (ongelijkmatige) bodemdaling, oorzaken en bodemdalingsprocessen. Tot slot volgen in hoofdstuk 6 de conclusies en discussie en in hoofdstuk 7 de aanbevelingen.

2 Werkwijze onderzoek pilotlocaties

2.1 Bureauonderzoek en keuze onderzoekslocaties

Door de agrarische Tafel zijn drie potentiële onderzoekslocaties in het gaswinningsgebied aangedragen. Deze locaties zijn aangedragen vanwege meldingen van verzakkingen/wateroverlast. Voor deze drie onderzoekslocaties is een bureaustudie uitgevoerd.

Het belangrijkste doel van het bureau-onderzoek is om de 'zuivere' locaties te kunnen selecteren voor het veldonderzoek. Eventuele andere potentiële oorzaken van ongelijkmatige bodemdaling, zoals bijvoorbeeld nazakkingen door slootdempingen/gedempte greppels of veenoxidatie door ontwatering, kunnen met de bureaustudie op voorhand zo veel mogelijk worden uitgesloten.

De resultaten van het bureauonderzoek zijn tussentijds separaat gerapporteerd [22] en met de opdrachtgever, de drie grondeigenaren, begeleidingscommissie en de vertegenwoordigers van de Agrarische Tafel gedeeld. De resultaten van het bureau-onderzoek zijn op 7 juli 2020 besproken met de begeleidingsgroep [5].

Na het overleg van 7 juli 2020 is een definitieve keuze gemaakt voor de locaties voor de uitvoering van het veldonderzoek, namelijk locatie Loppersum en locatie Godlinze. De indicatieve ligging van deze locaties is weergegeven in figuur 2.1.



Fig. 2.1 Indicatieve ligging pilotlocaties Loppersum (L) en Godlinze (G)

2.2 Locatiebezoek en interview grondeigenaren

Op 4 augustus 2020 zijn de grondeigenaren van de twee onderzoekslocaties Loppersum en Godlinze door Sweco bezocht en geïnterviewd. Tijdens het bezoek hebben de grondeigenaren informatie gedeeld over de klachten op de percelen en de specifieke locaties waar problemen zijn met verzakkingen en/of wateroverlast. Ook zijn de percelen waar sprake is van wateroverlast/verzakkingen door Sweco bezocht. Het bezoek vond plaats in de zomerperiode van 2020 tijdens een relatief lange droge periode. Tijdens het veldbezoek is derhalve geen wateroverlast, zoals plasvorming, op de percelen waargenomen. Relevante informatie uit de gesprekken met de grondeigenaren en het veldbezoek zijn per locatie opgenomen in hoofdstuk 3.

2.3 Uitvoering hoogtemetingen en grondonderzoeken

2.3.1 Hoogtemetingen

Om inzicht te krijgen in de huidige hoogte- en vlakteligging van de landbouwpercelen is op de onderzoekslocaties een hoogtemeting uitgevoerd. De hoogtemeting is uitgevoerd door het Veldwerkbureau (augustus 2020).

De maaiveldhoogtes van de percelen van beide locaties zijn ingemeten met RTK-GPS in een grid van circa 20 bij 20 m. Locaties in de percelen waar grondeigenaren wateroverlast ervaren en/of de lagere delen van de percelen zijn intensiever ingemeten, namelijk in een grid van circa 10 bij 10 m. De meetresultaten zijn opgenomen in bijlage 1. De meetnauwkeurigheid in de x en y is ± 1 cm en in de hoogte ± 2 cm.

De GPS-meetstok (zie figuur 2.2) is bij elke meting zo veel mogelijk op een representatief meetpunt geplaatst. Factoren die de meting zouden kunnen beïnvloeden, zoals grondkluiten, rijsporen, en dergelijke, zijn zo veel mogelijk vermeden. Op locatie Loppersum was tijdens de meting op een deel van de percelen gewas aanwezig (graan, suikerbieten).

De maaiveldhoogtes van de boor- en sondeerlocaties en de oppervlaktewaterpeilen zijn eveneens op beide locaties met RTK-GPS ingemeten.

Op locatie Godlinze zijn, waar zichtbaar en mogelijk, de hoogtes van de bovenkant van de drainuitmondingen ingemeten. Op locatie Loppersum waren de taluds te vochtig en steil waardoor het niet praktisch mogelijk bleek de hoogtes van de uitmondingen van de drains in te meten.

2.3.2 Grondonderzoek

Om inzicht te krijgen in de bodemopbouw en grondeigenschappen van beide locaties is bodemkundig/geotechnisch veldonderzoek verricht. De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd door het Veldwerkbureau (augustus-september 2020). De volgende werkzaamheden zijn uitgevoerd:

- Het uitvoeren van elektrische sonderingen tot 30 meter beneden het maaiveld (m -mv) met kleefmeting en waterspanningsmeting (zie figuur 2.2) ter plaatse van met name de locaties met lokale laagtes en/of delen met opgetreden wateroverlast.
- Het uitvoeren van handboringen tot een diepte van 6 m -mv ter plaatse van alle percelen op elk punt waar een hoogte bekend is omstreeks de start van de gaswinning. Hiervoor is hoogte-informatie van het Kadaster (het TopHoogteMD-bestand) als uitgangspunt gebruikt (zie figuur 3.3 en 4.3).
- Het uitvoeren van enkele aanvullende handboringen tot 6,0 m -mv ter plaatse van de locaties met lokale laagtes en/of delen met wateroverlast.

- Het uitvoeren van handboringen tot een diepte van 2 m -mv ter plaatse van locaties waar ook boringen ten tijde van de ruilverkaveling zijn uitgevoerd en beschikbaar zijn (alleen op locatie Loppersum).
- Het opnemen van de grondwaterstanden in de open boorgaten (één opname na uitvoering van de boring en één opname minimaal één dag na de boring).

Van de bij de boringen vrijkomende grond is een beschrijving gemaakt van de specifieke bodemkenmerken, zoals de textuur (lutumgehalte en zandgrofheid), het organische stofgehalte, de consistentie en de doorlatendheid van de te onderscheiden bodemlagen. Tevens is aan de hand van hydromorfe profielkenmerken (roest- en reductieverschijnselen) een schatting gemaakt van de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG).

Van de uitgelegde boorprofielen zijn foto's gemaakt (zie voorbeeld figuur 2.3). De locaties van de boringen, sonderingen en peilbuizen en de getekende boorprofielen en sondeergrafieken zijn opgenomen in bijlage 2.



Fig. 2.2. Uitvoering hoogtemeting met GPS-stok locatie Loppersum (links) en uitvoering sondering locatie Godlinze (rechts)

2.3.3 Plaatsing peilbuizen

Om inzicht te krijgen in de freatische grondwaterstanden en de stijghoogte is op verzoek van de begeleidingsgroep op beide onderzoekslocaties een peilbuislocatie ingericht. Voor het plaatsen van de diepe peilbuis is een machinale boring tot circa 16 m -mv uitgevoerd. Op 9 september 2020 is de diepe peilbuis geplaatst, op 21 september 2020 is de ondiepe peilbuis geplaatst.

De locaties van de peilbuizen zijn mede in overleg met de grondeigenaren bepaald om eventuele hinder tot een minimum te kunnen beperken. De peilbuizen zijn met een stalen beschermkoker afgeschermd (zie figuur 2.4). De locaties van de peilbuizen zijn weergegeven op de situatietekening in bijlage 2.

De grondwaterstanden in de peilbuizen zijn in het kader van dit onderzoek bij plaatsing van de peilbuizen en één dag na plaatsing opgenomen (diepe peilbuis 9 en 10 september 2020, ondiepe peilbuis 21 en 22 september 2020). Aanvullend zijn de grondwaterstand en de stijghoogte op 9 november 2020 (beide locaties), 6 januari 2021 (locatie Godlinze) en 31 maart 2021 (locatie Loppersum) opgenomen.



Fig. 2.3. Handmatige boring locatie Godlinze met rechts een foto van een uitgelegd boorprofiel



Fig. 2.4. Peilbuizen met beschermkoker locatie Godlinze (inzet foto is het bovenaanzicht)

2.4 Meting vlakteligging van de drainage

Om inzicht te krijgen in mogelijke verzakkingen van de drainagebuizen zijn door het bedrijf Inventec met behulp van het LMPH-systeem (zie einde van bijlage 9 en 11 voor een toelichting van dit meetsysteem) op beide locaties voor een aantal drainagebuizen metingen van de vlakteligging uitgevoerd. Uitgangspunt in het onderzoek is om maximaal twee dagen per locatie te meten.

De meetslang met sensor van het meetsysteem is bij elke meting met een trekker en drainreiniger (ingezet via Kolkena Grond en straatwerk B.V.) in de drainagebuizen gebracht (zie fig. 2.5). De diameter van de gebruikte meetsonde is 2,5 cm. De diameter van de spuitkop van de drainreiniger is 2,7 cm met daarachter een verloop met een diameter van 3,5 cm.

De lengte van de meetslang van Inventec is circa 400 m. De lengte van de slang van de drainreiniger is circa 300 m. De exacte drainlengte die met de beschikbare apparatuur kan worden gemeten wordt bepaald door in hoeverre de meetslang in de drainagebuis kan worden gebracht. Als de drainreiniger met sensor en meetslang niet meer verder kunnen, wordt de meetslang met sensor losgekoppeld, de drainreiniger terug gehaald en de meting gestart.

Op 6 en 7 januari 2021 zijn de drains op locatie Godlinze gemeten. Hier kon bij perceel 1 vanaf de openbare weg worden gemeten (zie figuur 2.5 en 2.6). Op locatie Loppersum zijn de geplande metingen in januari 2021 uitgesteld omdat de terreinomstandigheden in januari 2021 te nat waren. Deze locatie was op dat moment akkerbouwgrond zonder gewas, waardoor vanwege de bodemopbouw en natte bovengrond grote kans op insporing (en het vastrijden van de meetauto) en structureerschade aanwezig was. De metingen in Loppersum zijn uitgevoerd op 31 maart en 1 april 2021 (zie figuur 2.7).

Door Geo Actief zijn bij elke gemeten drain piketten geplaatst voor het bepalen van de referentiehoogtes ten opzichte van NAP (met RTK-GPS). Tevens zijn van de ingemeten drains de hoogtes van de eindbuizen opgenomen (bovenkant buis).

Bij de uitvoering van de metingen is bij elk gemeten drain de temperatuur van de bodem op ongeveer het niveau van drain gemeten. Hiertoe zijn nabij drie drains boringen tot circa 2 m uitgevoerd. In het boorgat is de temperatuurmeter aangebracht.

De resultaten van de drainagemetingen en metingen van de bodemtemperatuur zijn opgenomen in bijlage 9.



Fig. 2.5 LPMH-meetsysteem Inventec op locatie Godlinze



Fig. 2.6. Meting vlakteligging drainage en drainreiniger die de meetslang en sensor inbrengt (locatie Godlinze)



Fig. 2.7. Meting vlakteligging drainage en drainreiniger die de meetslang en sensor inbrengt (locatie Loppersum)

Aan de hand van de meetresultaten van Inventec is beoordeeld of er opvallende verzakkingen in de drains zichtbaar zijn, of dat door een afwijkende vlakteligging de drains mogelijk minder zouden kunnen functioneren. De hiervoor gehanteerde eis voor de drainage is dat de afwijking van de binnenkant van de onderkant buis ten opzichte van het voorgeschreven niveau niet meer dan de helft van de inwendige diameter van de drain mag bedragen.

Indien dit het geval zou zijn, betekent dat er onacceptabele hoogteverschillen in de drainage aanwezig zouden kunnen zijn, met het risico op luchtinsluitingen en minder goed functioneren van de drain als gevolg (zie fig. 2.8).

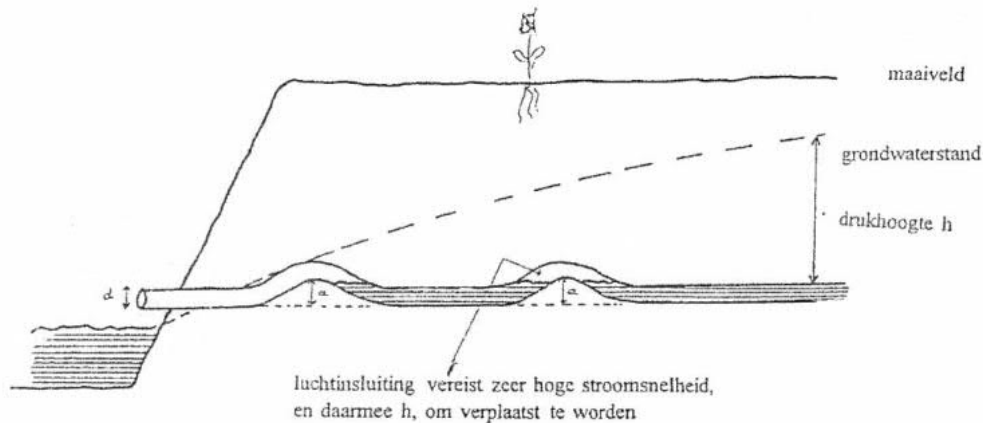


Fig. 2.8. Risico voor luchtinsluitingen is groot indien afwijking in diepte (a) groter is dan buisdiameter (d) [40]. NOOT: de figuur suggereert met 'a' een hele diameter van de drainbuis. In de berekeningen/analyse is uitgegaan van een halve diameter van de drainbuis.

2.5 Analyse naar verweking

Een potentieel effect van geïnduceerde aardbevingen is verweking en verdichting van verwekingsgevoelige grondlagen door trillingscompactie met mogelijk (ongelijkmatige) verzakking als gevolg.

De gevoeligheid van de twee pilotlocaties voor verweking is onderzocht door onderzoek en beoordeling van de diepere bodemopbouw. Op beide locaties zijn daarom sonderingen tot circa 30 meter minus maaiveld met kleefmeting en waterspanningsmeting uitgevoerd.

Voor elk van de uitgevoerde sonderingen is op basis van de methode Green [37] conform NPR 9998:2018 [36] de veiligheid tegen verweking bepaald. In overleg met de Nationaal Coördinator Groningen (NCG) is de NPR 9998:2018 als geldende richtlijn hiervoor vastgesteld, welke doorgaans van toepassing is op de beoordeling van onder andere de constructieve en geotechnische veiligheid van gebouwen, nieuwbouw en grondslagen in relatie tot geïnduceerde aardbevingen.

Op basis van de zwaarste gemeten aardbevingen op beide locaties is vervolgens vastgesteld welke mate van zakkings kunnen optreden als gevolg van verdichting nadat verweking in de aanwezige verzadigde zandige lagen is opgetreden.

Voor de verwekingsanalyses is uitgegaan van de rekenmethode Green [37] en van het zakkingsmodel van Yoshimine [35] welke staan beschreven in bijlagen D en E van de NPR 9998:2018 [36]. Een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd om te komen tot de meest maatgevende bodemindeling wat betreft verwekingsgevoeligheid.

3 Resultaten pilotlocatie Loppersum

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het veldonderzoek, de drainagemetingen en de verwekingsanalyse voor pilotlocatie Loppersum beschreven.

3.1 Huidige situatie

Pilotlocatie Loppersum betreft een bloembollen- en akkerbouwbedrijf in de omgeving van Loppersum. In figuur 3.1 is met de zwarte contour het onderzoeksgebied weergegeven. Voor de uitwerking van de resultaten is de locatie in drie delen (percelen) onderverdeeld op basis van verschillen in de ligging en leeftijd van de drainage (zie figuur 3.4) en mate van wateroverlast. Ter plaatse van perceel 1 en 2 zijn door de grondeigenaar regelmatig problemen ervaren met wateroverlast in de tulpenteelt (zie ook figuur 3.2). Op perceel 3 zijn de problemen mogelijk ook aanwezig, maar zijn deze voor de grondeigenaar minder merkbaar vanwege de teelt van akkerbouwgewassen op dit perceel.



Fig. 3.1. Locatie Loppersum – op de percelen 1 en 2 zijn verspreid problemen met ' wateroverlast.

De frequente wateroverlast is volgens de grondeigenaar sinds ongeveer 2012 begonnen (met grote financiële consequenties voor de teler vanwege de kapitaalintensieve tulpenteeft). Momenteel worden op deze locatie daarom alleen nog akkerbouwgewassen verbouwd.

Er is frequente waterschade in de tulpenteeft geweest omdat het water volgens de eigenaar niet tijdig weg kan. Dit was onder andere het geval in de periode november 2012 - juli 2013. De schade werd merkbaar in februari/maart 2013 toen de bollen deels niet opkwamen. Ook in juni 2016 is door een bui van circa 60 millimeter schade ontstaan en in 2018 was er natschade.

Mogelijke oorzaken van de wateroverlast op de percelen volgens grondeigenaar zijn:

- verzakkingen;
- schade aan drainage;
- verweking/verdichting van de grond.

Alle percelen op deze locatie zijn volgens de grondeigenaar in 1996 gedraineerd. Het meest zuidelijke perceel (perceel 3) is in 2014 (week 14) tussengedraineerd.

Het peilbeheer van de sloten is volgens de eigenaar op orde. De hoeveelheid neerslag wordt niet gemeten en/of bijgehouden.

De grondeigenaar heeft op kaart de locaties met wateroverlast aangegeven. Deze komen overeen met de kleurverschillen in het perceel die waarneembaar zijn op een luchtfoto van Google Maps (zie figuur 3.2). Deze locaties zijn indicatief weergegeven in figuur 3.2.



Fig. 3.2. Locatie Loppersum met indicatie ligging locaties wateroverlast in percelen volgens de grondeigenaar (gestreepte ovalen) (bron foto: Google Maps, opnamejaar onbekend, volgens opgave van de grondeigenaar is het opnamejaar 2018)

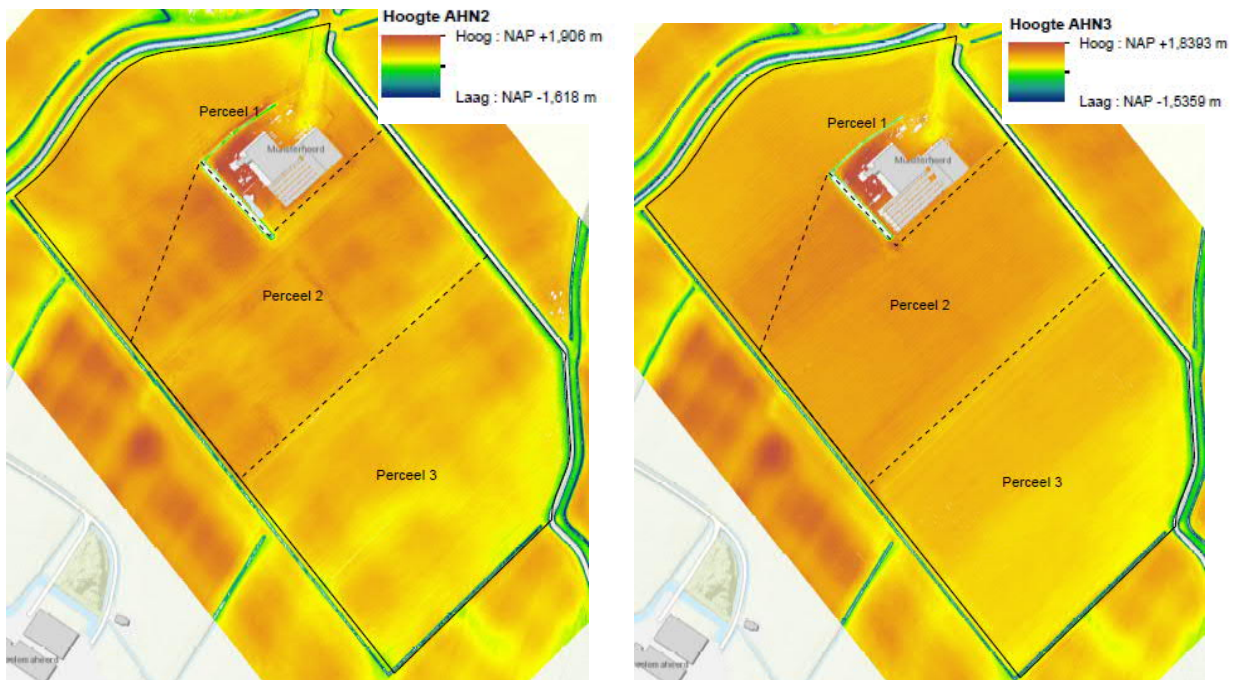


Fig. 3.4 Hoogteligging 2009-uitsnede AHN2 (links) en hoogteligging 2019-uitsnede AHN3 (rechts) [6]

Actuele hoogteligging (augustus 2020)

De resultaten van de hoogtemetingen met RTK-GPS (augustus 2020) zijn opgenomen op de tekening in bijlage 1. De gemeten hoogtes van deze locatie variëren van NAP -0,38 m tot NAP +0,75 m. De gemiddelde berekende hoogte op basis van alle meetpunten bedraagt NAP +0,35 m.

De hoogtemetingen zijn geïnterpoleerd om een vlakdekkend beeld te krijgen en de hoogtemeting met de oude hoogtedata (AHN2) te kunnen vergelijken. Voor de interpolatie is de natural neighbor interpolatietechniek gebruikt. Deze geïnterpoleerde kaart is weergegeven in bijlage 4 (en in figuur 5.10).

3.3 Bodemopbouw

De resultaten van de uitgevoerde sonderingen en boringen zijn opgenomen in bijlage 2. De boringen zijn zowel conform NEN5104 als met Stiboka-legenda weergegeven. Hieronder volgt een korte algemene beschrijving van de resultaten en een nadere beschrijving per perceel. Bij dit laatste wordt tevens ingegaan op bodemkundige verschillen tussen de locaties met wateroverlast/laagtes en de overige delen van de percelen.

3.3.1 Bodemopbouw tot de boordiepte (0 tot 6 m)

Algemeen

Op basis van de resultaten van de boringen blijkt dat tot circa 6 meter minus maaiveld overwegend kleiige grond (overwegend lichte zavel tot lichte klei) is aangetroffen, waarbij de lagen klei/zavel overwegend zandig gelaagd zijn. Lokaal zijn zandtussenlagen aangetroffen, veelal zijn deze zandlagen sterk kleiig gelaagd. Bij boring LB19 is een veenlaag aangetroffen op een diepte van circa 1,6 meter minus maaiveld met een dikte van 0,5 meter.

Perceel 1 (boring LB01, LB02, LB04, LB18, LB20, LB25)

Het aangetroffen bodemprofiel bestaat uit een afwisselend pakket van lichte klei en matig lichte tot zware zavel met tussenlagen van (kleiig) zand. Het bodemprofiel bestaat tot een diepte van 0,8 à 1,7 m uit lichte klei/zavel. Bij boring LB04 en LB18 is het profiel zandiger. Het profiel bij boring LB01, LB18 en LB20 is in vergelijking met de andere boringen tot circa 1,3 à 1,4 m diepte iets zwaarder (alleen lichte klei). Behalve het iets zwaardere profiel tot circa 1,4 m diepte bij boring LB20, verschilt de bodemopbouw ter plaatse van locaties met wateroverlast (LB02 en LB20) beperkt ten opzichte van de overige boorlocaties.

Perceel 2 (boring LB03, LB05 t/m LB09, LB21 t/m LB24, LB26 t/m LB28)

Het aangetroffen bodemprofiel bestaat overwegend uit een pakket van zeer lichte tot zware zavel. Lokaal zijn zwaardere kleilagen (lichte klei) aangetroffen. In vergelijking met perceel 1 is het profiel minder zandig. Alleen bij boring LB3, LB8, LB21, LB23 en LB26 zijn overwegend dunne (kleiige) zandlagen aangetroffen.

Het profiel ter plaatse van de boringen van de locaties met wateroverlast (boring LB1, LB7, LB21 t/m LB24) verschilt beperkt in vergelijking met de andere boringen. Alleen bij LB21 is het profiel vanaf maaiveld tot 0,3 meter minus maaiveld iets zwaarder (lichte klei).

Perceel 3 (boring LB10 t/m LB17, LB29 en LB30)

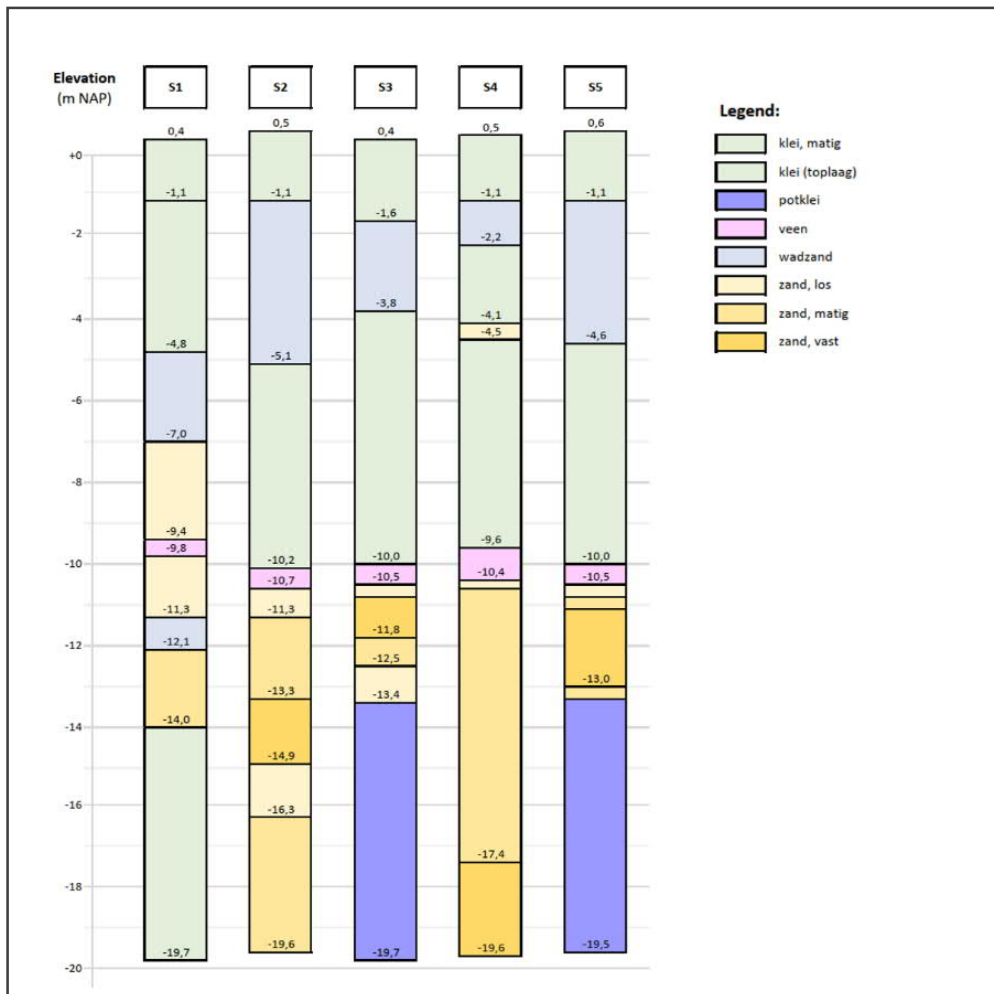
Het aangetroffen bodemprofiel bestaat overwegend uit een pakket van matig zware tot zware zavel. Lokaal zijn in het profiel zwaardere grondlagen (lichte klei) aangetroffen. In vergelijking met perceel 1 en 2 is het profiel minder zandig. Alleen bij boring LB11 is vanaf 3 tot 6 meter minus maaiveld kleiig zand aangetroffen. Ook op dit perceel is het bodemprofiel bovenin lokaal zwaarder (lichte klei).

3.3.2 Bodemschematisatie (tot 30 m) en grondparameters

Over het algemeen is de bodem opgebouwd uit een kleiige toplaag met daaronder wadzand, een getijde afzetting bestaande uit alternerend dunne zand- en kleilaagjes. Lokaal komen er ook losgepakte zandlagen vlak onder de kleiige toplaag voor. Met name deze ondiepe, los gepakte zand- en wadzandlagen kunnen verwekingsgevoelig zijn.

Afhankelijk van de sondeerlocatie wordt onder het ondiepe wadzandpakket een laag losgepakt zand of klei aangetroffen met daaronder een veenlaag (Basisveen), die direct bovenop het pleistocene zandpakket ligt. Bij enkele sonderingen is het pleistocene zandpakket minder dik en gaat deze al snel over in potklei.

De bodemschematisatie ten behoeve van de verwekingsanalyse is opgenomen in figuur 3.5. De grondparameters welke als invoer dienen voor de geotechnische verwekingsanalyse zijn vastgesteld op basis van het uitgevoerde grondonderzoek, paragraaf 3.1.2 van NPR 9998:2018 en tabel 2.b van NEN 9997-1 [34] en zijn weergegeven in tabel 3.1.



Figuur 3.5 Bodemschematisatie op basis van sonderingen onderzoekslocatie Loppersum

Tabel 3.1 Overzicht grondparameters geotechnische verwekingsanalyse Loppersum

Grondsoort	γ_d [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	ϕ' [^o]	c' [kPa]	V_s [m/s]	G_{dyn} [MPa]
Klei (toplaag)	14	14	22,5	0	150	40
Klei, matig	15	15	22,5	0	150	40
Veen	12	12	17,5	3	100	10
Wadzand	18	18	27,5	0	200	75
Zand, los	17	19	30	0	200	75
Zand, matig	18	20	32,5	0	250	125
Zand, vast	19	21	35	0	280	170
Potklei	18	18	20	10	200	75

waarbij geldt:

- γ_d volumegewicht bij natuurlijk watergehalte
- γ_{sat} verzadigd volumegewicht
- ϕ' karakteristieke waarde effectieve hoek van inwendige wrijving
- c' karakteristieke waarde effectieve cohesie
- V_s schuifgolvoortplantingssnelheid
- G_{dyn} dynamische glijdingsmodulus

3.4 Waterhuishouding

3.4.1 Grondwaterstanden

De in de open boorgaten gemeten grondwaterstanden van locatie Loppersum zijn opgenomen in tabel 3.2. Uit de metingen blijkt dat de gemeten grondwaterstanden sterk variëren. De metingen lopen uiteen van 1,5 tot 2,8 meter minus maaiveld (uitgaande van de metingen één dag na de boring).

De gemeten grondwaterstanden zijn relatief laag wat kan worden verklaard door de relatief langdurige droogte in de zomer van 2020.

Bij de meeste boringen is één dag na de boring een hogere grondwaterstand in hetzelfde boorgat gemeten. Dit kan worden verklaard door de zijdelingse instroom van het grondwater in het boorgat. Deze meting van de actuele grondwaterstand is derhalve het meest betrouwbaar.

Bij vier boringen (LB02 t/m LB04 en LB21) is één dag na de boring een lagere grondwaterstand in hetzelfde boorgat gemeten. Mogelijke verklaringen zijn dat de eerste meting is beïnvloed door hemelwater (tijdens veldwerkzaamheden vonden diverse regenbuien plaats) of dat de boring relatief dicht bij een drain is uitgevoerd waardoor grondwater gemakkelijker is afgevoerd en dit de tweede meting heeft beïnvloed.

Tabel 3.2 Grondwaterstanden open boorgaten locatie Loppersum

Boring	Perceel	Locatie	Maaiveldhoogte (m NAP)	GWS (m - mv)	GWS [m NAP]	GWS1dag (m - mv)	GWS 1 dag [m NAP]
LB01	1	TopH	0,30	2,30	-2,00	2,29	-1,99
LB02	1	TopH/laagte	0,31	1,82	-1,51	2,80	-2,49
LB03	2	TopH	0,52	2,00	-1,49	2,20	-1,69
LB04	1	TopH	0,49	2,30	-1,81	2,65	-2,16
LB05	2	TopH	0,47	2,55	-2,08	2,55	-2,08
LB06	2	TopH	0,40	2,40	-2,00	2,05	-1,65
LB07	2	TopH/laagte	0,41	2,30	-1,89	2,50	-2,09
LB08	2	TopH	0,45	3,00	-2,55	2,60	-2,15
LB09	2	TopH	0,44	3,55	-3,11	2,35	-1,91
LB10	3	TopH	0,36	3,00	-2,64	1,80	-1,44
LB11	3	TopH	0,30	3,15	-2,85	1,70	-1,40
LB12	3	TopH	0,25	3,15	-2,90	1,50	-1,25
LB13	3	TopH	0,24	3,60	-3,36	2,25	-2,01
LB14	3	TopH	0,08	3,20	-3,12	2,30	-2,22
LB15	3	TopH	0,14	3,20	-3,06	1,55	-1,41
LB16	3	TopH	0,05	3,15	-3,11	2,15	-2,11
LB17	3	TopH	0,13	3,20	-3,07	2,00	-1,87
LB18	1	TopH	0,28	2,30	-2,02	1,88	-1,60
LB19	2	TopH	0,48	2,25	-1,77	2,25	-1,77
LB20	1	Laagte	0,30	2,25	-1,95	2,15	-1,85
LB21	2	Laagte	0,55	2,45	-1,90	2,80	-2,25
LB22	2	Laagte	0,47	2,80	-2,33	2,70	-2,23
LB23	2	Laagte	0,47	3,10	-2,63	2,45	-1,98
LB24	2	Laagte	0,47	3,90	-3,44		
Gem.			0,35	2,79	-2,44	2,24	-1,90
min			0,05	1,82	-3,44	1,50	-2,49
max			0,55	3,90	-1,49	2,80	-1,25

GWS: gemeten grondwaterstand na uitvoering boring

GWS1dag: gemeten grondwaterstand minimaal één dag na uitvoering boring

TopH: locatie boring TopHoogteMD (hoogtemeting rond start van de gaswinning)

Laagte: locatie boring in laagte en/of locatie wateroverlast

De geschatte gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) zijn opgenomen in tabel 3.3. De geschatte GHG varieert van 0,3 tot 1,3 m. De geschatte GLG varieert tussen 1,8 en 2,3 m -mv.

Tabel 3.3 Geschatte GHG en GLG locatie Loppersum

Boring	Perceel	Locatie	Maaiveldhoogte (m NAP)	GHG (m - mv)	GHG [m NAP]	GLG (m -mv)	GLG (m NAP)
LB01	1	TopH	0,30	1,20	-0,90	2,10	-1,80
LB02	1	TopH/laagte	0,31	1,30	-0,99	2,15	-1,84
LB03	2	TopH	0,52	0,60	-0,09	2,10	-1,59
LB04	1	TopH	0,49	0,60	-0,11	2,10	-1,61
LB05	2	TopH	0,47	0,60	-0,13	2,10	-1,63
LB06	2	TopH	0,40	0,70	-0,30	2,10	-1,70
LB07	2	TopH/laagte	0,41	0,50	-0,09	1,80	-1,39
LB08	2	TopH	0,45	0,40	0,05	2,20	-1,75
LB09	2	TopH	0,44	0,60	-0,16	1,80	-1,36
LB10	3	TopH	0,36	0,40	-0,04	2,00	-1,64
LB11	3	TopH	0,30	0,55	-0,25	2,10	-1,80
LB12	3	TopH	0,25	0,40	-0,15	2,10	-1,85
LB13	3	TopH	0,24	0,50	-0,26	2,10	-1,86
LB14	3	TopH	0,08	0,40	-0,32	-	-
LB15	3	TopH	0,14	0,30	-0,16	2,10	-1,96
LB16	3	TopH	0,05	0,80	-0,76	2,00	-1,96
LB17	3	TopH	0,13	0,50	-0,37	2,10	-1,97
LB18	1	TopH	0,28	1,00	-0,72	2,00	-1,72
LB19	2	TopH	0,48	1,20	-0,72	-	-
LB20	1	TopH	0,30	1,20	-0,90	2,00	-1,70
LB21	2	Laagte	0,55	0,70	-0,15	-	-
LB22	2	Laagte	0,47	0,30	0,17	1,90	-1,43
LB23	2	Laagte	0,47	0,30	0,17	2,30	-1,83
LB24	2	Laagte	0,47	0,30	0,17	2,10	-1,64
Gem.			0,35	0,64	-0,29	2,06	-1,72
<i>min</i>			0,05	0,30	-0,99	1,80	-1,97
<i>max</i>			0,55	1,30	0,17	2,30	-1,36

GHG: Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand

GLG: Gemiddeld Laagste Grondwaterstand

TopH: locatie boring TopHoogteMD (hoogtemeting rond start van de gaswinning)

Laagte: locatie boring in laagte en/of locatie wateroverlast

De in de peilbuizen opgenomen grondwaterstanden zijn opgenomen in tabel 3.4. Uit de opnames kan worden opgemaakt dat de gemeten freatische grondwaterstand en stijghoogte vergelijkbaar zijn. Hieruit kan worden afgeleid dat er op deze locatie geen sprake is van kwel of wegzijging in de pleistocene zandlaag.

Tabel 3.4 Resultaten opname grondwaterstand en stijghoogte in m NAP peilbuis Loppersum

Filterdiepte [m]	Bovenkant peilbuis [m NAP]	Stijghoogte [m NAP]				Grondwaterstand [m NAP]			
		9-9-2020	10-9-2020	9-11-2020	31-3-2021	19-9-2020	20-9-2020	9-11-2020	31-3-2021
1,60 – 2,60	0,857	-	-			-1,56	-1,60	-1,35	-0,98
13 – 14	0,757	-1,56	-1,61	-1,26	-0,95	-	-		

3.4.2 Grondwaterstanden per perceel

Perceel 1 (boring LB01, LB02, LB04, LB18, LB20)

De gemeten grondwaterstand varieert van circa 1,9 tot 2,8 meter minus maaiveld (NAP -1,6 tot -2,5 m). De GHG varieert van 0,6 tot 1,3 m -mv (NAP -0,11 tot -0,99 m).

Perceel 2 (boring LB03, LB05 t/m LB09, LB21 t/m LB24)

De gemeten grondwaterstand varieert van circa 2,05 tot 2,8 meter minus maaiveld (NAP -1,65 tot NAP -2,25 m). De GHG varieert van 0,3 tot 1,2 m -mv (NAP +0,17 tot -0,72 m).

Bij de boringen op enkele locaties met wateroverlast (boring 22 t/m 24) is een GHG van 0,30 m (NAP +0,17 m) geschat. Op basis van deze schattingen kunnen hier tijdelijk hogere grondwaterstanden voorkomen.

Perceel 3 (boring LB10 t/m LB17)

De gemeten grondwaterstand varieert van circa 1,5 tot 2,3 meter minus maaiveld (NAP – 1,3 tot -2,2 m). De GHG varieert van 0,3 tot 0,8 m -maaiveld (NAP -0,04 tot -0,76 m).

3.4.3 Oppervlaktewater

Het huidige streefpeil van de omringende watergangen van deze locatie is als volgt [18]:

- zomerpeil NAP -1,40 m;
- winterpeil NAP -1,55 m.

Het gemiddeld gemeten oppervlaktewaterpeil (augustus 2020) in de watergangen rondom de onderzoekslocatie bedraagt NAP -1,37 m. Dit is vergelijkbaar met het gehanteerde zomerpeil.

Langs de bedrijfsgebouwen is een sloot aanwezig dat dient als waterbassin. Hier is een waterstand (augustus 2020) gemeten op NAP -0,76 m.

In 1970 was op deze locatie zowel het zomerpeil als winterpeil NAP -1,20 m [18]. Dit betekent dat na 1970 een peilverlaging van 0,20/0,25 m is doorgevoerd. Deze peilverlaging is doorgevoerd ter compensatie van de bodemdaling als gevolg van de gaswinning.

3.4.4 Gemiddelde huidige drooglegging

De huidige gemiddelde drooglegging (het hoogteverschil tussen het waterpeil en het huidige maaiveldniveau) op basis van het gemiddelde gemeten waterpeil van NAP -1,37 m en het gemiddelde berekende maaiveldniveau van de hele onderzoekslocatie (NAP +0,35 m) bedraagt circa 1,7 m.

3.5 Drainage

3.5.1 Algemeen

In 1996 is de gehele onderzoekslocatie gedraineerd met een hart op hart afstand van 8 m. De drainagediepte is niet bekend, maar zal volgens de grondeigenaar ongeveer 1,2 m zijn. Een ruwe schets van de actuele drainage, zoals is aangeleverd door de grondeigenaar, is opgenomen in figuur 3.4.

Een deel van deze locatie (perceel 2) is niet haaks op de sloot gedraineerd (ten zuidwesten van de bedrijfsgebouwen). Dit komt door de ligging van een elektriciteitskabel in het perceel.

De PVC-buisdrainage is door het bedrijf Hamminga sleufloos aangelegd. Vermoedelijk is standaardlandbouwdrainage met kokosomhulling gebruikt. Voor 1996 is de locatie mogelijk ook gedraineerd (met PVC). Wanneer en waar deze drainage is aangelegd, is niet bekend.

Perceel 3 van deze locatie (zie rode kader in figuur 3.6) is in 2014 opnieuw gedraineerd tussen de bestaande drains in (h.o.h. 8 m omhulling is PP/PE mix). De huidige drainafstand is op dit perceel dus 4 m. Deze drains wateren in tegengestelde richting af.

De drains mondden ten tijde van het veldbezoek (augustus 2020) ruim boven het waterpeil uit. Volgens de grondeigenaar staan de drains nooit onder water.

Er is geen nulmeting van de vlakteligging van de drainagebuizen beschikbaar. Aangenomen wordt dat de drainage vlak, of onder enige afschot, naar de watergangen is aangelegd. De drainage is volgens de grondeigenaar onder droge omstandigheden aangelegd.

Volgens de eigenaar zijn een aantal drains gespoeld in de periode tussen 2014 en 2016. De drainage is niet met hoge druk doorgespoten.

De sloten rondom de locatie zijn volgens de grondeigenaar rond 2016 gebaggerd.

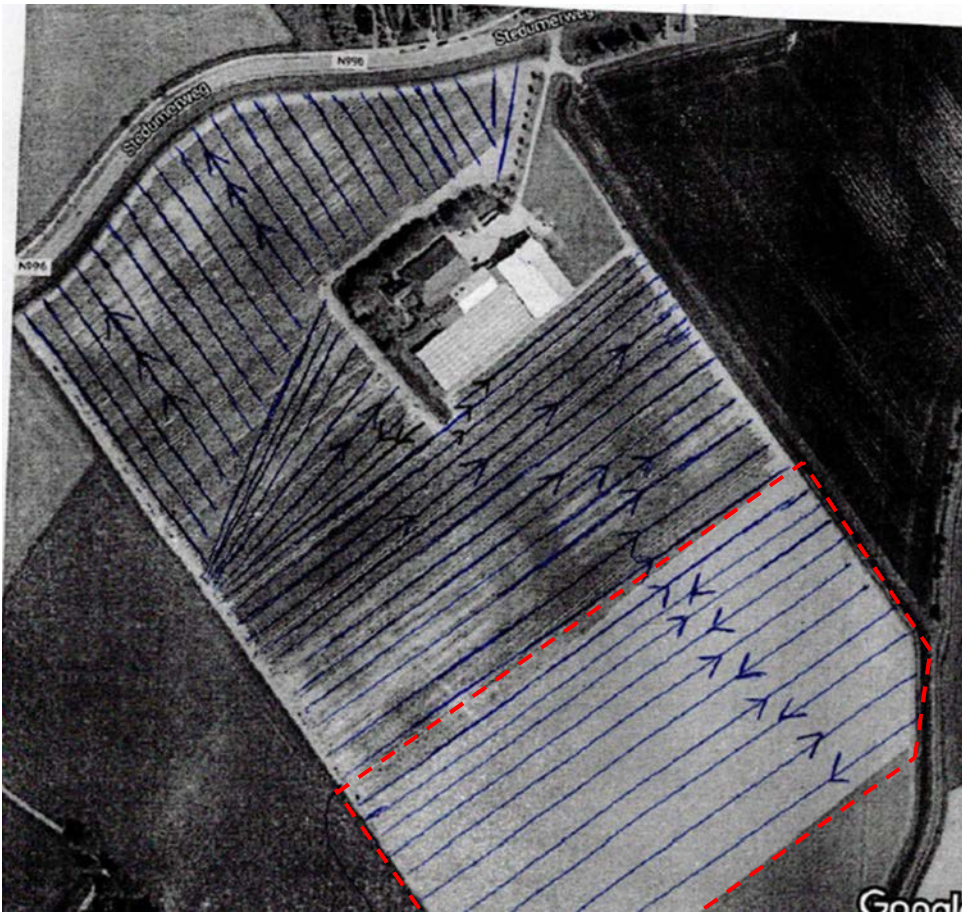


Fig. 3.6 Schets ligging drainage locatie Loppersum – drainage is aangelegd in 1996. Het rode omkaderde perceel is in 2014 tussen-gedraineerd.

3.5.2 Meting van de vlakteligging van de drainagebuizen

Op basis van de resultaten van de hoogtemetingen, een vergelijking van de hoogtemetingen met het AHN2, de ligging van de drainage en oude slootdempingen/gedempte greppels zijn op pilotlocatie Loppersum vooraf negen verschillende drains geselecteerd (nummer 1 t/m 9 in figuur 3.9) voor het meten van de vlakteligging. Het betreft drains die in 1996 zijn aangelegd. Ten tijde van de uitvoering zijn na overleg met de grondeigenaar twee drains uit 2014 meegenomen (perceel 3). De ligging, en behaalde lengte van, de gemeten drains zijn weergegeven in figuur 3.9.

In twee werkdagen is de vlakteligging van in totaal negen verschillende drains ingemeten. Vier drains ter plaatse van perceel 1, twee drains ter plaatse van perceel 2 en drie drains ter plaatse van perceel 3. Bij de uitvoering van de meting van drain 5 is de meetslang geknakt, waardoor geen betrouwbare meting van deze drain is verkregen.

Tijdens de metingen op deze locatie is bij de drains zeer veel slib in de drains aangetroffen. Bij de drains uit 1996 kon de drainreiniger niet volledig intreden door stuit als gevolg van slib/kleiresten. Dit was duidelijk waarneembaar aan de spuitkop en meetsensor waar kleiresten op zijn waargenomen (zie figuur 3.7). Ook tijdens en na het reinigen liep er slib uit de drainbuizen (figuur 3.8). Bij de meeste drains is de drain twee keer met de drainreiniger gespoeld om de meetlengte zo veel mogelijk te kunnen vergroten. Echter is het alleen bij drain 9 en bij de nieuwere drains (ex1 en ex 2) met de drainreiniger gelukt om de spuitkop tot het einde van de drain te kunnen inbrengen.



Fig. 3.7 Klei- slibresten op de slang van de drainreiniger



Fig. 3.8 Klei- slibresten uit drain na spoelen

Perceel 1

De lengte van de drains in dit deel variëren van circa 80 tot 185 m.

De gemeten drainlengte varieert van circa 60 tot 184 m. Van drie drains (6, 7 en 8) is ongeveer de helft gemeten. Drain 9 is als enige drain over de volledige lengte gemeten.

Perceel 2

De lengte van de drains op dit perceel is circa 300 m. De gemeten drainlengte varieert van circa 70 tot 112 m. De vlakteligging van de drains op dit perceel is derhalve voor een beperkt deel gemeten (circa 1/4 à 1/3 deel).

Perceel 3

De lengte van de drains in dit deel variëren van circa 200 tot 300 m. De gemeten drainlengte van de drain uit 1996 is 82 m. De gemeten lengte van de drains uit 2014 varieert van 123 tot 153 m. De vlakteligging van de drains op dit perceel is derhalve voor een beperkt deel gemeten (circa 1/3 à 1/2 deel).

De meetresultaten van de vlakteligging van de drains voor locatie Loppersum zijn opgenomen in bijlage 11. In paragraaf 5.5.1 wordt nader ingegaan op de beoordeling van de resultaten.



Fig. 3.9. Situatie ligging gemeten drainagebuizen (met gemeten lengte) locatie Loppersum.

Representativiteit

Indien meer dan 5% van de drainlengte is onderzocht kan dit als representatief voor de overige drains (niet gemeten) worden beschouwd [43]. Op basis van de door de grondeigenaar aangeleverde informatie is de totale drainlengte niet voldoende af te leiden. De drainlengte is daarom berekend door uit te gaan van een drainafstand van 8 m en de drainlengte zoals opgenomen in figuur 3.10. Op perceel 3 is uitgegaan van een drainafstand van 4 m.



Fig. 3.10 Ligging drains uitgaande van een h.o.h. afstand van 8 m (op perceel 3 liggen drains uit 2014 en 1996, de drainafstand is op dit perceel 4 m)

Tabel 3.5 Aandeel gemeten drainlengte ten opzichte van totaal

Perceel	Jaar aanleg	Drainlengte [m]	Gemeten drainlengte [m]	% gemeten t.o.v. totaal
1	1996	4.650	398,1	8,6%
2	1996	8.750	183,9	2,1%
3	1996*	9.268	81,9	0,9%
3	2014*	9.268	152,9	1,6%
Totaal		31.936	816,8	2,6%

*Drains liggen h.o.h. op 4 m

Uit tabel 3.5 volgt dat ter plaatse van perceel 1 de meetlengte voldoende representatief is (>5%). Op perceel 2 en 3 is de gemeten lengte onvoldoende representatief. Op perceel 2 dient nog minimaal 254 meter extra drainlengte te worden gemeten en op perceel 3 minimaal 382 m extra van de drains uit 1996 en minimaal 311 m extra van de drains uit 2012. Hierbij dienen de drains minimaal over de helft van de totale lengte te worden ingemeten en bij voorkeur over de volledige lengte.

3.6 Verwekingsanalyse

3.6.1 Uitgangspunten

De uitgangspunten voor de verwekingsanalyse voor locatie Loppersum zijn als volgt.

Seismische uitgangspunten

De maximaal opgetreden PGA-waarden (Peak Ground Acceleration of piekgrondversnelling) zijn bepaald uit de KNMI-metingen [39] en deze zijn vergeleken met de locatiespecifieke PGA-waarden uit de NPR-webtool. In overleg met NCG (Nationaal Coördinator Groningen) zijn hiertoe de waarden vergeleken met de rekenwaarden uit de webtool, bepaald uitgaande van een terugkeertijd van 95 jaar overeenkomstig de grenstoestanden SD (serious damage) en DL (damage limitation) voor niet-seismische elementen (zie ook NPR 9998:2018 [36] paragraaf 2.2.3 op basis van het laatste hazardmodel GMMv6).

Voor onderzoekslocatie Loppersum volgt:

- Zeerijp event 8-1-2018: $a_{g,max} = 0,067$ g (max. gemeten vanaf 5-11-2014);
- Huizinge event 16-8-2012: $a_{g,max} = 0,051$ g (destijds nabijste meetlocatie WSE = Meetlocatie Westeremden op circa 2,5 km afstand van onderzoekslocatie).

Ter vergelijking zou met de webtool met scenario V6T4 volgen: $a_g S = 0,066$ g. Voor onderzoekslocatie Loppersum is de maatgevende PGA-waarde 0,067 g. Op basis van deze PGA-waarde is de verwekingsgevoeligheid geanalyseerd.

Geotechnische uitgangspunten drainage

Voor de verwekingsanalyse is met betrekking tot de drainage uitgegaan van onderstaande gegevens:

- gemiddelde diepte ligging van de drain: 1,0 m -mv;
- draindiameter: $D_{drain} = 60$ mm;
- maximum toelaatbaar zakkingsverschil voor het functioneren van de drainage
 $\Delta s < \frac{1}{2} \cdot D_{drain}$, oftewel: $\Delta s < 30$ mm (in verband met risico op luchtinsluiting, zie paragraaf 2.6).

Voor het voldoende kunnen blijven functioneren van de drainage is uitgegaan van een maximaal toelaatbare (verschil)zakking van een halve draindiameter (30 mm). In paragraaf 3.6.2 wordt de maximaal optredende zakking door verdichting na verweking bepaald en getoetst aan deze vervormingseis.

Grondwaterstand

Voor de verwekingsanalyse is uitgegaan van een grondwaterstand nagenoeg gelijk aan het lokale maaiveldniveau op basis van de ingemeten hoogtes van de sonderingen.

3.6.2 Resultaten verwekingsanalyse

Om de maximale zakking van de drains te bepalen (en daarmee te kunnen aantonen of verweking ook mogelijk effect kan hebben gehad op het niet-functioneren van de drains) is in de verwekingsanalyses uitgegaan van een combinatie van (realistische) bovengrensbepalingen op basis van de maximale (gemeten) maaiveldversnellingen en een hoge grondwaterstand. De berekeningen zijn uitgevoerd voor alle vijf op deze locatie uitgevoerde sonderingen.

Uit de resultaten volgt dat voor locatie Loppersum er met name ter plekke van sondering LS2 en LS3 lichte verweking optreedt in de wadzandlagen welke zich van 1,0 à 1,5 m tot 2,5 à 4,5 m onder maaiveldniveau bevinden.

In tabel 3.6 zijn de resultaten van de verwekingsanalyses samengevat met betrekking tot de berekende minimale veiligheid tegen verweking, de berekende zakking op maaiveld- en drainniveau. De volledige berekeningsresultaten zijn opgenomen in bijlage 8.

Tabel 3.6 Samenvatting resultaten verwekingsanalyse (GWS = MV) Green

CPT [-]	$a_{g,max}$ [g]	maaiveld [m+NAP]	GWS [m+NAP]	$\gamma_{L,min;layer}$ [-]	$S_{,mv}$ [mm]	$S_{,Dr}$ [mm]
LS1	0,067	0,38	0,38	2,00	0,0	0,0
LS2	0,067	0,54	0,54	1,99	0,3	0,3
LS3	0,067	0,39	0,39	1,83	5,6	5,6
LS4	0,067	0,48	0,48	2,00	0,0	0,0
LS5	0,067	0,58	0,58	2,00	0,0	0,0

waarbij geldt:

CPT	nummer sondering
$a_{g,max}$	maatgevende PGA-waarde
GWS	grondwaterstand toegepast in verwekingsanalyse
$\gamma_{L,min;layer}$	minimale berekende veiligheid tegen verweking
$S_{,mv}$	maaiveldzakking ten gevolge van verdichting
$S_{,Dr}$	zakking op aanlegdiepte drain (NAP -1,0 m) ten gevolge van verdichting

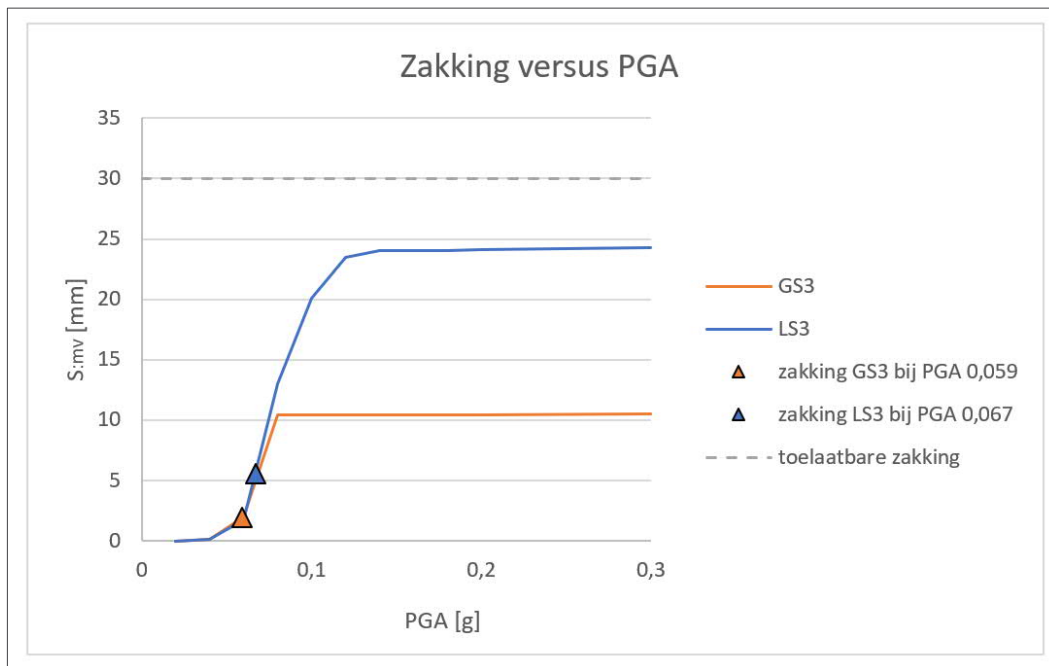
Voor locatie Loppersum is de maximale berekende zakking op drainniveau 5,6 mm ter plekke van sondering LS3. Voor deze locatie geldt dat de optredende zakking ten gevolge van verweking ruim onder de maximaal toelaatbare zakkingsseis van 30 mm ligt (om luchtinsluiting te voorkomen). De aan maaiveld berekende zakking is gelijk aan de berekende zakking op drainniveau.

3.6.3 Gevoeligheidsanalyse zakkingsgevoeligheid versus maaiveldversnelling

In deze paragraaf is de gevoeligheid van de piekgrondversnelling (PGA) op de zakking ten gevolge van verweking beschouwd welke volgt uit de rekenaanpak conform bijlage D en E van NPR 9998:2018. Voor deze gevoeligheidsanalyse zijn dezelfde uitgangspunten aangehouden als voorgaande verwekingsanalyse. Op basis van de representatieve sondering LS3 zijn de zakkingsen bepaald voor omliepende PGA waarden tot 0,3 g.

In figuur 3.8 is met de blauwe lijn de relatie tussen de zakking door verweking en de piekgrondversnelling voor locatie Loppersum weergegeven. Daarnaast is ook de hoogst gemeten PGA-waarde en de bijbehorende zakking welke gebruikt zijn voor de analyses aangegeven door middel van de driehoekjes in figuur 3.11.

Uit figuur 3.11 blijkt dat ook bij een sterkere aardbeving met een (veel) hogere PGA waarde de zakking ten gevolge van verweking voor locatie Loppersum (LS3) niet boven de toelaatbare zakkingsseis van 30 mm blijkt uit te komen.



Figuur 3.11 Zakkingsgevoeligheid versus maaiveldversnelling (PGA)

4 Resultaten pilotlocatie Godlinze

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het veldonderzoek, de drainagemetingen en de verwekingsanalyse voor pilotlocatie Godlinze beschreven.

4.1 Huidige situatie

Pilotlocatie Godlinze betreft een aantal graslandpercelen behorende bij een melkveebedrijf in de omgeving van Godlinze. In figuur 4.1 zijn de percelen weergegeven. Op het oranje omkaderde perceel (perceel 1 en 2) worden door de grondeigenaar de meeste problemen met ongelijkmatige verzakkingen ervaren. Hier is het (veld)onderzoek daarom op toegespitst. Voor de uitwerking van de resultaten is het perceel in twee delen opgesplitst (perceel 1 en 2), op basis van verschil in drainrichting (zie figuur 4.6).



Fig. 4.1. Locaties percelen pilotlocatie Godlinze – op de oranje omkaderde percelen (perceel 1 en 2) zijn volgens de grondeigenaar de problemen met ongelijkmatige zakkingen.

De percelen op deze locatie (perceel 1 en perceel 2 in figuur 4.1) hebben volgens de grondeigenaar de afgelopen jaren een steeds meer ‘golvend’ verloop gekregen. Vanaf medio 2011/2012 is dit begonnen. Daarvoor waren de percelen vlakker. Het leidt nu nog niet tot frequente plasvorming, maar de eigenaar verwacht dat dit wel gaat komen. De eigenaar vermoedt dat de gaswinning ongelijkmatige bodemdaling veroorzaakt op deze percelen. In februari 2020 was er sprake van wateroverlast (op de percelen). Ook in de omgeving bleek er veel wateroverlast. Met behulp van een drone met camera zijn door iemand uit de omgeving van de locatie hier beelden van gemaakt.

De grondeigenaar heeft de lagere delen in de percelen aangewezen. Op basis van deze aanwijzingen en gegevens uit het Actueel Hoogtebestand Nederland zijn de laagtes bepaald.

De waterhuishouding en het peilbeheer van de omringende sloten zijn volgens de eigenaar op orde. De locatie ligt relatief hoger ten opzichte van de omgeving, wat volgens de grondeigenaar ook gunstig is voor de ontwateringssituatie.

De grondeigenaar meet geen neerslaghoeveelheden. Er is wel iemand in de buurt die neerslaggegevens van het gebied meet en bijhoudt.

In 2019 is een sloot tussen perceel 1 en 2 gedempt. Dit gedeelte en een gebied van circa 20 meter daarom heen is niet representatief voor de overige delen van de percelen.

Op het zuidelijke deel van perceel 1 was ten tijde van het veldbezoek en de veldwerkzaamheden een tijdelijke bouwweg en werkterrein (met gronddepots) aanwezig in verband met werkzaamheden van TenneT (bouw van een nieuwe mast). Eén geplande boorlocatie is daarom enkele meters verplaatst.

De grondeigenaar gaat bewust met de bodem van het perceel om en weet dat de bodemstructuur gevoelig is voor verdichting en versmering. De grondeigenaar voorkomt dat er onder natte omstandigheden op het perceel wordt gereden. Er zijn meerdere dammen naar de aangrenzende ontsluitingswegen aangelegd om berijding van het perceel te kunnen beperken.

Op een luchtfoto van het perceel (zie figuur 4.2) zijn duidelijke kleurverschillen waar te nemen. Deze kleurverschillen worden niet veroorzaakt door waterschade, maar volgens de eigenaar betreft dit schade door ritnaalden. Het perceel is daarom opnieuw ingezaaid.

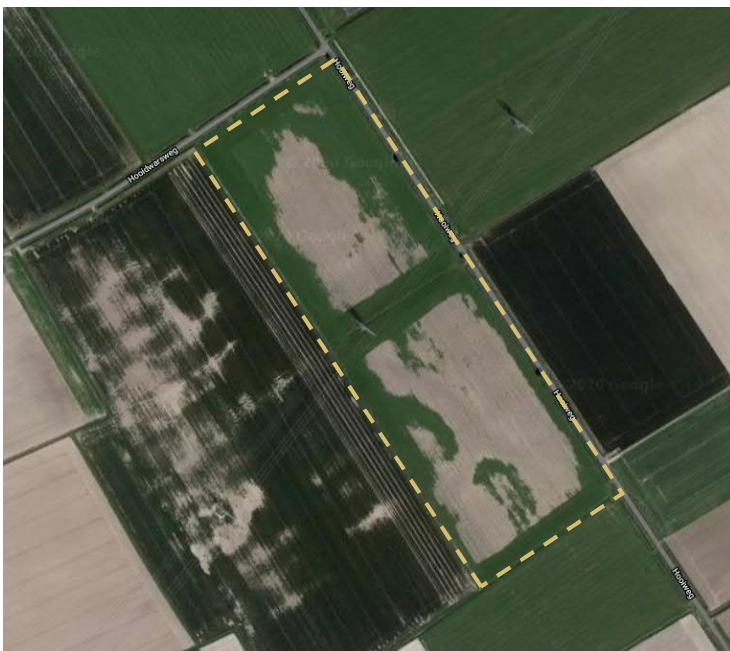


Fig. 4.2. Locatie Godlinze met waarneembare kleurverschillen in de percelen als gevolg van schade door ritnaalden (bron foto: Google Maps, opnamejaar onbekend)

4.2 Hoogteligging

Hoogteligging van de percelen omstreeks de start van de gaswinning (omstreeks 1960)

Op basis van gegevens van het Kadaster en het TopHoogteMD-bestand varieerde het maaiveld van deze locatie in de periode dat de gaswinning ongeveer begon (medio jaren '60) van NAP +0,7 m tot NAP +1,4 m. Een kaart met de ligging van de hoogtepunten is opgenomen in figuur 4.3 en in bijlage 3 (op schaal). De gemiddelde berekende hoogte van deze locatie medio jaren '60 was NAP +1,1 m.

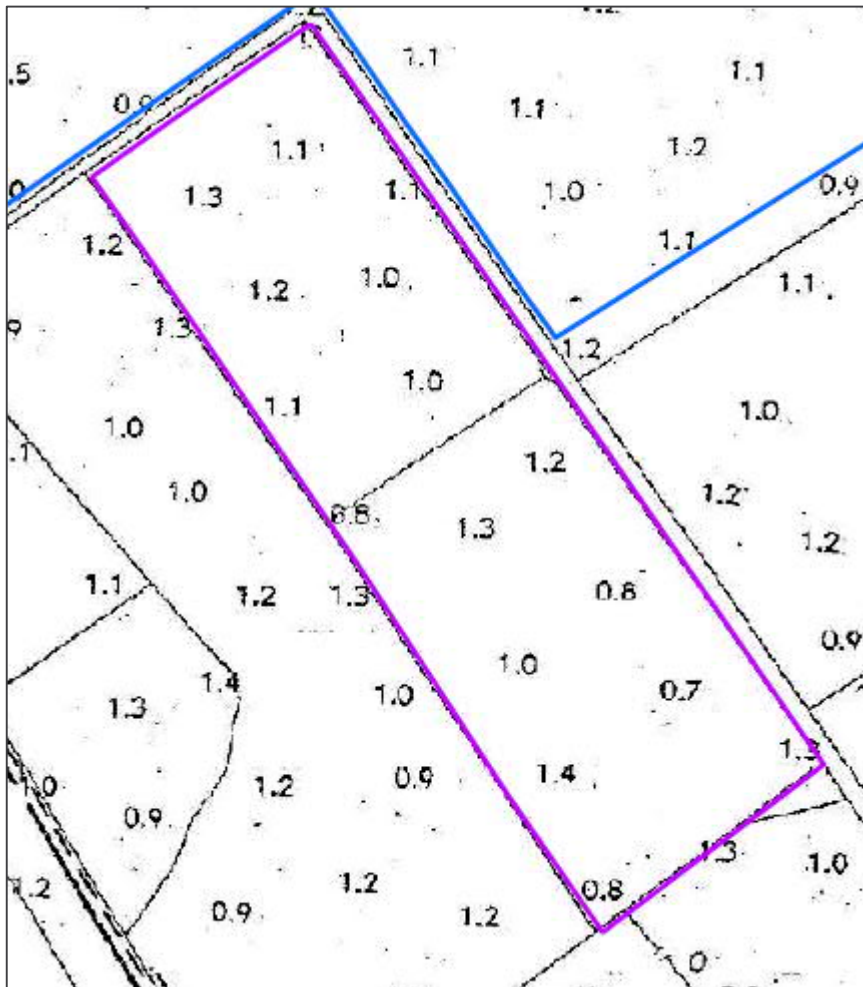


Fig. 4.3. Hoogteligging omstreeks de start van de gaswinning (medio jaren '60) [19]

Hoogteligging op basis van het Actueel Hoogtebestand Nederland (1998 – 2019)

De hoogtekaarten op basis van het AHN1, 2 en 3 zijn opgenomen in het bureauonderzoek [22]. In dit rapport wordt voornamelijk gebruik gemaakt van het AHN2 en het AHN3 omdat tussen de opnamejaren (2009 en 2019) relatief veel geïnduceerde bevingen hebben plaatsgevonden.

In figuur 4.4 is een uitsnede uit het AHN2 (2009) en het AHN3 (2019) opgenomen. Beelden van het AHN2 zijn voor deze locatie verschoven. Deze verschuiving van het AHN2 in de regio Groningen is bij de makers van het AHN bekend. Voor dit gebied dienen de niet geïnterpoleerde (of niet opgevulde) rasterbestanden te worden gebruikt, die vrijwel identiek zijn aan de geïnterpoleerde bestanden [7]. Het AHN2 voor deze locatie is dus niet met de geïnterpoleerde versie weergegeven. Bij deze AHN-data worden ook data van gebouwen en constructies meegenomen. Zo is voor deze pilotlocatie ook de hoogspanningslijn zichtbaar. Om de data van het AHN2 met de AHN3 te kunnen vergelijken is voor deze locatie ook de AHN3 met de niet geïnterpoleerde versie opgenomen.

Op basis van de resultaten van het AHN2 (2009) en het AHN3 (2019) zijn duidelijk lagere delen in de percelen zichtbaar. Ook zijn er lijnvormige en ruitvormige patronen in de percelen waar te nemen. Het hoogtepatroon van het AHN3 is vergelijkbaar met het AHN2.

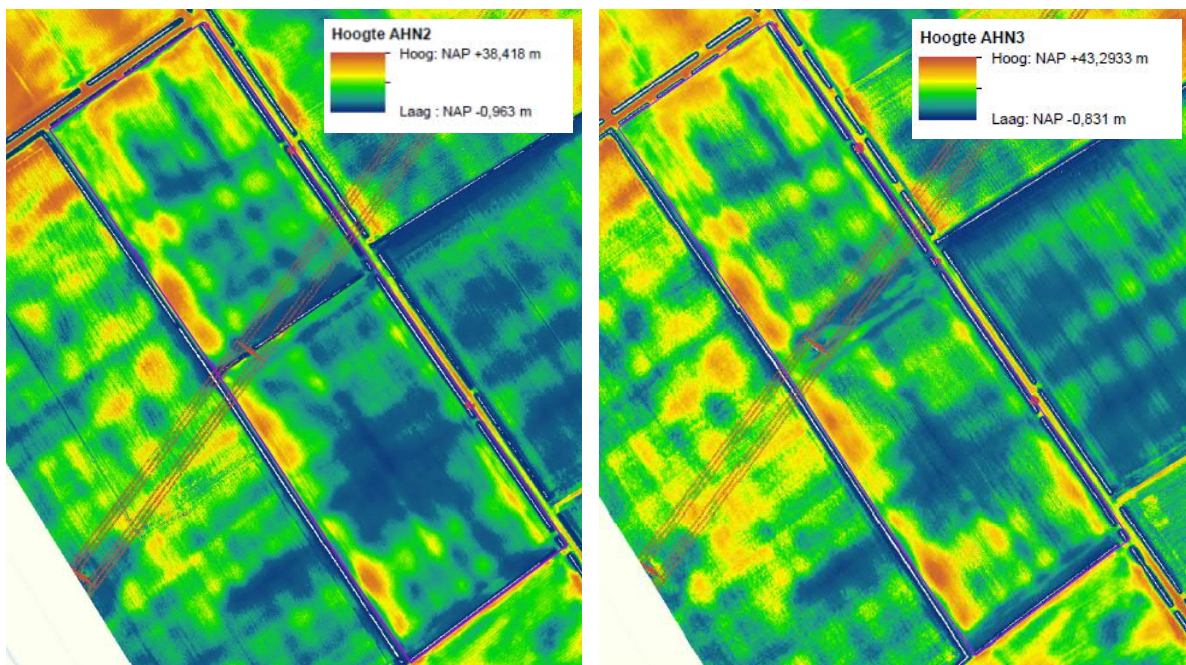


Fig. 4.4 Hoogteligging 2009 - uitsnede AHN2 (links) en hoogteligging 2019 – uitsnede AHN3 (rechts) [6]

Actuele hoogteligging (augustus 2020)

De resultaten van de hoogtemetingen met RTK-GPS (augustus 2020) zijn opgenomen in bijlage 1. De gemeten hoogtes variëren van NAP +0,49 m tot NAP +0,97 m. De gemiddelde berekende hoogte van de meetpunten (perceel 1 en 2) bedraagt NAP +0,70 m.

De hoogtemetingen zijn geïnterpoleerd om een vlakdekkend beeld te krijgen en om de hoogtemeting met de oude hoogtedata (AHN2) te kunnen vergelijken. Voor de interpolatie is de natural neighbor interpolatietechniek gebruikt. Deze geïnterpoleerde kaart is weergegeven in bijlage 4 (en figuur 5.15).

4.3 Bodemopbouw

De resultaten van de uitgevoerde sonderingen en boringen zijn opgenomen in bijlage 2. De boringen zijn zowel conform NEN5104 als Stiboka-legenda weergegeven. Hieronder volgt een korte algemene beschrijving van de resultaten en een nadere beschrijving per perceel. Bij dit laatste wordt tevens ingegaan op bodemkundige verschillen tussen de locaties met wateroverlast/laagtes ten opzichte van de overige delen van de percelen.

4.3.1 Bodemopbouw tot de boordiepte (0 tot 6 m)

Algemeen

Op deze locatie is tot de boordiepte van 6 meter minus maaiveld overwegend een kleiig profiel aangetroffen waarbij afwisselend lagen met lichte klei en matig zware tot zware zavel zijn aangetroffen. Veelal zijn in de lagen klei en zavel laagjes zand waargenomen. Lokaal zijn lagen kleiig zand aangetroffen, veelal betreft het ook profielen met laagjes klei. Overwegend is in de bovengrond een aflopend profiel aanwezig, wat betekent dat de grond in de diepte lichter wordt. Lokaal zijn dieper in het profiel kleiige veenlagen aangetroffen.

Bodemopbouw perceel 1 (GB01 - GB07, GB17 en GB18)

De bovengrond tot een diepte van circa 0,45 à 0,80 meter minus maaiveld bestaat uit lichte klei. Hieronder zijn afwisselend lagen van matig zware tot zware zavel aangetroffen met lokaal lichtere lagen (kleiig zand) en lokaal zwaardere tussenlagen (lichte klei).

Bij boring GB01, GB05 en GB17 is vanaf een diepte van circa 1,5 à 1,7 m tot 6 meter overwegend kleiig zand aanwezig.

Het profiel ter plaatse van de boringen in de laagtes (GB17 en GB18) wijkt beperkt af in vergelijking met de boringen op de hogere delen. In vergelijking met de andere boringen is bij boring GB17 het kleipakket (lichte klei) wel iets dikker (circa 1 m) en is het profiel vanaf 1,5 m -mv tot 6,0 m -mv zandiger.

Bodemopbouw perceel 2 (GB08 - GB16, GB20 en GB21)

De bovengrond tot een diepte van circa 0,45 à 0,70 meter minus maaiveld bestaat uit lichte klei. Lokaal is de kleilaag dikker, circa 1,8 m (bij boring GB08, GB20). Hieronder zijn afwisselend lagen van matig zware tot zware zavel aangetroffen met lokaal lichtere lagen (kleiig zand) en lokaal zwaardere tussenlagen (lichte klei). Lokaal zijn op een diepte van circa 3 à 3,5 meter minus maaiveld kleiige veenlagen aangetroffen. De dikte varieert van 0,10 tot 0,50 meter.

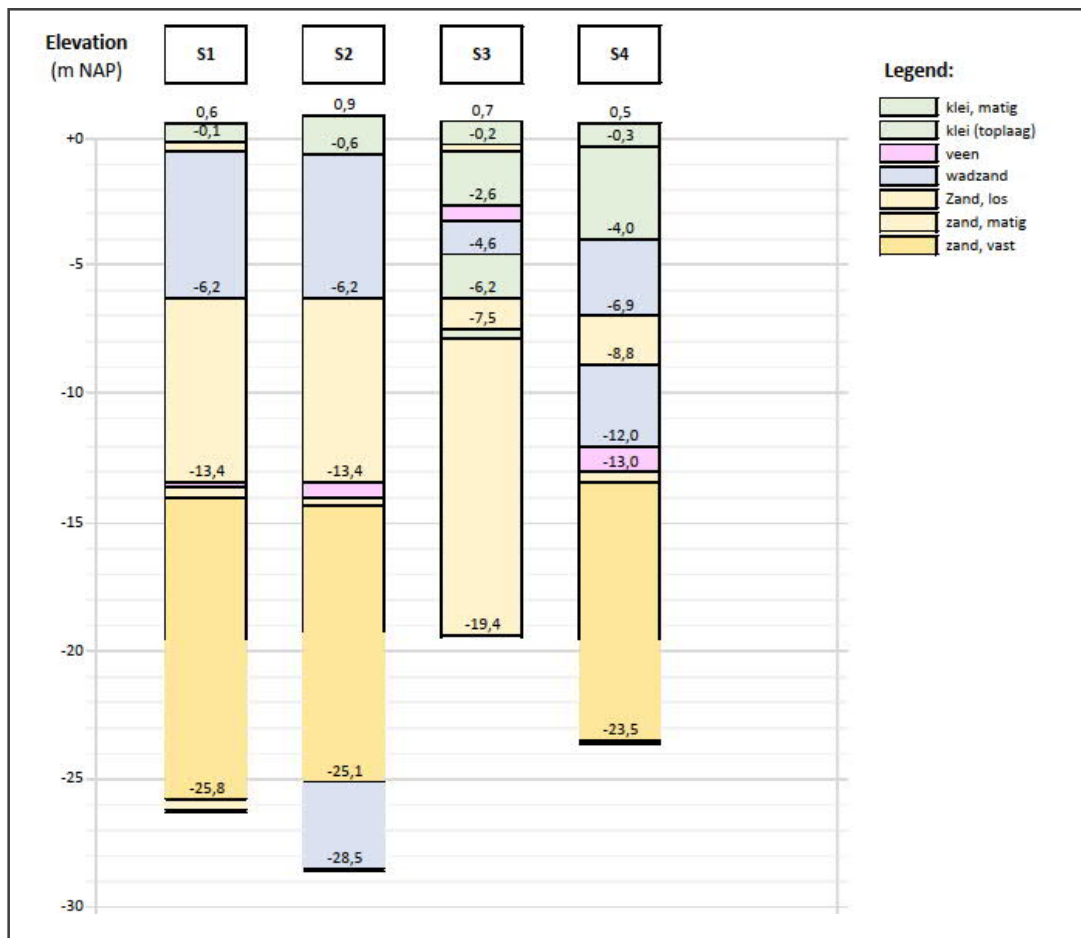
Het profiel ter plaatse van de boringen in de laagtes (GB20 en GB21) wijkt beperkt af in vergelijking met de boringen op de hogere delen. Wel is bij boring GB20 het kleipakket (lichte klei) relatief dikker (circa 1,8 m).

4.3.2 Bodemschematisatie (tot 30 m) en grondparameters

Over het algemeen is de bodem opgebouwd uit een kleiige toplaag met daaronder wadzand, een getijde afzetting bestaande uit alternerend dunne zand- en kleilaagjes. Lokaal komen er ook los gepakte zandlagen vlak onder de kleiige toplaag voor. Met name deze ondiepe, los gepakte zand- en wadzandlagen kunnen verwekingsgevoelig zijn.

Afhankelijk van de sondeerlocatie is onder het ondiepe wadzandpakket een laag van losgepakt zand of klei aangetroffen met daaronder een veenlaag (Basisveen) welke direct bovenop het pleistocene zandpakket ligt.

De bodemschematisatie van locatie Godlinze ten behoeve van de verwekingsanalyse is opgenomen in figuur 4.5. De grondparameters die als invoer dienen voor de geotechnische verwekingsanalyse zijn vastgesteld op basis van het uitgevoerde grondonderzoek paragraaf 3.1.2 van NPR 9998:2018 en tabel 2.b van NEN 9997-1 [34] en zijn weergegeven in tabel 4.1.



Figuur 4.5 Bodemschematisatie op basis van sonderingen onderzoekslocatie Godlinze

Tabel 4.1 Overzicht grondparameters geotechnische verwekingsanalyse Godlinze

Grondsoort	γ_d [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	ϕ' [^o]	c' [kPa]	V_s [m/s]	G_{dyn} [MPa]
Klei (toplaag)	14	14	22,5	0	150	40
Klei, matig	15	15	22,5	0	150	40
Veen	12	12	17,5	3	100	10
Wadzand	18	18	27,5	0	200	75
Zand, los	17	19	30	0	200	75
Zand, matig	18	20	32,5	0	250	125
Zand, vast	19	21	35	0	280	170
Potklei	18	18	20	10	200	75

waarbij geldt:

- γ_d volumegewicht bij natuurlijk watergehalte
- γ_{sat} verzadigd volumegewicht
- ϕ' karakteristieke waarde effectieve hoek van inwendige wrijving
- c' karakteristieke waarde effectieve cohesie
- V_s schuifgolfvoortplantingssnelheid
- G_{dyn} dynamische glijdingsmodulus

4.4 Waterhuishouding

4.4.1 Grondwaterstanden

De in de open boorgaten gemeten grondwaterstanden zijn opgenomen in tabel 4.2. Uit de metingen blijkt dat de gemeten grondwaterstanden variëren van circa 0,5 tot circa 1,5 meter minus maaiveld (uitgaande van de metingen één dag na de boring).

De gemeten grondwaterstanden zijn relatief laag wat kan worden verklaard door de relatief langdurige droogte in de zomer van 2020.

Bij de meeste boringen is één dag na de boring een hogere grondwaterstand in hetzelfde boorgat gemeten. Dit kan verklaard worden door de zijdelingse instroom van het grondwater in het boorgat. Deze meting van de actuele grondwaterstand is derhalve het meest betrouwbaar.

Bij drie boringen (GB02, GB10 en GB14) is één dag na de boring een lagere grondwaterstand in hetzelfde boorgat gemeten. Mogelijke verklaringen zijn dat de eerste meting is beïnvloed door hemelwater (tijdens veldwerkzaamheden vonden diverse regenbuien plaats) of dat de boring relatief dicht bij een drain is uitgevoerd waardoor grondwater gemakkelijker is afgevoerd en dit de tweede meting heeft beïnvloed.

Tabel 4.2 Grondwaterstanden open boorgaten locatie Godlinze

Boring	Perceel	Locatie	Maaiveldhoogte (m NAP)	GWS (m -mv)	GWS [m NAP]	GWS1dag (m -mv)	GWS 1 dag [m NAP]
GB01	1	TopH	0,61	1,40	-0,79	0,67	-0,06
GB02	1	TopH	0,73	1,20	-0,47	1,18	-0,45
GB03	1	TopH	0,64	1,70	-1,06	0,82	-0,18
GB04	1	TopH	0,74	1,15	-0,41	1,04	-0,30
GB05	1	TopH	0,59	1,00	-0,42	1,00	-0,42
GB06	1	TopH	0,86	1,70	-0,84	1,40	-0,54
GB07	1	TopH	0,69	1,05	-0,36	0,85	-0,16
GB08	2	TopH	0,80	1,60	-0,80	1,48	-0,68
GB09	2	TopH	0,69	1,10	-0,41	1,10	-0,41
GB10	2	TopH	0,82	1,10	-0,28	1,35	-0,53
GB11	2	TopH	0,62	1,40	-0,78	1,06	-0,44
GB12	2	TopH	0,60	1,40	-0,80	1,48	-0,88
GB13	2	TopH	0,58	1,70	-1,12	1,15	-0,57
GB14	2	TopH	0,81	1,40	-0,59	1,50	-0,69
GB15	2	TopH	0,60	1,40	-0,80	0,97	-0,37
GB16	2	TopH	0,66	1,40	-0,74	1,18	-0,52
GB17	1	Laagte	0,59	1,50	-0,91	0,87	-0,28
GB18	1	Laagte	0,58	1,70	-1,12	0,50	0,08
GB19	2	Laagte	0,70	1,50	-0,80	1,20	-0,50
GB20	2	Laagte	0,57	1,40	-0,83	1,16	-0,59
GB21	2	Laagte	0,51	1,40	-0,89	0,99	-0,48
Gem.			0,67	1,39	-0,73	1,09	-0,43
min			0,51	1,00	-1,12	0,50	-0,88
max			0,86	1,70	-0,28	1,50	0,08

GWS: gemeten grondwaterstand na uitvoering boring

GWS1dag: gemeten grondwaterstand minimaal één dag na uitvoering boring

TopH: locatie boring TopHoogteMD (hoogtemeting rond start van de gaswinning)

Laagte: locatie boring in laagte en/of locatie wateroverlast

De geschatte GHG en GLG zijn opgenomen in tabel 4.3. De GHG is overwegend geschat tussen 0,40 en 0,60 minus maaiveld. De geschatte GLG varieert tussen 1,5 en 2,5 m -mv.

Tabel 4.3 Geschatte GHG en GLG locatie Godlinze

Boring	Laagte	Locatie	Maaiveldhoogte (m NAP)	GHG (m - mv)	GHG (m NAP)	GLG (m -mv)	GLG (m NAP)
GB01	1	TopH	0,61	0,50	0,11	1,50	-0,89
GB02	1	TopH	0,73	0,45	0,28	1,60	-0,87
GB03	1	TopH	0,64	0,45	0,19	2,50	-1,86
GB04	1	TopH	0,74	0,40	0,34	1,50	-0,76
GB05	1	TopH	0,59	0,45	0,14	1,70	-1,12
GB06	1	TopH	0,86	0,50	0,36	2,50	-1,64
GB07	1	TopH	0,69	0,40	0,29	1,70	-1,01
GB08	2	TopH	0,80	0,60	0,20	1,70	-0,90
GB09	2	TopH	0,69	0,60	0,09	1,60	-0,91
GB10	2	TopH	0,82	0,60	0,22	1,60	-0,78
GB11	2	TopH	0,62	0,40	0,22	1,60	-0,98
GB12	2	TopH	0,60	0,40	0,20	1,50	-0,90
GB13	2	TopH	0,58	0,45	0,13	2,50	-1,92
GB14	2	TopH	0,81	0,45	0,36	1,70	-0,89
GB15	2	TopH	0,60	0,45	0,15	2,50	-1,90
GB16	2	TopH	0,66	0,40	0,26	1,60	-0,94
GB17	1	Laagte	0,59	1,00	-0,41	1,50	-0,91
GB18	1	Laagte	0,58	0,50	0,08	2,50	-1,92
GB19	2	Laagte	0,70	0,50	0,20	1,70	-1,00
GB20	2	Laagte	0,57	0,40	0,17	1,80	-1,23
GB21	2	Laagte	0,51	0,45	0,06	1,70	-1,19
Gem	1		0,67	0,49	0,17	1,83	-1,17
<i>min</i>	1		0,51	0,40	-0,41	1,50	-1,92
<i>max</i>	1			1,00	0,36	2,50	-0,76

GHG: Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand

GLG: Gemiddeld Laagste Grondwaterstand

TopH: locatie boring TopHoogteMD (hoogtemeting rond start van de gaswinning)

Laagte: locatie boring laagte

De in de peilbuizen opgenomen grondwaterstanden zijn opgenomen in tabel 4.4. Uit de opnames kan worden opgemaakt dat de gemeten grondwaterstand in september 2020 vrijwel gelijk is aan de gemeten stijghoogte. In november 2020 en januari 2021 is een stijghoogteverschil van circa 0,50 m gemeten. Dit wijst op lichte kwel op deze locatie vanuit het pleistocene zand.

Tabel 4.4. Resultaten opname grondwaterstand en stijghoogte peilbuis Godlinze

Filterdiepte [m]	Bovenkant peilbuis [m NAP]	Stijghoogte [m NAP]				Grondwaterstand [m NAP]			
		9-9-2020	10-9-2020	9-11-2020	6-1-2021	19-9-2020	20-9-2020	9-11-2020	6-1-2021
1,20 – 2,20	1,222	-	-			-0,85	-0,85	-0,54	-0,51
13 – 14	1,137	-0,84	-0,84	-0,06	+0,02	-	-		

4.4.2 Grondwaterstand per perceel

Perceel 1

De gemeten grondwaterstand varieert van circa 0,5 tot 1,4 meter minus maaiveld (NAP +0,08 tot -0,54 m). De GHG varieert overwegend van 0,4 tot 0,5 m -mv (NAP +0,08 tot +0,36 m). De hoogste grondwaterstanden zijn gemeten bij boring GB01 en GB18. GB18 is een boring in een lager deel van het perceel.

De geschatte GHG ter plaatse van de boringen in de laagtes wijkt niet opvallend af in vergelijking met de GHG in de boringen op de hogere delen. Wel is bij boring GB18 de hoogste GHG geschat (ten opzichte van NAP).

Perceel 2

De gemeten grondwaterstand varieert van circa 1,0 tot 1,5 meter minus maaiveld (NAP -0,4 tot -0,9 m). De GHG varieert overwegend van 0,4 tot 0,6 m -mv (NAP +0,06 tot +0,36 m).

De geschatte GHG ter plaatse van de boringen in de laagtes wijken niet opvallend af in vergelijking met de boringen op de hogere delen.

4.4.3 Oppervlaktewater

De onderzoekslocatie ligt in het peilvak GPGKST0350 Wortelpot met een zomerpeil van NAP -0,59 m en een winterpeil van NAP -0,69 m [18].

Het gemeten waterpeil in de omringende watergangen ten tijde van het veldonderzoek varieerde van NAP -0,49 tot NAP -0,56 m (gemiddeld NAP -0,54 m). De meetresultaten zijn vergelijkbaar met het gehanteerde zomerpeil.

In 1977 was op deze locatie het winter- en zomerpeil NAP -0,40 m [18]. Dit betekent dat na 1977 een peilverlaging van 0,19/0,29 m is doorgevoerd. Deze peilverlaging is doorgevoerd ter compensatie van de bodemdaling als gevolg van de gaswinning.

4.4.4 Gemiddelde huidige drooglegging

De huidige gemiddelde drooglegging (het hoogteverschil tussen het waterpeil en het maaiveldniveau) op basis van het gemiddelde gemeten waterpeil van NAP -0,54 m en gemiddelde berekende maaiveldhoogte van de pilotlocatie (NAP +0,70 m, zowel perceel 1 als perceel 2) bedraagt circa 1,2 m.

4.5 **Drainage**

4.5.1 Algemeen

Op basis van informatie van de grondeigenaar zijn de percelen van deze locatie in 2012 gedraineerd met een hart op hart afstand van 8 m. De drainage (PVC 60 mm) is sleufloos aangebracht. Figuur 4.6 is een door de grondeigenaar beschikbaar gestelde situatieschets die inzicht geeft in het aantal drains en de drainrichting op de onderzoekslocatie. Er is geen gedetailleerde drainagetekening van de in 2012 aangelegde drainage beschikbaar.

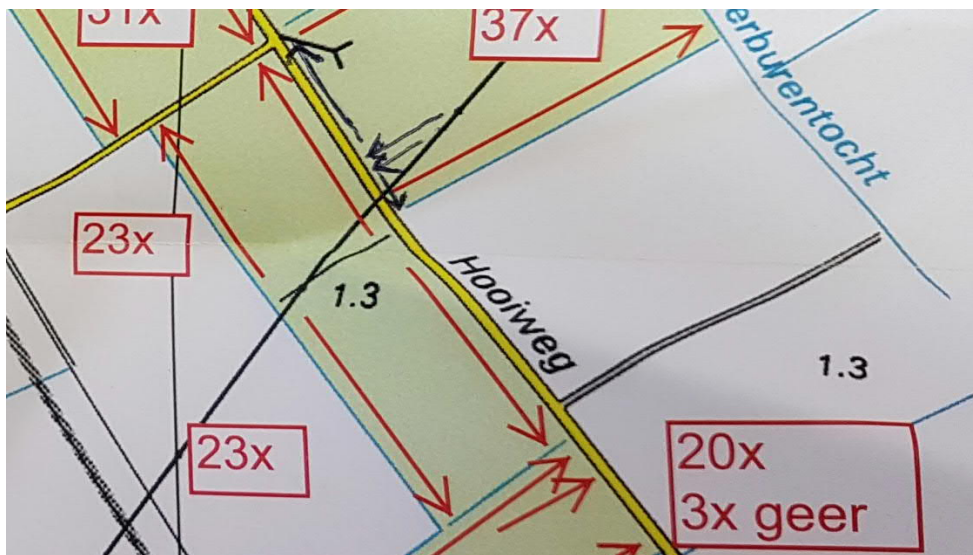


Fig. 4.6 Kaart met aantal drains en drainrichting locatie Godlinze

De onderzoekslocatie is eerder gedraineerd in de periode 1969 – 1979. Daarbij is rekening gehouden met oude slootdempingen ten tijde van de ruilverkaveling (zie figuur 4.7). De meeste van deze drains zijn met turf- of kokosomhulling aangelegd.

Er is geen nulmeting van de vlakteligging van de drainagebuizen beschikbaar. Aangenomen wordt dat de drainage vlak of onder enige afschot is aangelegd.

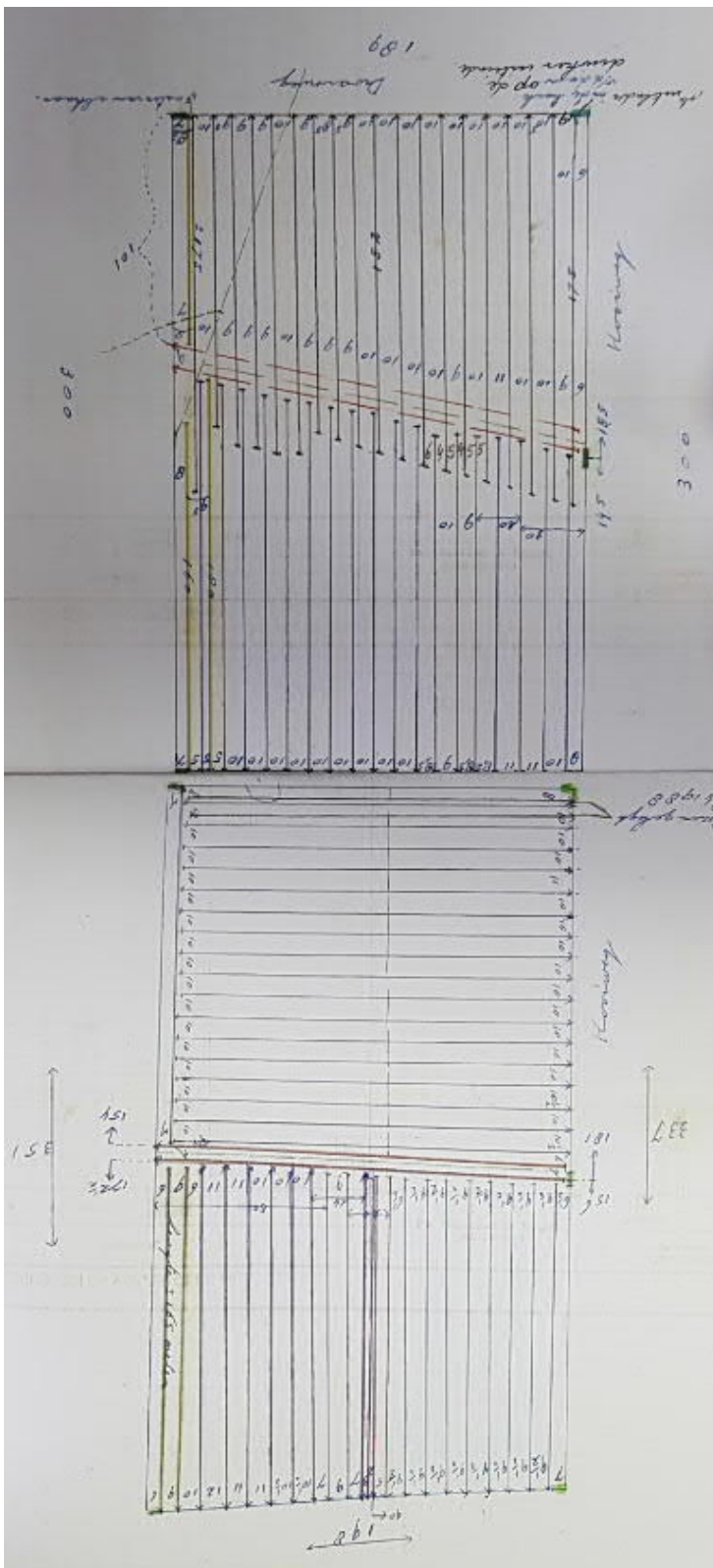


Fig. 4.7 Drainagekaart drains periode 1969-1979 en de topografische kaart uit 1960 (rechts)

De hoogtes van de uitmondingen van de drains (bovenkant buis) zijn op deze locatie ingemeten. De gemiddelde gemeten hoogte van de bovenkant van de eindbuizen van drainage van 2012 bedraagt NAP -0,40 m.

Bij de uitvoering van de veldmetingen zijn ook de oudere drains (periode 1969 -1979) waargenomen. Waar mogelijk is de hoogte van de eindbuis (bovenkant buis) ingemeten. Uit de hoogtemetingen is af te leiden dat de oudere drains iets lager liggen dan de drains uit 2012, gemiddeld op NAP -0,47 m (bovenkant buis).

Ten tijde van de uitvoering van de hoogtemetingen (17 – 19 augustus 2020) bevonden de drains zich boven het waterpeil. Tijdens een veldbezoek op 25 augustus 2020 stond een aantal drainagebuizen aan de zuidoostzijde (perceel 2) onder het waterpeil.

De ligging van de drainuitmondingen onder het waterpeil kan worden verklaard door de lagere ligging van de oudere drainbuizen (aangelegd in 1969 – 1979). De gemeten hoogtes (bovenkant buis) van zes van deze drains aan de zuidoostzijde (perceel 2) laten een hoogte variërend van NAP -0,56 tot -0,60 m zien. Bij het zomerpeil van NAP -0,59 m betekent dit dat de drains (deels) onder water uitmonden. Vermoedelijk zijn deze drains tijdens aanleg boven het vroegere waterpeil (NAP -0,40 m in 1977) aangelegd en zijn deze in de loop van de jaren door de bodemdaling gezakt. Wanneer wordt uitgegaan van een jaarlijkse daling van 6 tot 7 millimeter per jaar zal het niveau van deze drains (bovenkant buis) omstreeks 1977 hebben gevarieerd van NAP -0,34 tot NAP -0,24 m. Bij een waterpeil van NAP -0,40 m konden deze drains na aanleg (1969-1979) derhalve boven het waterpeil vrij afwateren.

Bij een aantal van de drainagebuizen die afwateren in noordwestelijke richting (perceel 1) is visueel waargenomen dat deze water afvoerden. Tijdens de drainagemetingen (6 en 7 januari 2020) bevonden de drains zich boven het waterpeil en bij verschillende drains is waargenomen dat deze water afvoerden.

4.5.2 Meting van de vlakteligging van de drainagebuizen

Op pilotlocatie Godlinze zijn vooraf tien verschillende drains geselecteerd (nummer 1 t/m 10 in figuur 4.8) voor het meten van de vlakteligging. Het betreft drains die in 2012 zijn aangelegd. In twee werkdagen is de vlakteligging van in totaal zeven verschillende drains ingemeten. Vier drains ter plaatse van perceel 1 en drie drains ter plaatse van perceel 2.

De ligging van de ingemeten drains, en gemeten lengte, zijn weergegeven in figuur 4.8. De gemeten drainlengte varieert van 164 tot 298 m. Bij vier drains is vrijwel de gehele drainlengte gemeten.

Bij het meten bleek het niet nodig de drains voorafgaand aan het inbrengen van de meetslang en sensor te spoelen. Bij het inbrengen van de drains met de drainreiniger en het terughalen was sprake van enige mate van vrijkomend slib en roest.

Bij drain 2 kwam de reiniger en sensor niet verder dan circa 20 m in de buis en is de meting gestaakt. Daarom is de naastliggende drain uit 2012 ingemeten (r2). Bij drain 7 is per abuis de naastgelegen drain (r7) gemeten. Drainbuis 4, 6 en 7 zijn niet over de gehele lengte gemeten omdat de drainreiniger met sensor niet verder kwamen.

Mogelijke verklaringen voor deze stagnatie zijn:

- mogelijke aanwezigheid van een technische beschadiging van de drain;
- hoge wrijvingsweerstand;
- minder ruimte in de drain door slib en/of roestophoping;
- een lokale verzakking van de drain.

Voor deze pilotlocatie zijn de eerste twee verklaringen het meest aannemelijk gezien de leeftijd van de drainage, de mate van vervuiling en de resultaten van de overige metingen. Om dit met meer zekerheid te zeggen dienen de drains op de locaties van de stagnatie te worden opgegraven en te worden geïnspecteerd.

De meetresultaten van de vlakteligging van de drains voor locatie Godlinze zijn opgenomen in bijlage 9. In paragraaf 5.5.2 wordt nader ingegaan op de beoordeling van de resultaten.

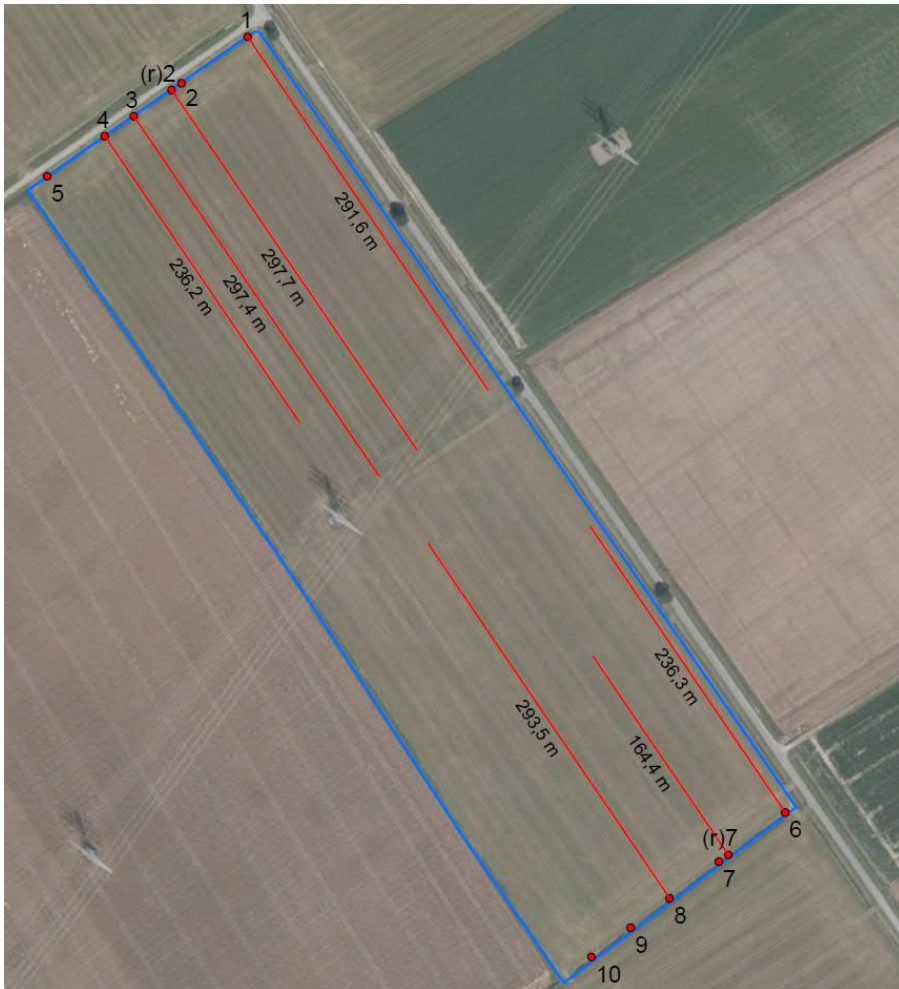


Fig. 4.8 Situatie ligging gemeten drainagebuizen (met gemeten lengte) locatie Godlinze

Representativiteit

Indien meer dan 5% van de drainlengte is onderzocht kan dit als representatief voor de overige drains worden beschouwd [43]. De totale gemeten lengte van de drains op perceel 1 en 2 is 1.817 m. Dit is circa 13% van de totale drainlengte van de drains uit 2012 (circa 13.800 m afgeleid uit de door de grondeigenaar beschikbaar gestelde kaart, zie figuur 4.6). De gemeten drainlengte op perceel 1 en 2 (drainage uit 2012) is derhalve voldoende representatief voor de onderzoekslocatie.

4.6 Verwekingsanalyse

4.6.1 Uitgangspunten

De uitgangspunten voor de verwekingsanalyse voor locatie Godlinze zijn als volgt.

Seismische uitgangspunten

De maximaal opgetreden PGA waarden zijn bepaald uit de KNMI-metingen [39] en vergeleken met de locatiespecifieke PGA-waarden uit de NPR webtool. In overleg met NCG zijn hiertoe de waarden vergeleken met de rekenwaarden uit de webtool bepaald, uitgaande van een terugkeertijd van 95 jaar overeenkomstig de grenstoestanden SD (serious damage) en DL (damage limitation) voor niet-seismische elementen (zie ook NPR 9998:2018 [36] par. 2.2.3 op basis van het laatste hazardmodel GMMv6).

Voor onderzoekslocatie Godlinze volgt:

- Zeerijp event 8-1-2018: $a_{g,max} = 0,055$ g (max. gemeten vanaf 5-11-2014).
- Leermens event 13-2-2014: $a_{g,max} = 0,059$ g (max. gemeten vanaf 26-11-2013).
- Huizinge event 16-8-2012: geen meting nabij Godlinze (met formules volgens Campbell & Van Staalduinen zou op 10 km afstand volgen $a_{g;d} = 0,036$ g).

Ter vergelijking zou met de webtool met scenario V6T4 volgen: $a_{gS} = 0,040$ g. Voor onderzoekslocatie Godlinze is de maatgevende PGA-waarde 0,059 g. Op basis van deze PGA-waarde is de verwekingsgevoeligheid geanalyseerd.

Geotechnische uitgangspunten drainage

Voor de verwekingsanalyses is met betrekking tot de drainage uitgegaan van onderstaande gegevens:

- gemiddelde diepte ligging van de drain: 1,0 m -mv;
- draindiameter: $D_{drain} = 60$ mm;
- maximum toelaatbaar zakkingsverschil voor het functioneren:
 $\Delta s < \frac{1}{2} \cdot D_{drain}$, oftewel: $\Delta s < 30$ mm (in verband met risico op luchtinsluiting, zie paragraaf 2.6)

Voor het voldoende kunnen blijven functioneren van de drainage is uitgegaan van een maximaal toelaatbare (verschil)zakking van een halve draindiameter (30 mm). In paragraaf 4.6.2 wordt de maximaal optredende zakking door verdichting na verweking bepaald en getoetst aan deze vervormingseis.

Grondwaterstand

Voor de verwekingsanalyse is uitgegaan van een grondwaterstand nagenoeg gelijk aan het lokale maaiveldniveau van de uitgevoerde sonderingen.

4.6.2 Resultaten verwekingsanalyse

Om de maximale zakking van de drains te bepalen (en daarmee te kunnen aantonen of verweking ook mogelijk effect kan hebben gehad op het niet-functioneren van de drains) is in de verwekingsanalyses uitgegaan van een combinatie van (realistische) bovengrensbepalingen op basis van de maximale (gemeten) maaiveldversnellingen en hoge grondwaterstand. De berekeningen zijn uitgevoerd voor alle vier sonderingen.

Voor de locatie Godlinze volgt dat er ter plekke van sonderingen GS2 en met name GS3 lichte verweking optreedt in de ondiep gelegen los gepakte (wad)zandlagen welke zich net onder maaiveldniveau bevinden. Uit de analyse volgt ook dat de dieper gelegen zand- en wadzandlagen minder verwekingsgevoelig zijn.

In tabel 4.5 zijn de resultaten van de verwekingsanalyses samengevat met betrekking tot de berekende minimale veiligheid tegen verweking, de berekende zakking op maaiveld- en drainniveau. De volledige berekeningsresultaten zijn opgenomen in bijlage 8.

Tabel 4.5 Samenvatting resultaten verwekingsanalyse (GWS = MV) Green

CPT [-]	a _{g;max} [g]	maaiveld [m+NAP]	GWS [m+NAP]	γ _{L,min;layer} [-]	S _{:mv} [mm]	S _{:Dr} [mm]
GS1	0,059	0,56	0,56	2,00	0,1	0,1
GS2	0,059	0,85	0,85	1,97	0,6	0,6
GS3	0,059	0,69	0,69	1,51	2,0	2,0
GS4	0,059	0,52	0,52	2,00	0,0	0,0

waarbij geldt

CPT	sondering
a _{g;max}	maatgevende PGA-waarde
GWS	grondwaterstand toegepast in verwekingsanalyse
γ _{L,min;layer}	minimale berekende veiligheid tegen verweking
S _{:mv}	maaiveldzakking ten gevolge van verdichting
S _{:Dr}	zakking op aanlegdiepte drain (NAP -1,0 m) ten gevolge van verdichting

Voor locatie Godlinze is de maximaal berekende optredende zakking ten gevolge van compactie door verwekingseffecten 2,0 mm voor sondering GS3 (op drainniveau). Voor deze locatie geldt dat de optredende zakking ten gevolge van verweking ruim onder de maximaal toelaatbare zakkingsseis van 30 mm ligt. De aan maaiveld berekende zakking is gelijk aan de berekende zakking op drainniveau.

4.6.3 Gevoeligheidsanalyse zakkingsgevoeligheid versus maaiveldversnelling

In deze paragraaf is de gevoeligheid van de piekgrondversnelling op de zakking ten gevolge van verweking beschouwd welke volgt uit de rekenaanpak conform bijlage D en E van NPR 9998:2018. Voor deze gevoeligheidsanalyse zijn dezelfde uitgangspunten aangehouden als voorgaande verwekingsanalyse. Op basis van de representatieve sondering GS3 zijn de zakkingsseis bepaald voor oplopende PGA waarden tot 0,3 g.

In figuur 3.11 is met de oranje lijn de relatie tussen de zakking door verweking en de piekgrondversnelling voor locatie Godlinze weergegeven. Daarnaast is ook de hoogst gemeten PGA waarde en de bijbehorende zakking welke gebruikt zijn voor de analyses aangegeven door middel van de driehoekjes in figuur 3.8.

Uit figuur 3.11 blijkt dat ook bij een sterkere aardbeving met een veel hogere PGA-waarde de zakking ten gevolge van verweking voor locatie Godlinze (GS3) niet boven de toelaatbare zakkingsseis van 30 mm blijkt uit te komen.

5 Analyse (ongelijkmatige) bodemdaling en bodemdalingsprocessen van de pilotlocaties

5.1 Inleiding

Op basis van de resultaten van het bureau- en het veldonderzoek, de drainagemetingen en de verwekingsanalyse zijn voor beide pilotlocaties de omvang van de bodemdaling en mogelijke oorzaken van de ongelijkmatige bodemdaling geanalyseerd. Per locatie zijn de resultaten voor locatie pilot 1 Loppersum (in §5.3) en locatie pilot 2 Godlinze (in § 5.4) in dit hoofdstuk gepresenteerd. Allereerst wordt in dit hoofdstuk ingegaan op de onnauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de beschikbare gegevens en resultaten.

5.2 Onnauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de gegevens

Bij de gepresenteerde resultaten in dit hoofdstuk worden vooraf enkele aandachtspunten benoemd die van belang zijn bij het interpreteren van de beschikbare data, de resultaten van de veldonderzoeken en hieruit afgeleide resultaten. Zo zijn er met name verschillende factoren van belang die van invloed zijn op de betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de bepaling van de hoogteligging tussen 1960 en 2020 en de uit de beschikbare gegevens en uitgevoerde metingen berekende hoogteverschillen.

Ontstane hoogteverschillen door grondbewerking en/of egalisatie en berijding

Van locatie Loppersum is bekend dat er in de afgelopen jaren grondbewerking en egalisatiewerkzaamheden op de percelen hebben plaatsgevonden (onder andere egalisatie in 2018). Hierdoor kunnen hoogteverschillen zijn ontstaan, zowel met dalend als stijgend verloop. Hierdoor is een vergelijking van de gemeten hoogtes in 2020 met de historische hoogtes niet goed mogelijk en zijn de resultaten hiervan derhalve minder betrouwbaar.

Hoogtegegevens voor de gaswinning (omstreeks 1960)

Er zijn in beperkte mate hoogtegegevens van voor de gaswinning (medio 1960) beschikbaar. Op locatie Loppersum zijn 19 hoogtepunten beschikbaar en van locatie Godlinze zijn er 16 hoogtepunten beschikbaar. De locaties (x, y-coördinaat) van deze punten hebben volgens het Kadaster een onnauwkeurigheid van 5 tot 10 m. De onnauwkeurigheid van de hoogtecijfers (z-coördinaat) is volgens het Kadaster circa 0,1 m. De gegevens zijn volgens het Kadaster door vlaktewaterpassing en fotogrammetrie, door middel van A8 in combinatie met stereofoto's, verkregen [9].

Nauwkeurigheid van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN)

Informatie met betrekking tot de nauwkeurigheid van het AHN is opgenomen in tabel 5.1 en 5.2. In dit onderzoek is de AHN-informatie op vlakniveau gebruikt. Derhalve dient rekening te worden gehouden met de fouten zoals opgenomen in tabel 5.2. Voor dit onderzoek is voor het AHN2 en AHN3 uitgegaan van een hoogtenauwkeurigheid die hoort bij 68,2% van de meetpunten (+/- 13 cm).

Tabel 5.1. Systematische en stochastische fouten individueel gemeten punten in de puntenwolk AHN-bestand [8, 11]

	AHN1	AHN2 en 3
Systematische fout	5 cm	5 cm
Stochastische fout	15 cm	5 cm
Minimaal 68,2% van de punten heeft een hoogtenauwkeurigheid van:	$5 + 1 * 15 = 20$ cm	$5 + 1 * 5 = 10$ cm
Minimaal 95,4% van de punten heeft een hoogtenauwkeurigheid van:	$5 + 2 * 15 = 35$ cm	$5 + 2 * 5 = 15$ cm
Minimaal 99,7% van de punten heeft een hoogtenauwkeurigheid van:	$5 + 3 * 15 = 50$ cm	$5 + 3 * 5 = 20$ cm

Tabel 5.2. Systematische en stochastische fouten individueel op vlakniveau AHN-bestand [8, 11]

	AHN1	AHN2 en 3
Systematische fout	Niet gespecificeerd	8 cm
Stochastische fout	30 cm	5 cm
*Minimaal 68,2% van de punten heeft een hoogtenauwkeurigheid van:	Niet gespecificeerd	$8 + 1 * 5 = 13$ cm
Minimaal 95,4% van de punten heeft een hoogtenauwkeurigheid van:	Niet gespecificeerd	$8 + 2 * 5 = 18$ cm
Minimaal 99,7% van de punten heeft een hoogtenauwkeurigheid van:	Niet gespecificeerd	$8 + 3 * 5 = 23$ cm

*uitgangspunt hoogtenauwkeurigheid

Bij slecht weer (regen, sneeuw, harde wind) worden geen inwinningsvluchten van het AHN uitgevoerd, omdat de omstandigheden dan te gevaarlijk zijn om te vliegen of omdat ze een te grote invloed op de datakwaliteit hebben. Toch kan het voorkomen dat in de data nog enige plassen zichtbaar zijn, meestal op velden waar het langer dan normaal duurt om al het water af te voeren. In de plassen is vaak sprake van een lagere punt dichtheid of zelfs helemaal geen data [7].

Voor het AHN1 (1998) is niet meer te achterhalen in welke maand de data voor de pilotlocaties is ingewonnen. Vanwege de specificaties zal de inwinning altijd hebben plaatsgevonden in het bladloze seizoen (tussen 1 december en 31 maart). In een eerder onderzoek naar bodemdaling in Flevoland is geconstateerd dat het AHN1 onvoldoende betrouwbaar blijkt voor het analyseren van (relatief beperkte) maaiveld dalingen in de tijd. De meetfout in de maaiveldhoogtebepaling is daarvoor te groot [10].

Gegevens van het AHN2 zijn ingewonnen in de periode februari – maart 2009 [17]. De exacte data wanneer gevlogen is, zijn niet bekend. Het AHN3 is op locatie Loppersum ingevlogen op 3 en 4 februari 2019. Locatie Godlinze is ingevlogen op 20 en 21 januari 2019 [21].

Foutmarge bij berekening hoogteverschillen op basis van het AHN2 en AHN3

Bij het berekenen van hoogteverschillen dient rekening te worden gehouden met de onnauwkeurigheid van de data. Bij de vergelijking van het AHN2 en AHN3 kan de systematische fout van het AHN buiten beschouwing worden gelaten omdat dezelfde meetmethode is gebruikt. De standaard fout (SE) van het AHN2 en het AHN3 is 5 cm (zie tabel 5.2). De steekproefomvang bij de vergelijking van twee metingen is twee.

Gegeven uit de statistiek is $SE = \frac{\sigma_n}{\sqrt{n}}$. De standaardafwijking van de steekproef

(σ) = $5 * \sqrt{2} \sim 7$ cm.

Een standaard afwijking geldt naar boven en naar beneden, dus kan er van worden uit gegaan dat de afwijking bij het vergelijken van twee metingen zorgt voor een standaard afwijking van ± 7 cm. De standaardregel uit de fouttheorie is bij het optellen of aftrekken van twee fysieke metingen is dat de absolute fout ook wordt opgeteld.

Ter illustratie volgt een voorbeeld. De hoogte op basis van het AHN2 is NAP +1,25 m $\pm 0,07$ m en de hoogte op basis van het AHN3 NAP is +1,15 m $\pm 0,07$ m. Het hoogteverschil tussen deze vlakken is dan 0,10 m $\pm 0,14$ m. In dit geval is het berekende hoogteverschil (10 cm) kleiner dan de fout (14 cm). In dit voorbeeld kan dus niet worden bepaald of er sprake is van bodemdaling. Het berekende hoogteverschil tussen de AHN2 en AHN3 dient groter dan 14 centimeter te zijn om met zekerheid te kunnen bepalen of er sprake is van bodemdaling.

Foutmarge berekening hoogteverschillen op basis van het AHN2 en de GPS-hoogtemeting
 Bij vergelijking van de uitgevoerde hoogtemeting (RTK-GPS) met de AHN-gegevens dient de systematische fout te worden meegenomen aangezien twee verschillende methodes zijn gebruikt.

Uitgaande van de nauwkeurigheid bij 68% van de meetpunten is de fout van het AHN2 ± 13 cm. Voor de nauwkeurigheid van de RTK-GPS (hoogtemeting 2020) wordt uitgegaan van ± 2 cm. Bij vergelijking van data van het AHN2 met de hoogtemeting dient rekening te worden gehouden met een fout van ± 15 cm (13+2 cm). Het berekende hoogteverschil dient dus groter dan 15 centimeter te zijn om met zekerheid te kunnen bepalen of er sprake is van bodemdaling.

Hoogteverschil tussen het AHN3 (2019) en de hoogtemeting (2020)

Het valt op dat de hoogtemetingen in 2020 consequent circa 10 centimeter afwijken in vergelijking met de AHN3 hoogte (2019) op dezelfde locatie (zie fig. 5.3 t/m 5.5 en fig. 5.8 en 5.9). Deze afwijking is waarschijnlijk te verklaren door:

- De onnauwkeurigheid van het AHN3.
- Het verschil in tijdsperiode van de meting (hoogtemeting in de zomer na een relatief lange droge periode en het AHN3 in de winterperiode) waardoor de processen krimp en zwel van de kleilagen de hoogteligging hebben beïnvloed.

Berekende hoogteverschillen locaties laagtes / wateroverlast

In aanvulling op de locaties van de boringen ter plaatse van historische hoogtepunten (TopHoogteMD) zijn een aantal boringen ter plaatse van laagtes/plekken met wateroverlast uitgevoerd. De hoogte in 1960 van deze boorpunten is bepaald door interpolatie van de beschikbare hoogtepunten. Hierdoor kunnen de berekende hoogteverschillen afwijken.

Locaties met 'maaiveldverhoging'

Bij een aantal boorpunten is een maaiveldstijging berekend of een hoogteverschil dat kleiner is dan de bodemdaling die verwacht wordt door compactie van het gasreservoir. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door de onnauwkeurigheid van de hoogtegegevens en foutmarge van de berekende hoogteverschillen. Op locatie Loppersum kan dit mogelijk mede worden veroorzaakt doordat op deze percelen grondbewerking en egalisatiewerkzaamheden zijn uitgevoerd.

Bodemdaling op basis van peilmerkbeweging

In dit onderzoek zijn de data van peilmerken uit de omgeving van de pilotlocaties bij Rijkswaterstaat opgevraagd en geanalyseerd. Opgemerkt wordt dat een gemeten peilmerkbeweging verschillende oorzaken kan hebben [20]:

- Daling van het object waaraan het peilmerk is bevestigd (bijvoorbeeld gebouw, brug, viaduct), doordat dit onder het eigen gewicht in de bodem wegzakt.
- Compactie in de ondiepe ondergrond door bijvoorbeeld aanpassing polderpeil of natuurlijke klink.
- Compactie in de diepe ondergrond (bijvoorbeeld gaswinning).
- Puntverwisseling bij de meting of verstoring van het peilmerk door bijvoorbeeld werkzaamheden.

Relatieve peilmerkdaling is dus niet altijd representatief voor bodemdaling door gaswinning [20]. Van de in dit onderzoek beschouwde peilmerken is niet bekend of deze stabiel zijn (gefundeerd in het Pleistocene zand). Vanuit de database van Rijkswaterstaat is deze informatie niet te herleiden.

Op basis van de hoogtes van de peilmerken kan een schatting van de beweging van de punten worden gemaakt. Hierbij dient te worden opgemerkt dat in 2005 het NAP-vlak is herzien wat tot een correctie van NAP-hoogtes heeft geleid [13]. In dit rapport is per locatie zowel de oude als het gecorrigeerde NAP-vlak weergegeven. In het voorbeeld van bijvoorbeeld punt 7E195 (zie tabel 5.3) betreft het twee hoogtes bij datum 1-8-1987: één is de oorspronkelijk in dat project berekende hoogte, de andere is de later berekende hoogte met het gecorrigeerde NAP-vlak. In dit geval is de hoogte NAP +1,2092 m de juiste hoogte (aangegeven met *). De hoogtes in het oude NAP-vlak geven een onnauwkeurige schattingen van de beweging [13].

Er worden publicabele en niet-publicabele peilmerken onderscheiden. De niet-publicabele peilmerken zijn peilmerken die (waarschijnlijk) nog steeds fysiek aanwezig zijn in het object, maar ze hebben geen actuele betrouwbare hoogte. De voornaamste reden om een punt op niet-publicabel te zetten is dat er geen nieuwe hoogte is berekend bij de aanpassing van het NAP-vlak in 2005. Toen zijn in principe alle peilmerken op niet-publicabel gezet, en zijn veel peilmerken opnieuw berekend met het nieuwe NAP-vlak [42].

Bodemdaling op basis van satellietmetingen (InSAR)

Met behulp van aardobservatietechnieken, zoals InSAR, kan ook informatie over bodemdaling worden verkregen. Hanssen (2015) onderzocht eerder de bodemdalingsvariabiliteit uit InSAR-data [28]. Uit de resultaten bleek dat er geen blijvende vervormingen van het maaiveld optraden als gevolg van het optreden van geïnduceerde aardbevingen. Uit het rapport en aanvullende informatie [29] is opgemaakt dat met deze gegevens geen hoogteverschillen op perceelsniveau kunnen worden aangetoond [29]. Anno 2021 is het nog niet mogelijk om met InSAR-satellieten bodemdaling van agrarische percelen op een betrouwbare manier te meten.

Via de de website Bodemdalingskaart.nl is openbare informatie over onder andere InSAR-metingen beschikbaar (alleen bebouwing en andere objecten). Voor de onderzoekslocaties kunnen meetpunten van respectievelijk de bedrijfsgebouwen (locatie Loppersum) en van een hoogspanningsmast (locatie Godlinze) via de website www.bodemdalingskaart.nl worden ingezien. Aangezien alleen data van gebouwen of objecten beschikbaar zijn, en specialistische kennis nodig is om een juiste interpretatie of analyse van deze data te doen [30], zijn deze data niet in dit onderzoek opgenomen en/of verder geanalyseerd.

Sinds 2003 wordt de InSAR-techniek ingezet door de NAM, tot 2013 in samenwerking met de Technische Universiteit Delft en sindsdien met een extern bedrijf. De InSAR metingen voor het monitoren van bodembeweging door gaswinning komen binnen de nauwkeurigheidsmarges goed overeen met waterpas- en GNSS-metingen (GPS-stations). In de toekomst beoogt de NAM InSAR te gebruiken als primaire monitoringstechniek, aangevuld met GNSS-metingen [41].

Grondwaterstanden in het verleden

Opgemerkt wordt dat meerjarige grondwaterstandsmetingen van beide locaties ontbreken. Derhalve kan niet worden beoordeeld of (permanente) grondwaterstandsverlaging heeft plaatsgevonden. Wel is bekend dat er op beide locaties in het verleden een peilverlaging is doorgevoerd.

5.3 Analyse bodemdaling pilotlocatie Loppersum

5.3.1 Hoogteverschil 1960 – 2020 op basis van TopHoogteMD en hoogtemeting

Op basis van de gemiddelde berekende hoogte tussen 1960 (TopHoogteMD) en 2020 (hoogtemeting met RTK-GPS) bedraagt het berekende hoogteverschil tussen 1960 en 2020 gemiddeld 40 cm. Door de onnauwkeurigheid dient rekening te worden gehouden met een minimale foutmarge van +/- 12 cm, maar deze is vermoedelijk groter door uitgevoerde grondbewerkingen en egalisatiewerkzaamheden.

De hieruit berekende gemiddelde daling tussen 1960 en 2020, uitgaande van een lineair verloop, is circa 7 mm per jaar (+/- minimaal 2 mm per jaar).

5.3.2 Hoogteverschil op basis van beoordeling NAP-peilmerken Rijkswaterstaat

In de nabijheid van locatie Loppersum zijn de hoogtes van de NAP-peilmerken van de locaties 7E176, 7E127 en 7E195 geanalyseerd. De ligging van deze NAP-peilmerken zijn weergegeven in figuur 5.1. NAP-peilmerken 7E126 en 7E122 liggen ook nabij de pilotlocatie, maar de data van deze peilmerken zijn niet-publicabel waardoor van deze locaties geen recente hoogtes beschikbaar zijn [13].



Fig. 5.1 Locaties peilmerken NAP omgeving pilotlocatie Loppersum [16]

De meetgegevens (hoogte in m NAP) van Rijkswaterstaat en de hieruit berekende gemiddelde jaarlijkse daling, uitgaande van een lineair verloop, zijn weergegeven in tabel 5.3. De berekende gemiddelde daling varieert van circa 6 tot circa 8 mm per jaar. De gemiddelde daling op basis van deze waarden is 6,5 mm per jaar uitgaande van de meest betrouwbare metingen (herziene NAP-hoogtes). Opgemerkt wordt dat deze peilmerk daling niet altijd representatief voor bodemdaling door gaswinning is.

Tabel 5.3. Hoogte en berekende gemiddelde bodemdaling peilmerken nabij locatie Loppersum

Peilmerk	Datum	Hoogte [m NAP]	Gem. daling per jaar [mm/jaar]
7E127	1-1-1962	1,214	6,7
7E127	11-7-2003	0,9348	
7E127*	1-8-1987	1,0335	6,5
7E127*	1-8-2018	0,8312	
7E176	1-1-1977	1,5565	7,9
7E176	11-7-2003	1,3461	
7E176*	1-8-1987	1,4448	6,8
7E176*	1-8-2018	1,2325	
7E195	1-8-1987	1,2176	6,3
7E195	11-7-2003	1,1175	
7E195*	1-8-1987	1,2092	6,1
7E195*	1-8-2018	1,021	

**In 2005 herziene NAP-hoogte die het meest nauwkeurig de bodembeweging van dit peilmerk weergeeft*

5.3.3 Bodemdaling op basis van informatie van de Nederlandse Aardolie Maatschappij
De Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) heeft kaarten met historische en toekomstige bodemdalingscontouren van het gaswinningsgebied online beschikbaar [14]. Op basis van deze kaarten is voor locatie Loppersum de opgetreden bodemdaling in de periode 1972 - 2013 in totaal circa 30 centimeter. De hieruit berekende gemiddelde jaarlijkse daling, uitgaande van een lineair verloop, bedraagt in deze periode 7,3 mm per jaar. Hierbij dient tevens rekening te worden gehouden met een onzekerheidsmarge.

Voor de periode 2013 tot 2080 is de (verwachte) bodemdaling 42 centimeter. De hieruit gemiddelde jaarlijkse daling, uitgaande van een lineair verloop, bedraagt 6,3 mm per jaar. Hierbij dient tevens rekening te worden gehouden met een onzekerheidsmarge.

Elke vijf jaar wordt door de NAM de bodemdalingsprognose geactualiseerd. De nieuwe prognose (december 2020) is vergelijkbaar met de prognose van 2015 [41].

Boven het Groningerveld zijn in 2013 en 2014 elf permanente GPS-stations geplaatst om bodemdaling te meten. Meetstation Stedum ligt het dichtste bij pilotlocatie Loppersum. De metingen van dit station tot en met 30 december 2020 zijn opgenomen in figuur 5.2.

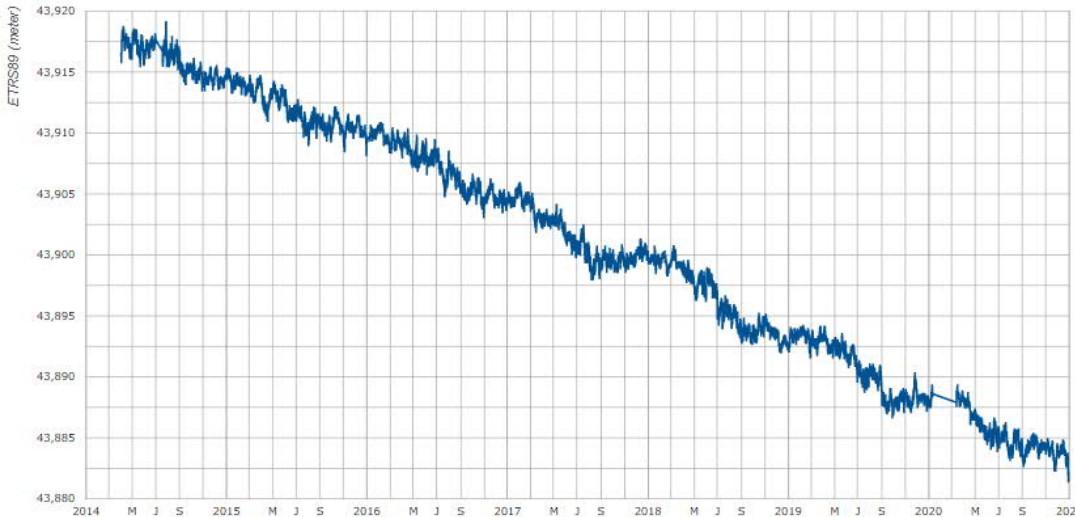


Fig. 5.2 GPS-metingen station Stedum periode 02-04-2014 - 30-12-2020 [14]

De meetgegevens van dit station zijn in 2016 geanalyseerd door de firma 06-GPS [15]. De resultaten van deze analyse zijn opgenomen in tabel 5.4. Nadien zijn geen vergelijkbare analyses van deze data beschikbaar.

Tabel 5.4 Bodemdalingsgegevens GPS station Stedum [15]

Monitoringsperiode	Absolute verticale beweging sinds start monitoring [mm]	Lin. Snelheid 31-12-16 over laatste 12 maanden [mm/jaar]	Standaardafw. Van snelheid [mm/jaar]
02-04-2014 tot 31-12-2016	-12,9	-6,4	0,4

Uit tabel 5.4 volgt een bodemdaling tussen 2 april 2014 en 31 december 2016 met een snelheid van 6,4 mm per jaar.

In het statusrapport Bodemdaling door gaswinning van de NAM [41] worden de tijdseries van deze metingen met de gemodelleerde bodemdaling plus onzekerheidsmarge, PS InSAR deformatiemetingen en beweging van nabije peilmerken met onzekerheidsmarge weergegeven. De tijdserie voor station Stedum is opgenomen in bijlage 7.

Op basis van de in deze tijdserie weergegeven gemodelleerde bodembeweging en onzekerheidsmarge is een bodembeweging tussen 2006 en 2020 afgeleid van gemiddeld circa 6 mm per jaar met een onzekerheidsmarge van +/- 3 mm per jaar.

5.3.4 Berekende hoogteverschillen tussen 1960 – 2020 per historische hoogte/boorpunt

Voor elk perceel van deze pilotlocatie zijn op basis van de hoogtes van de historische hoogtepunten (tevens de locaties van de meeste boringen) de hoogteverschillen ten opzichte van de hoogtes uit de jaren '60 berekend. Hiervoor zijn tevens de hoogtes op basis van het AHN1, 2 en 3 op deze meetpunten afgeleid.

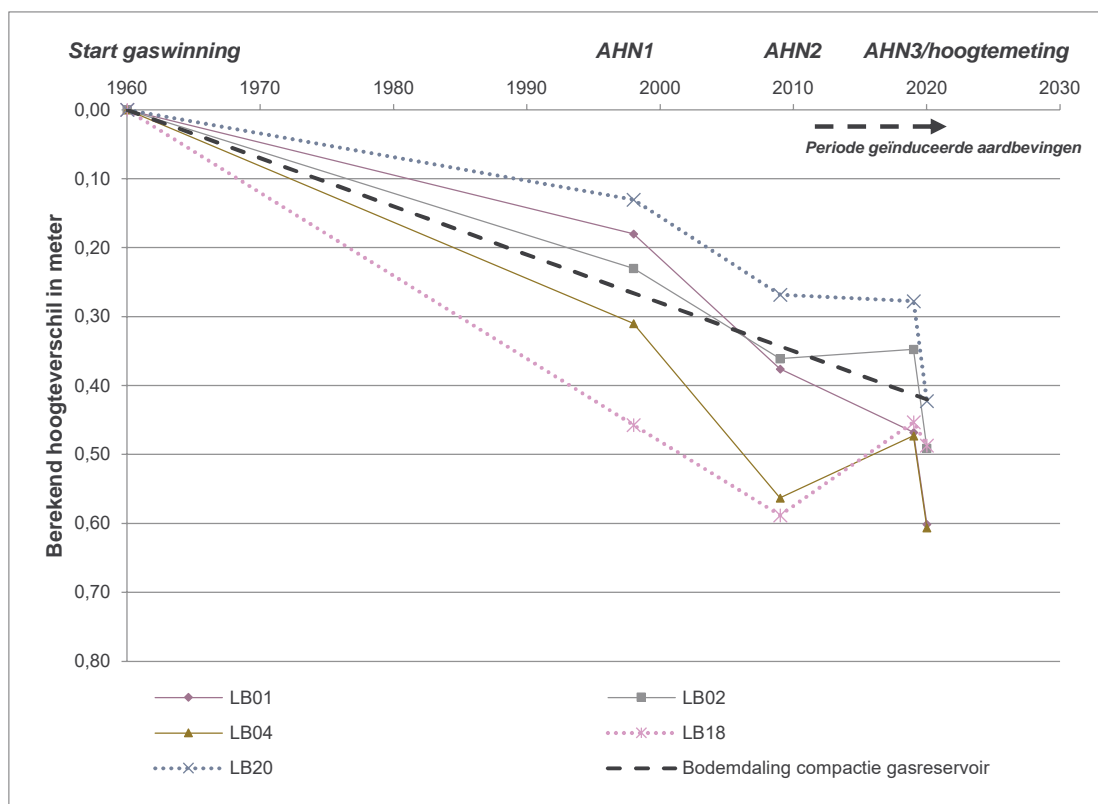
Opgemerkt wordt dat de in deze paragraaf gepresenteerde figuren de bandbreedtes door de onnauwkeurigheid en foutmarges van de berekende hoogteverschillen niet zijn opgenomen. Tevens zijn de punten op basis van een lineair verloop met elkaar verbonden wat niet representatief voor de werkelijkheid hoeft te zijn.

In figuur 5.3 is het verloop van het berekende hoogteverschil tussen 1960 en 2020 voor de meetpunten van perceel 1 weergegeven. In de figuur is tevens het verloop van de bodemdaling door compactie van het gasreservoir weergegeven, uitgaande van een gemiddelde jaarlijkse daling van 7 millimeter per jaar.

Uit figuur 5.3 (perceel 1) blijkt dat, behalve bij LB20, een groter hoogteverschil wordt berekend dan de bodemdaling door compactie van het gasreservoir. Het gemiddelde extra berekende hoogteverschil bedraagt 0,09 m.

Op basis van het hoogteverschil tussen het AHN2 en het AHN3 blijkt niet dat in de periode van de geïnduceerde aardbevingen (2012 tot heden) en de perioden dat de grondeigenaar wateroverlast heeft ervaren (2012 - 2018) het hoogteverschil opvallend is toegenomen. De meeste punten tonen tussen 2009 en 2019 een stabiel of stijgend verloop. Alleen LB01 vertoont een dalend verloop, maar deze is vergelijkbaar met de trend van de bodemdaling door compactie van het gasreservoir.

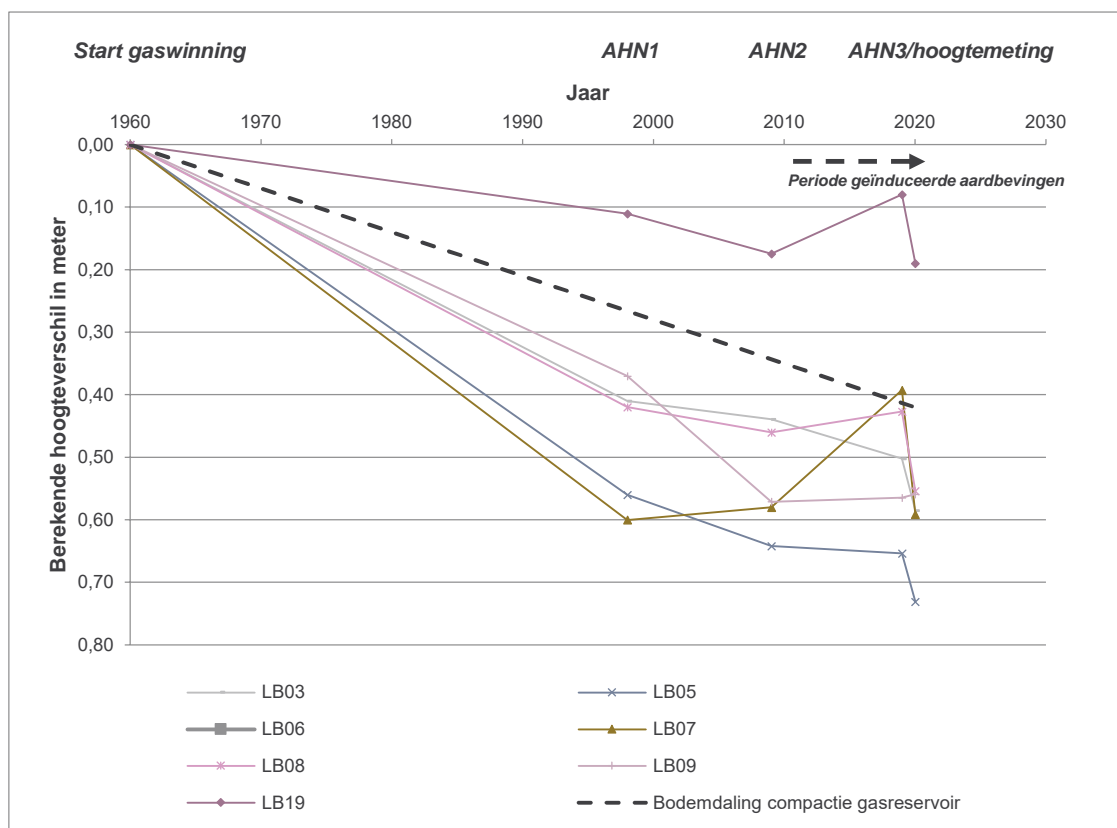
Opgemerkt wordt dat de berekende bodemdaling vanaf 1960 ter plaatse van boring LB18 en LB20 minder betrouwbaar zijn, omdat hier hoogtes ten tijde van de gaswinning zijn geïnterpoleerd.



Figuur 5.3 Berekend hoogteverschil boorpunten vanaf 1960 perceel 1 locatie Loppersum

In figuur 5.4 is het verloop van het berekende hoogteverschil tussen 1960 en 2020 voor de meetpunten van perceel 2 weergegeven. In de figuur is tevens het verloop van de bodemdaling door compactie van het gasreservoir weergegeven. Uit de figuur blijkt dat, behalve bij LB19, een groter hoogteverschil wordt berekend dan de bodemdaling door compactie van het gasreservoir. Het gemiddelde berekende extra hoogteverschil voor dit perceel tussen 1960 en 2020 bedraagt 0,05 m.

Op basis van het berekende hoogteverschil tussen het AHN2 en het AHN3 blijkt niet dat in de periode van de geïnduceerde aardbevingen (2012 tot heden) en de perioden dat de grondeigenaar wateroverlast heeft ervaren (2012 – 2018) het hoogteverschil opvallend is toegenomen. De meeste punten tonen een stabiel of stijgend verloop.

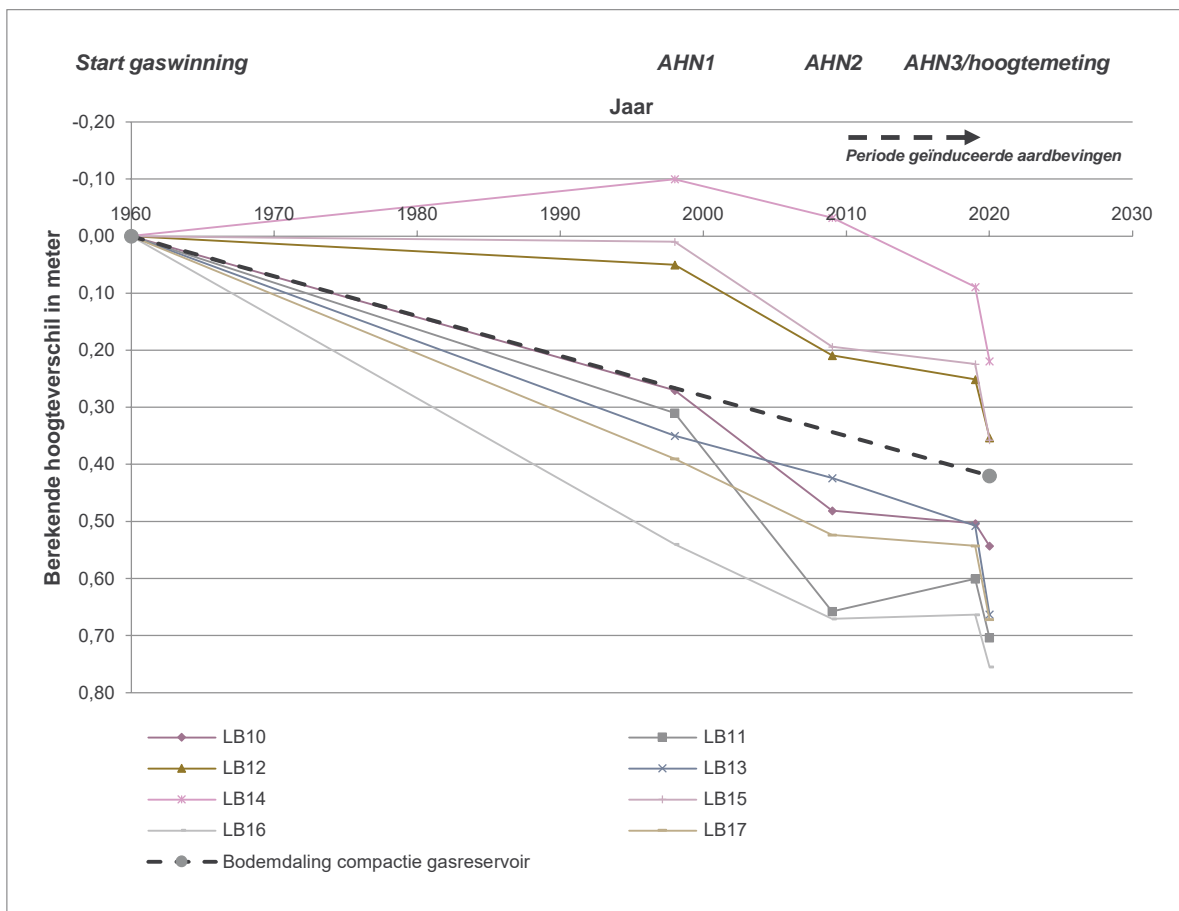


Figuur 5.4 Berekend hoogteverschil boorpunten vanaf 1960 perceel 2 locatie Loppersum

In figuur 5.5 is het verloop van het berekende hoogteverschil tussen 1960 en 2020 voor de meetpunten van perceel 3 weergegeven. In de figuur is tevens het verloop van de bodemdaling door compactie van het gasreservoir weergegeven.

Uit de figuur blijkt dat, behalve bij LB12, LB14 en LB15, een groter hoogteverschil wordt berekend dan de bodemdaling door compactie van het gasreservoir. Het gemiddelde extra berekende hoogteverschil voor dit perceel tussen 1960 en 2020 bedraagt 0,09 m.

Op basis van het berekende hoogteverschil tussen het AHN2 en het AHN3 blijkt niet dat in de periode van de geïnduceerde aardbevingen (2012 tot heden) en de perioden dat de grondeigenaar wateroverlast heeft ervaren (2012 – 2018) het hoogteverschil opvallend is toegenomen. De meeste punten lijken een stabiel of stijgend verloop te tonen.



Figuur 5.5 Berekend hoogteverschil boorpunten vanaf 1960 perceel 3 locatie Loppersum

5.3.5 Hoogteverschil en vergelijking bodemprofiel boringen ruilverkaveling

Op locatie Loppersum zijn boring LB25 t/m LB30 uitgevoerd ter plaatse van boringen die in het kader van de ruilverkaveling (1969) zijn uitgevoerd. Het berekende hoogteverschil tussen de gemeten hoogtes en de geïnterpoleerde Tophoogte voor deze boringen varieert van 0,34 tot 0,54 m. Gemiddeld is het berekende hoogteverschil vergelijkbaar met de bodemdaling door compactie van het gasreservoir.

In bijlage 5 zijn de boorprofielen van de ruilverkaveling vergeleken met de uitgevoerde boringen (tot 2 m) in 2020. Uit de vergelijking kan worden opgemaakt dat er verschillen in het bodemprofiel tussen 1969 en 2020 zitten. Deze kunnen met name worden verklaard door verschil in classificatie/waarnemingen van de bodemkarterder, variatie in bodemopbouw op korte afstand (de locaties van de boringen kunnen enkele meters afwijken) en grondbewerkingen die in de loop van de jaren zijn uitgevoerd.

De dikte van de teelaarde is niet opvallend veranderd wat er op zou kunnen duiden dat er tijdens en na de ruilverkaveling geen grootschalig grondverzet heeft plaatsgevonden. De geschatte doorlatendheid van de grondlagen wijkt beperkt af. Alleen bij boring LB25 is de huidige doorlatendheid van de grondlagen duidelijk lager beoordeeld in vergelijking met de doorlatendheid van de historische boring.

5.4 Analyse bodemdaling pilotlocatie Godlinze

5.4.1 Hoogteverschil 1960 – 2020 op basis van TopHoogteMD en hoogtemeting

Op basis van de gemiddelde berekende hoogte tussen 1960 (TopHoogteMD) en 2020 (hoogtemeting) bedraagt het berekende hoogteverschil tussen 1960 en 2020 gemiddeld circa 40 cm. Door de onnauwkeurigheid dient rekening te worden gehouden met een minimale foutmarge van +/- 12 cm. De hieruit berekende gemiddelde jaarlijkse daling, uitgaande van een lineair verloop, is circa 6 tot 7 mm per jaar (+/- 2 mm).

5.4.2 Hoogteverschil op basis van beoordeling NAP-peilmerken Rijkswaterstaat

In de nabijheid van locatie zijn de hoogtes van de NAP-peilmerken van de locaties 3G0172, 3G0175, 3G0177 en 3G0181 geanalyseerd. De ligging van deze NAP-peilmerken zijn weergegeven in figuur 5.6. Peilmerk 3G117 ligt ook in de omgeving van deze locatie, maar de data hiervan is niet-publicabel. Hiervan zijn geen recente hoogtes beschikbaar [13].



Fig. 5.6 Locaties peilmerken NAP omgeving locatie Godlinze [16]

De meetgegevens (hoogte in m NAP) van Rijkswaterstaat en de hieruit berekende jaarlijkse daling zijn weergegeven in tabel 5.5. De berekende gemiddelde daling varieert van circa 5,6 tot circa 7 mm, uitgaande van een lineair verloop. De data van 003G177 wijken opvallend af en zijn bovendien in een kortere tijd gemeten. Zonder beschouwing van peilmerk 003G0177 is de gemiddelde berekende daling 6,1 mm per jaar uitgaande van de meest nauwkeurige metingen (herziene NAP-hoogtes). Opgemerkt wordt dat deze peilmerkdaling niet altijd representatief voor bodemdaling door gaswinning is.

Tabel 5.5. Hoogte en berekende gemiddelde bodemdaling peilmerken nabij locatie Godlinze

Peilmerk	Datum	Hoogte [m NAP]	Gem. daling per jaar [mm/jaar]
003G0172	1-8-1987	1,5979	7,0
003G0172	11-7-2003	1,4869	
003G0172*	1-8-1987	1,5891	6,1
003G0172*	1-8-2018	1,3996	
003G0175	1-8-1987	1,4841	5,9
003G0175	5-6-1998	1,4203	
003G0175*	1-8-1987	1,4752	5,6
003G0175*	1-8-2018	1,3017	
003G0177	1-5-1989	1,0802	3,2
003G0177	21-4-1994	1,0641	
003G0177*	8-5-1989	1,0721	3,2
003G0177*	21-4-1994	1,0563	
003G0181	15-5-1991	0,7923	6,5
003G0181	11-7-2003	0,7134	
003G0181*	13-5-1991	0,7844	6,6
003G0181*	12-7-2003	0,7035	

**In 2005 herziene NAP-hoogte die het meest nauwkeurig de bodembeweging van dit peilmerk weergeeft*

5.4.3 Bodemdaling op basis van informatie van de Nederlandse Aardolie Maatschappij
De Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) heeft kaarten met historische en toekomstige bodemdalingscontouren van het gaswinningsgebied online beschikbaar [14]. Voor Godlinze is de historische bodemdaling in de periode 1972 - 2013 circa 26 centimeter. De hieruit berekende gemiddelde jaarlijkse daling, uitgaande van een lineair verloop, bedraagt circa 6,3 mm per jaar. Hierbij dient tevens rekening te worden gehouden met een onzekerheidsmarge.

Voor de periode 2013 tot 2080 is de voorspelde bodemdaling 34 centimeter. De hieruit berekende gemiddelde jaarlijkse daling, uitgaande van een lineair verloop, bedraagt circa 5,3 mm per jaar. Hierbij dient tevens rekening te worden gehouden met een onzekerheidsmarge.

Elke vijf jaar wordt door de NAM de bodemdalingsprognose geactualiseerd. De nieuwe prognose (december 2020) is vergelijkbaar met de prognose van 2015 [41]. Boven het Groningerveld zijn in 2013 en 2014 elf permanente GPS stations geplaatst. Meetstation 't Zandt ligt het dichtste bij locatie Godlinze. De metingen van dit station van de periode 23 februari 2014 tot 30 december 2020 zijn opgenomen in figuur 5.7.

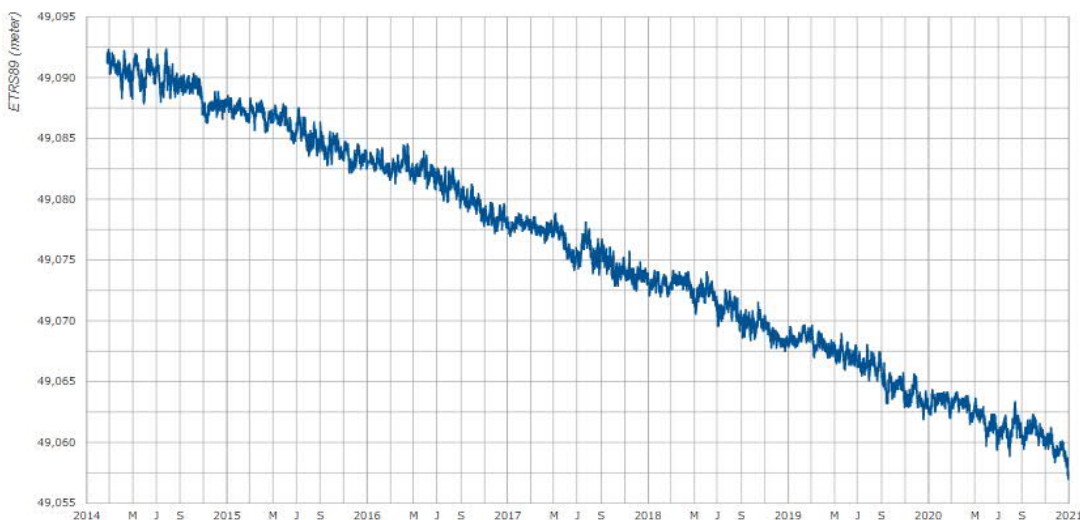


Fig. 5.7 GPS-metingen 23-02-2014 tot 30-12-2020 station 't Zandt [14]

De meetgegevens zijn in 2016 geanalyseerd door de firma 06-GPS [15]. De resultaten van deze analyse zijn opgenomen in tabel 5.6. Nadien zijn geen vergelijkbare analyses van deze data beschikbaar.

Tabel 5.6 Bodemdalingsgegevens GPS station 't Zandt [15]

Monitoringsperiode	Absolute verticale beweging sinds start monitoring [mm]	Lin. Snelheid 31-12-16 over laatste 12 maanden [mm/jaar]	Standaardafw. Van snelheid [mm/jaar]
23-02-2014 tot 31-12-2016	-12,7	-5,5	0,3

Uit tabel 5.6 volgt een bodemdaling tussen 23 februari 2014 en 31 december 2016 met een snelheid van 5,5 mm per jaar.

In het statusrapport Bodemdaling door gaswinning van de NAM [41] worden de tijdseries van deze metingen met de gemodelleerde bodemdaling plus onzekerheidsmarge, PS-InSAR deformatiemetingen en beweging van nabije peilmerken met onzekerheidsmarge weergegeven. De tijdserie voor station 't Zandt is opgenomen in bijlage 7. Op basis van de in deze tijdserie weergegeven gemodelleerde bodembeweging en onzekerheidsmarge is een bodembeweging tussen 2006 en 2020 afgeleid van gemiddeld circa 6 mm per jaar met een onzekerheidsmarge van +/- 3 mm per jaar.

5.4.4 Berekende hoogteverschillen tussen 1960 – 2020 per historische hoogte/boorpunt

Voor beide percelen van deze pilotlocatie zijn op basis van de hoogtes van de oude hoogtmetingen (tevens de locaties van de meeste boringen) de hoogteverschillen met hoogtes uit de jaren '60 berekend.

Opgemerkt wordt dat de in deze paragraaf gepresenteerde figuren de bandbreedtes door de onnauwkeurigheid en foutmarges van de berekende hoogteverschillen niet zijn opgenomen. Tevens zijn de punten op basis van een lineair verloop met elkaar verbonden wat niet representatief voor de werkelijkheid hoeft te zijn.

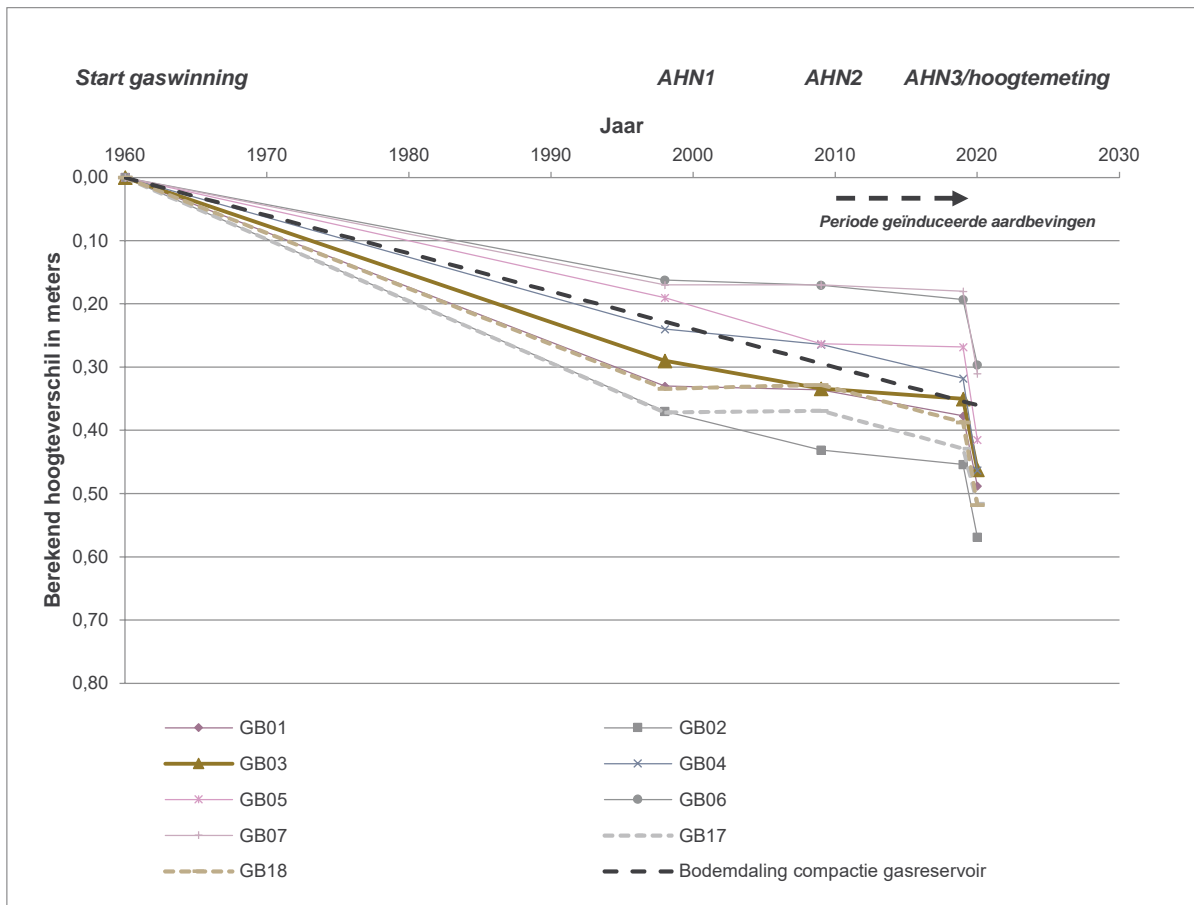
In figuur 5.8 is het verloop van het berekende hoogteverschil per meetpunt/boring tussen 1960 en 2020 voor perceel 1 van locatie Godlinze weergegeven. In de figuur is tevens het verloop van de bodemdaling door compactie van het gasreservoir weergegeven uitgaande van een gemiddelde jaarlijkse daling van 6 millimeter per jaar.

Uit de figuur blijkt dat bij een aantal punten een groter hoogteverschil wordt berekend dan de bodemdaling door compactie van het gasreservoir en op een aantal plekken een kleiner hoogteverschil.

Bij de boringen in de laagtes (GB17 en GB18) is wel een groter hoogteverschil berekend dan de bodemdaling door compactie van het gasreservoir. Echter zien we dat deze punten ook voor de periode van de bevingen (2012) een groter hoogteverschil laten zien en de omvang van de bodemdaling vergelijkbaar is met de diepe bodemdaling door compactie van het gasreservoir.

Het gemiddelde berekende extra hoogteverschil voor dit perceel tussen 1960 en 2020 bedraagt 0,09 m.

Op basis van het berekende hoogteverschil tussen het AHN2 en het AHN3 blijkt niet dat in de periode van de geïnduceerde aardbevingen (2012 tot heden) het hoogteverschil opvallend is toegenomen. De meeste punten lijken tonen een stabiel of dalend verloop dat vergelijkbaar is met de daling door compactie van het gasreservoir.



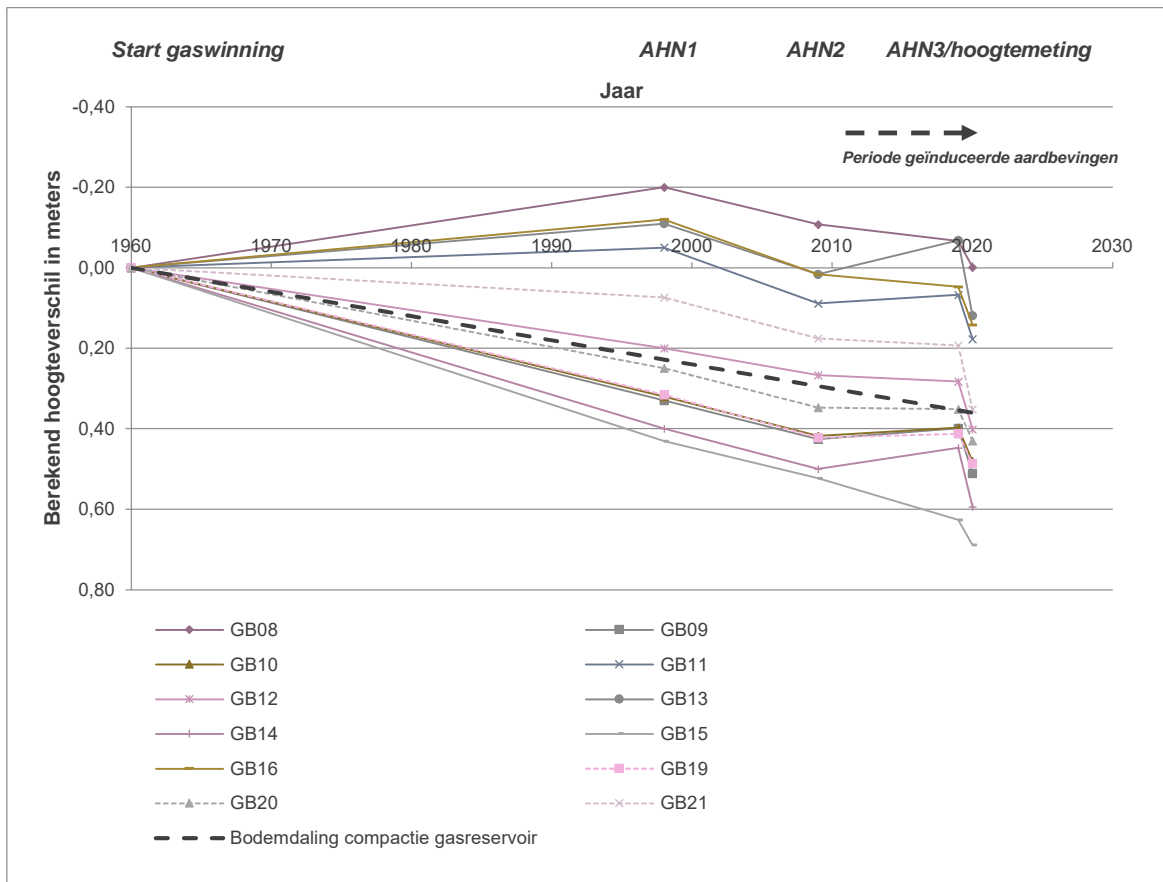
Figuur 5.8. Berekend hoogteverschil boorpunten vanaf 1960 perceel 1 locatie Godlinze

In figuur 5.9 is het verloop van het berekende hoogteverschil tussen 1960 en 2020 voor perceel 2 van locatie Godlinze weergegeven. In de figuur is tevens het verloop van de bodemdaling door compactie van het gasreservoir weergegeven uitgaande van een gemiddelde jaarlijkse daling van 6 millimeter per jaar.

Uit de figuur blijkt dat bij een aantal punten een groter hoogteverschil wordt berekend dan de bodemdaling door compactie van het gasreservoir en op een aantal plekken een kleiner hoogteverschil.

Bij de boringen in de laagtes (GB19 en GB20) is wel een groter hoogteverschil berekend dan de bodemdaling door compactie van het gasreservoir. Echter zien we dat deze punten ook voor de periode van de bevingen (voor 2012) een groter hoogteverschil laten zien. Uit de metingen op perceel 2 blijkt niet dat in de periode van de geïnduceerde aardbevingen (2012 tot heden) het hoogteverschil opvallend is toegenomen. De meeste punten lijken een stabiel of stijgend verloop te tonen.

Er is gemiddeld genomen geen extra bodemdaling berekend ten opzichte van de bodemdaling door compactie van het gasreservoir.



Figuur 5.9 Berekend hoogteverschil boorpunten vanaf 1960 perceel 2 locatie Godlinze

5.5 Beoordeling (toename) van ongelijkmatigheid van de percelen

Om de mogelijke toename van ongelijkmatige zakking van de percelen als gevolg van geïnduceerde aardbevingen te beoordelen zijn per locatie de actuele vlakteligging, het verschil tussen het AHN2 (hoogteopname 2009 voor de toename van het aantal bevingen) en de gemeten hoogtes met RTK-GPS, en de resultaten van de vlakteligging van de gemeten drainagebuizen beoordeeld.

5.5.1 Locatie Loppersum

Actuele vlakteligging (augustus 2020)

In figuur 5.10 is een kaart weergegeven met de interpolatie van de hoogtemetingen van locatie Loppersum (op schaal weergegeven in bijlage 4) waardoor een vlakdekkend beeld wordt verkregen van actuele hoogteverschillen in de percelen (situatie augustus 2020). Uit deze figuur kan worden opgemaakt dat er met name in perceel 1 hoogteverschillen zichtbaar zijn. Binnen perceel 2 zijn de hoogteverschillen beperkt. Alleen aan de zuidwestzijde zijn lokaal lagere plekken zichtbaar (lichter geel) en ten zuidwesten van de bedrijfsgebouwen liggen enkele hogere delen (donkeroranje). Ook op perceel 3 zijn lokaal hoogteverschillen waar te nemen. Zoals eerder aangegeven is de actuele vlakteligging van deze pilotlocatie beïnvloed door grondbewerking en egalisatiewerkzaamheden, waardoor eventuele effecten op de vlakteligging als van bodemdaling door gaswinning en geïnduceerde aardbevingen niet aan maaiveld zijn te bepalen.

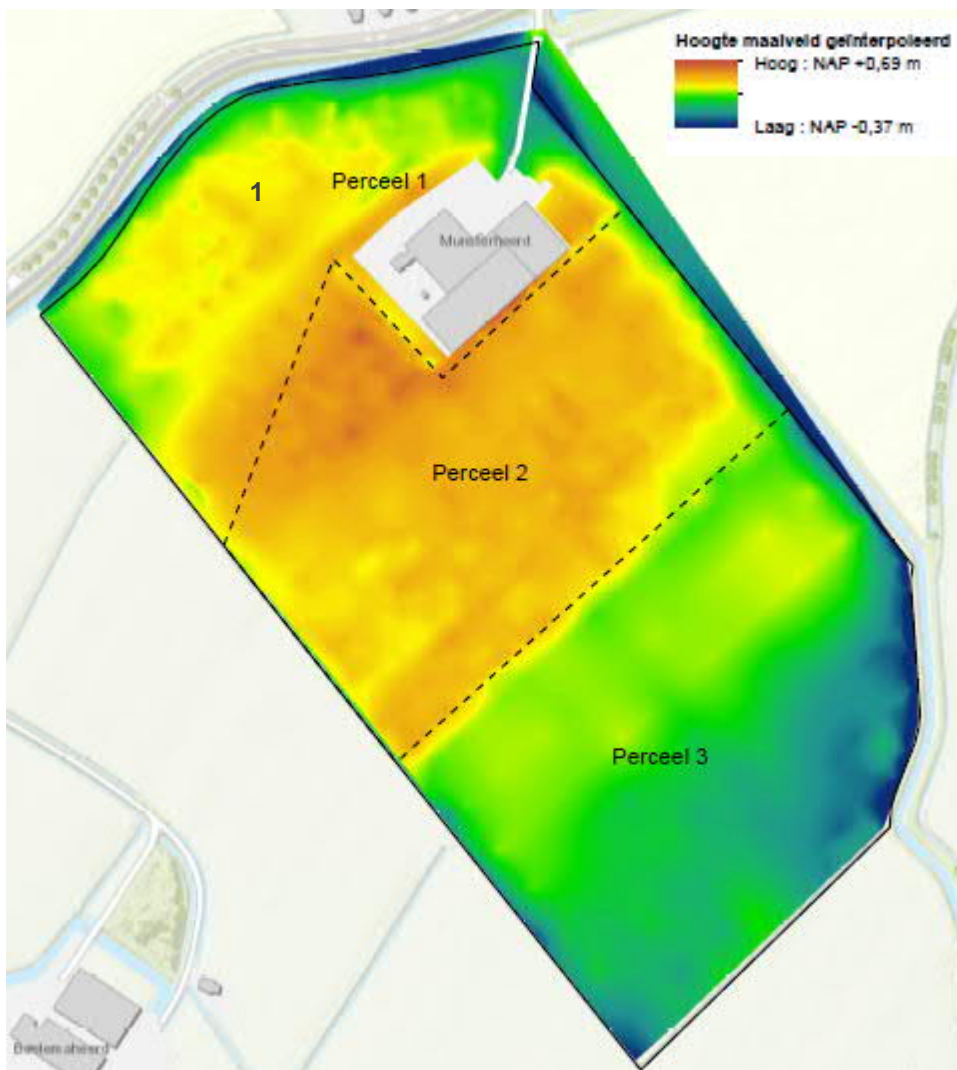


Fig. 5.10 Geïnterpoleerde hoogtekaart locatie Loppersum op basis van hoogtemetingen 2020

Verskil tussen het AHN2 (2009) en de gemeten hoogtes met RTK-GPS (2020)

Om inzicht te krijgen in het effect van geïnduceerde aardbevingen op de vlakteligging is de geïnterpoleerde hoogtekaart van de hoogtemetingen in 2020 vergeleken met de data van het AHN-2 (2009). De hoogteverschilkaart op basis van deze geïnterpoleerde data is weergegeven in figuur 5.11 (en op schaal in bijlage 6). Ook zijn de hoogtemetingen op puntniveau vergeleken met de AHN2. Deze resultaten zijn opgenomen in figuur 5.12 (en op schaal in bijlage 6).

Uit figuur 5.11 is op te maken dat de berekende hoogteverschillen sterk variëren. Er is sprake van significante bodemdaling (vanwege onnauwkeurigheid en fouten) als het berekende hoogteverschil groter is dan 0,15 m. Bovendien is op deze locatie in de periode 2009 en 2020 ook bodemdaling door compactie van het gasreservoir opgetreden. Uitgaande van 6,3 mm per jaar (data NAM) bedraagt deze bodemdaling in de periode 2009 en 2020 in totaal circa 7 cm. Het berekende hoogteverschil dient derhalve minimaal circa 22 centimeter zijn om met zekerheid te zeggen dat het maaiveld tussen 2009 en 2020 is gedaald door andere oorzaken dan bodemdaling door compactie van het gasreservoir.

Deze delen van de percelen zijn rood gekleurd in figuur 5.11. Deze delen komen beperkt overeen met de delen waar de grondeigenaar wateroverlast ervaart.

Bij deze locatie dient echter te worden benadrukt dat de berekende hoogteverschillen ook beïnvloed zijn door grondbewerking en egalisatie van de percelen. Bovendien kan het berekende hoogteverschil beïnvloed zijn door het verschil in periode van de uitvoering van de hoogtemetingen. Derhalve kunnen voor deze locatie geen betrouwbare conclusies worden getrokken op basis van de hoogtegegevens van het AHN2 en de hoogtemetingen met RTK-GPS.

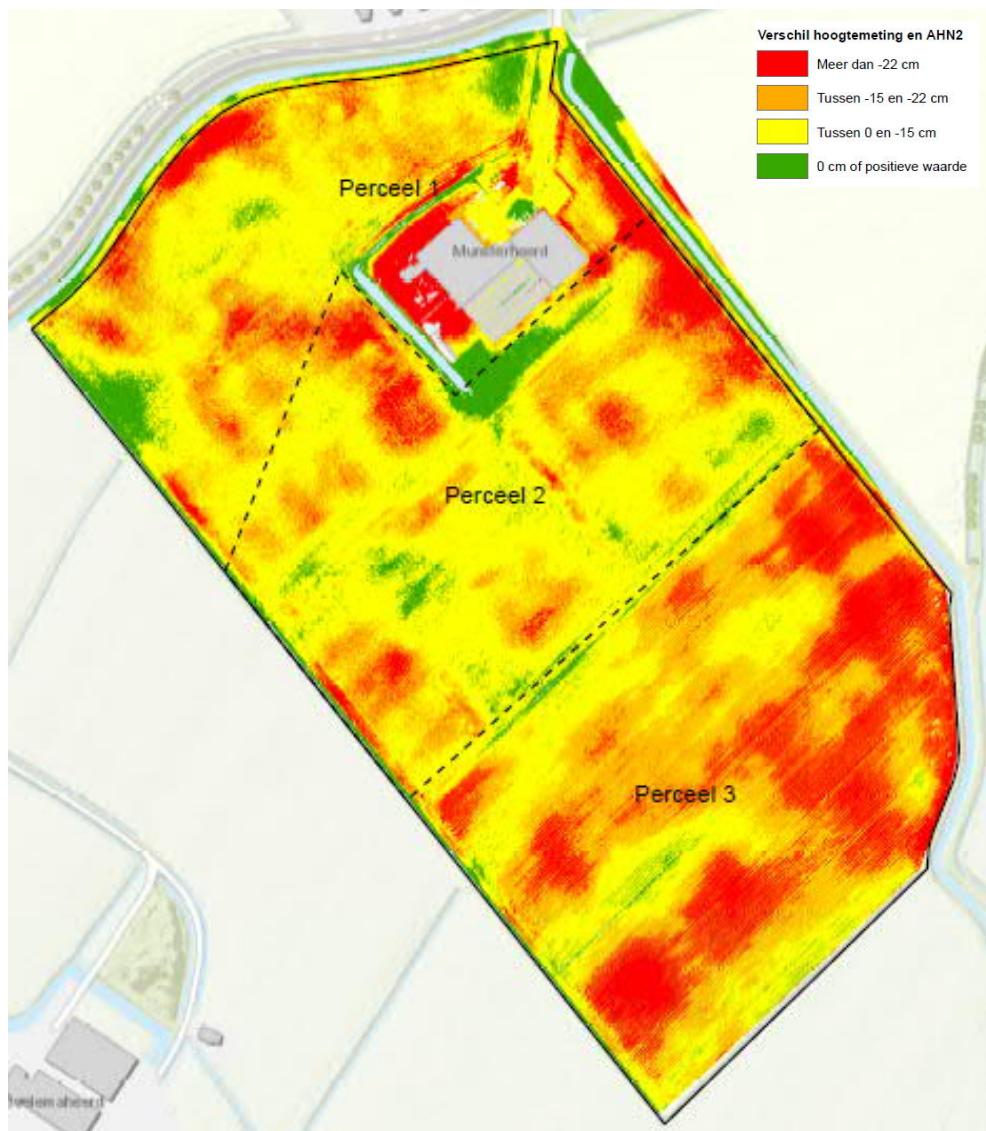


Fig. 5.11 Kaart berekend hoogteverschil geïnterpoleerde hoogtemetingen 2020 en AHN-2 (2009)



Fig. 5.12 Kaart met berekend hoogteverschil hoogtemeting 2020 en AHN-2 (2009) op meetpuntniveau

Beoordeling resultaten vlakteliggings drainagemetingen

Alle meetresultaten van de vlakteliggings van de drainage voor locatie Loppersum zijn opgenomen in bijlage 11. Uit de meetresultaten is op te maken dat alle gemeten drains onder enige afschot naar de sloten liggen. Er zijn op basis van de meetresultaten geen duidelijke lagere delen (verzakkingen) in de drains zichtbaar. Wel zijn bij een aantal drains zoals drain ex2 en drain 9 lokale verhogingen in de drain gemeten. Mogelijke oorzaken hiervoor zijn de aanwezigheid van slib/kleiresten in de drainbuis of dat bij de aanleg het V- vormige woellichaam van de sleufloze draineermachine een lagere weerstand in de bodem ondervond door lokale verschillen in bodemgesteldheid of voormalige dempingen van greppels en/of een uitgevoerde egalisatie.

Theoretisch is een lokale stijging als gevolg van een geïnduceerde aardbeving mogelijk door geringe verweking en wateroverspanning, waardoor eventuele lichtere toplagen zouden kunnen gaan opdrijven. Of dit daadwerkelijk het geval is dient nader te worden verkend.

Mogelijke oorzaken van slib (vervuiling) in drain na aanleg zijn [43]:

- Wanneer de drainage bij een hoge grondwaterstand of zelfs onder water wordt aangelegd, is de kans op inspoeling van bodemdelen duidelijk aanwezig. Zo kan op korte termijn na de aanleg reeds vervuiling optreden. De mate van vervuiling is daarbij sterk afhankelijk van de grootte van de bodemdelen en de grondwaterstand.
- De vervuiling kan ook plaatselijk zijn, omdat de samenstelling van de bodem, op draandiepte in de lengte richting van de drain kan variëren.
- De fijnheid van gebruikte filters (omhullingsmateriaal) landbouwdrainage, speelt bij de kans op inspoeling slechts een beperkte rol. De O90 waarde van het filter met de fijnste dichtheid is vaak 450. Dit betekent dat meer dan 90 % van bodemdelen > 450 mu door het filter worden gekeerd. Ingespoelde bodemdelen zijn vaak < 450 mu, terwijl de fractie < 50 mu zich het gemakkelijkst laat verwijderen uit de drain. Voor de overige fracties het belangrijkste deel vaak tussen de 50 en 105 mu. Voor overige fracties is het vaak een zaak van 'egalisatie' van bodemdelen in de drainbuis over een grotere afstand.

Mogelijke oorzaken van slib (vervuiling) in drain in de loop van de tijd zijn [43]:

- Bij het reinigen van de drain mag geen hoge druk worden gebruikt. Hierdoor wordt voorkomen de bodem rondom de drain weer wordt los gespoeld en zich in de drain afzet. Deze kans is groter wanneer oorspronkelijk een organisch filter is gebruikt wat in een kalkrijke bodem is verteerd.
- De kans op vervuiling is het grootst in de eerste jaren direct na de aanleg.
- Wanneer na verloop van jaren de drainerende werking achteruit gaat kan dit zijn als gevolg van een zich langzaam afzettende sliblaag in de buis en/of het omringende filter.

Bij drain 9 in perceel kan de hoogteligging tussen circa 65 en 85 meter zijn beïnvloed door oude slootdempingen/gedempte greppels (zie figuur 5.15). Ook bij drain 4 kan de hoogteligging tussen circa 65 en 75 meter zijn beïnvloed door een oude slootdemping/gedempte greppel (zie figuur 5.15). Uit figuur 5.15 kan worden opgemaakt dat de behaalde gemeten drainlengte van drain 3 en 8 mogelijk mede is beperkt door stagnatie als gevolg van een slootdemping/gedempte greppel.

Op elke gemeten drain is een analyse van de vlakteligging uitgevoerd door het beoordelen van het risico op luchtinsluiting als gevolg van mogelijke ongelijkmatige zakking. In figuur 5.13 en 5.14 zijn de resultaten van twee drains (drain 9 van perceel 1 en drain 4 van perceel 2) gepresenteerd. De resultaten van deze analyse voor alle gemeten drains zijn opgenomen in bijlage 12.

Bij drain 3, 4 en 7 is de eerste meting vanaf de sloot (intredepunt) niet meegenomen in de beoordeling van het risico op luchtinsluiting vanwege de afwijkende hoogte die hier gemeten is. Vermoedelijk is dit een meting in de eindbuis die mogelijk lager door het afloop naar de sloot en derhalve niet representatief voor de drain. Dit is vermoedelijk op deze wijze aangelegd.

In figuur 5.13 en 5.14 is de gemeten hoogte van de drain weergegeven (Hoogte Drainage). Van deze metingen is een trendlijn (stippellijn) bepaald uitgaande van een lineair verloop (aangeduid als Lineair Hoogte Drainage) waarmee vervolgens de bandbreedte (eis vlakteligging drain min = grijze gestreepte lijn en de eis vlakteligging drain max = blauw gestreepte lijn) van de toegestane afwijking om luchtinsluiting te voorkomen is bepaald. Hierbij is uitgegaan van een buitendiameter van de drain van 60 mm en een wanddikte van de drain van 3,5 mm.

Opgemerkt wordt dat de resultaten van de metingen sterk gecomprimeerd zijn weergegeven. De millimeters in het verticale vlak staan in verhouding tot tientallen meters op het horizontale vlak. Dit geeft een overdreven inzicht ten aanzien van de toegestane afwijking.

Uit figuur 5.13 kan worden opgemaakt dat de drain niet aan de vlakheidseis voldoet om luchtinsluiting te voorkomen. Het gemeten traject van 25 tot 40 en van 130 tot 140 m ligt hoger dan de gemiddeld berekende trendlijn en daarop gebaseerde maximale eis voor de vlakteligging.

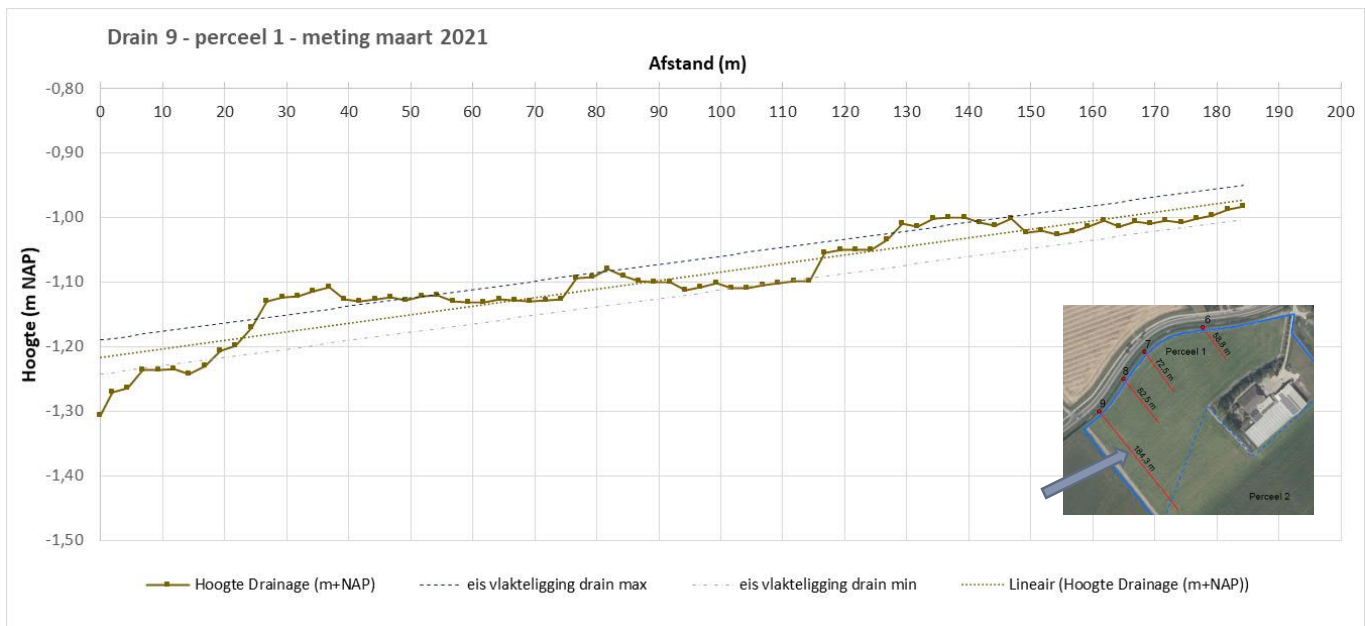


Fig. 5.13 Meting drain 9 perceel 1 en beoordeling risico op luchtinsluiting (toetsing vlakheidseis)

In figuur 5.14 is het resultaat van drain 4 (perceel 2) weergegeven. Uit deze figuur kan worden opgemaakt dat het gemeten deel van drain aan de vlakheidseis voldoet. Het traject tussen 60 en 70 m ligt gemiddeld wel lager. Een mogelijke verklaring hiervoor is het effect van een slootdemping/gedempte greppel (nazakking).

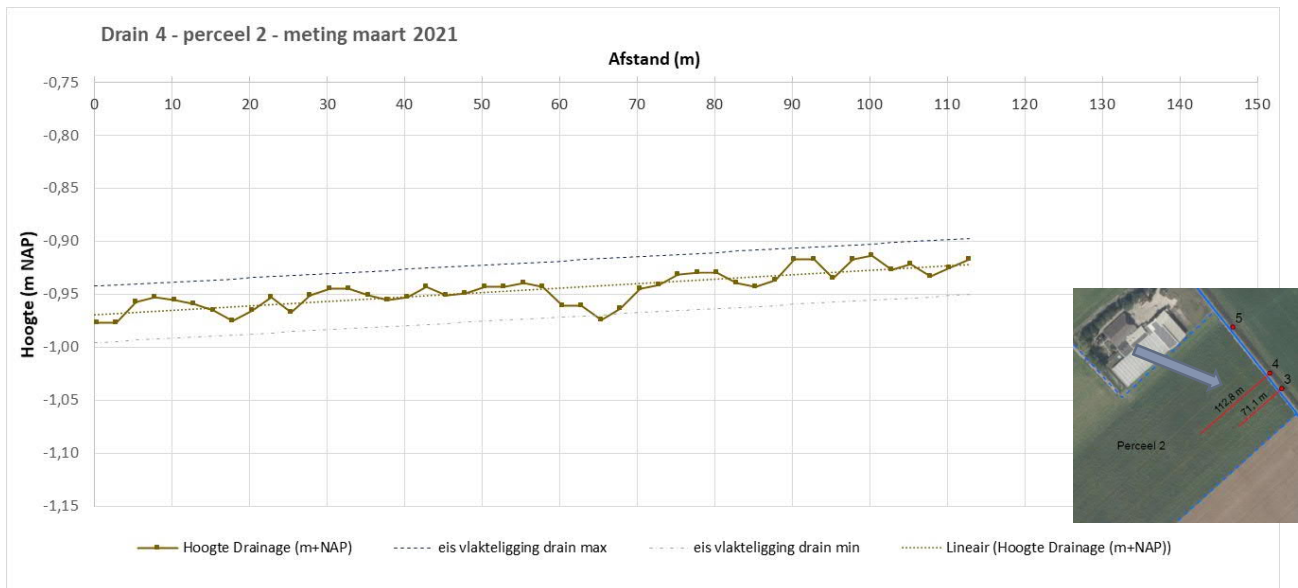


Fig. 5.14 Meting drain 4 perceel 1 en beoordeling risico op luchtinsluiting (toetsing vlakheidseis)

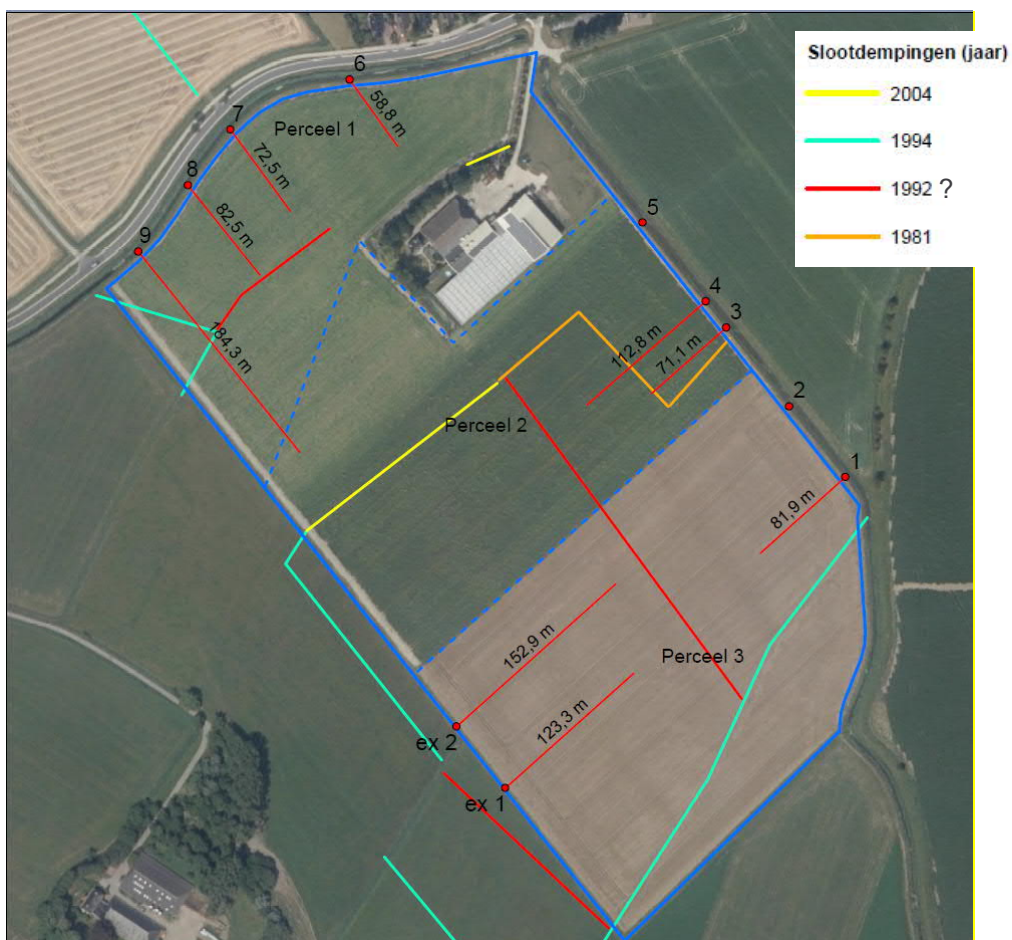


Fig. 5.15 Indicatieve locaties 'slootdempingen' en gemeten drains locatie Loppersum. Op basis van informatie van de grondeigenaar betreft het mogelijk geen sloten maar mogelijk grote greppels. Of de gedempte sloot/greppel van 1992 aanwezig was is onzeker omdat deze niet aanwezig is op kaarten van voor 1981.

Bij de meest recent aangelegde drains uit 2014 (drain ex1 en ex2) op perceel 3 zijn geen verzakkingen in de drains gemeten. Wel is bij drain ex2 op perceel 3 in het traject tussen 45 en 70 m een lokale verhoging gemeten. Mogelijke oorzaken hiervoor zijn de aanwezigheid van slib/kleiresten in de drainbuis of dat bij de aanleg het V- vormige woellichaam van de sleufloze draineermachine een lagere weerstand in de bodem ondervond door lokale verschillen in bodemgesteldheid of voormalige dempingen van greppels en/of een uitgevoerde egalisatie.

5.5.2 Locatie Godlinze

Actuele vlakteligging (augustus 2020)

In figuur 5.16 is de kaart met de interpolatie van de hoogtemetingen van locatie Godlinze weergegeven. Hierdoor is vlakdekkend beeld verkregen van de hoogteverschillen in de percelen. Uit figuur 5.16 kan worden opgemaakt dat er hoogteverschillen in zowel perceel 1 als 2 aanwezig zijn. Op perceel 1 liggen vooral de randen van de percelen wat hoger.

Het middendeel van het noordelijke deel en het zuidoostelijke deel liggen duidelijk lager. Op perceel 2 ligt de zuidwestelijke zijde hoger. Het centrale deel ligt duidelijk lager. Tevens zijn er enkele lijnpatronen zichtbaar. Uit de metingen volgt dat er derhalve sprake van ongelijkmatigheid van het maaiveld van beide percelen.

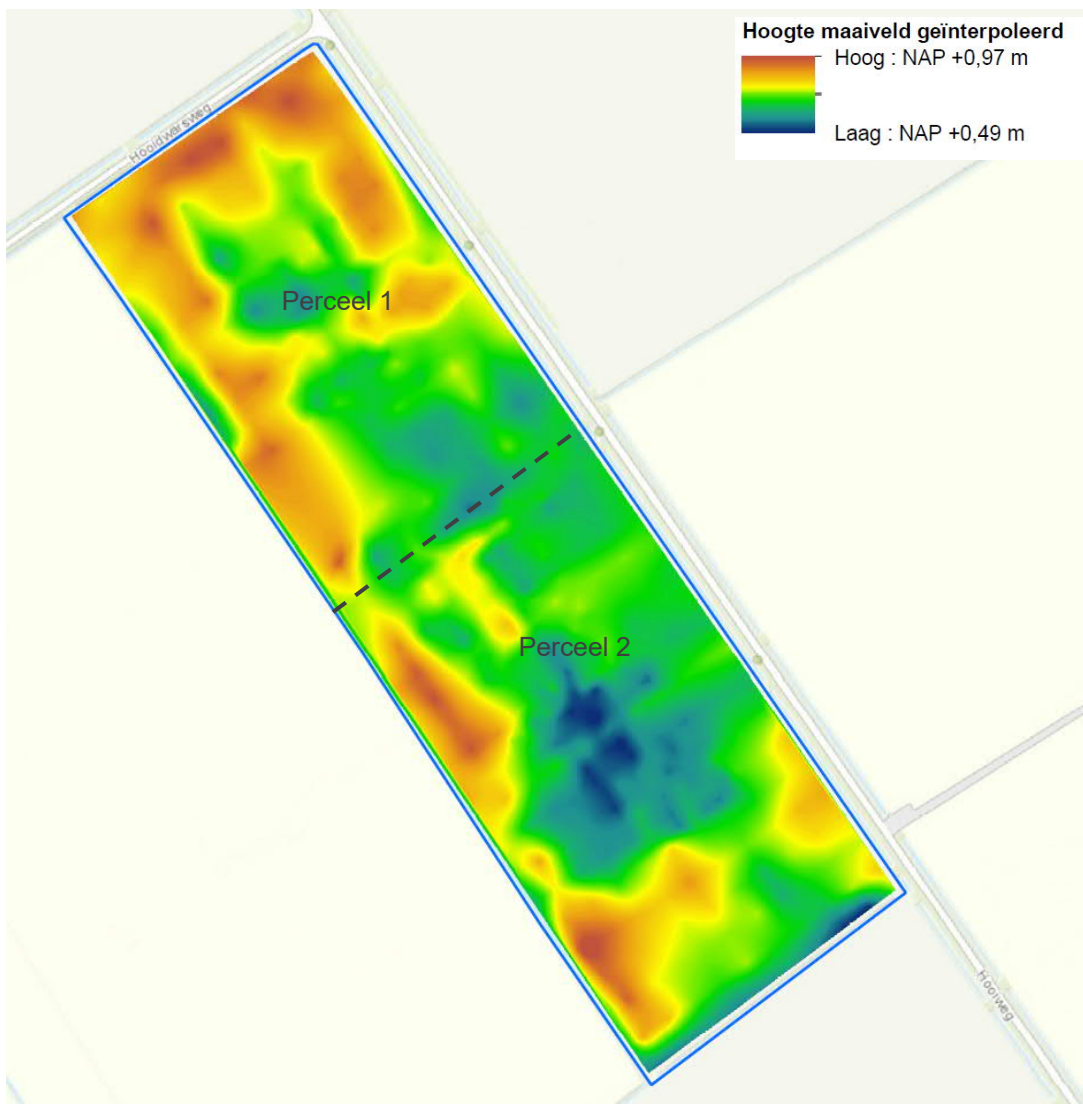


Fig. 5.16 Geïnterpoleerde hoogtekaart locatie Godlinze op basis van hoogtemetingen 2020\

Vershil tussen het AHN2 (2009) en de gemeten hoogtes met RTK-GPS (2020)

Om inzicht te krijgen in het effect van geïnduceerde aardbevingen op de vlakteligging van het maaiveld is de geïnterpoleerde hoogtekaart van de hoogtemetingen in 2020 vergeleken met de data van het AHN2 (2009). De hoogteverschilkaart op basis van deze data is weergegeven in figuur 5.17 (en op schaal in bijlage 6). Ook zijn de hoogtemetingen op meetpuntniveau vergeleken met de AHN2. Deze resultaten zijn opgenomen in figuur 5.18.

De berekende hoogteverschillen liggen overwegend in de range van 0 tot 15 centimeter. Er is sprake van significante bodemdaling als het berekende hoogteverschil groter is dan 0,15 m (vanwege onnauwkeurigheid en fouten). Bovendien is in de periode 2009 en 2020 ook bodemdaling door compactie van het gasreservoir op deze locatie opgetreden.

Uitgaande van 5,3 mm per jaar (data NAM) bedraagt deze bodemdaling in de periode 2009 – 2020 in totaal circa 6 cm. Het berekende hoogteverschil tussen de AHN2 en de hoogtemeting in 2020 dient derhalve minimaal circa 21 centimeter te zijn om met zekerheid te kunnen aangeven of delen van de percelen door andere oorzaken ongelijkmatig zijn gedaald.

De locaties met een berekend hoogteverschil groter dan 21 centimeter tussen 2009 en 2020 zijn met rood weergegeven in figuur 5.17 en 5.18. Dit betreft een beperkt aantal plekken/meetpunten, voornamelijk langs de randen van het perceel en in het deel tussen perceel 1 en 2 (rondom de gedempte sloot). Uit deze vergelijking kan niet worden aangetoond dat in de percelen de ongelijkmatigheid is toegenomen of dat er een golvend verloop van het maaiveld is ontstaan.

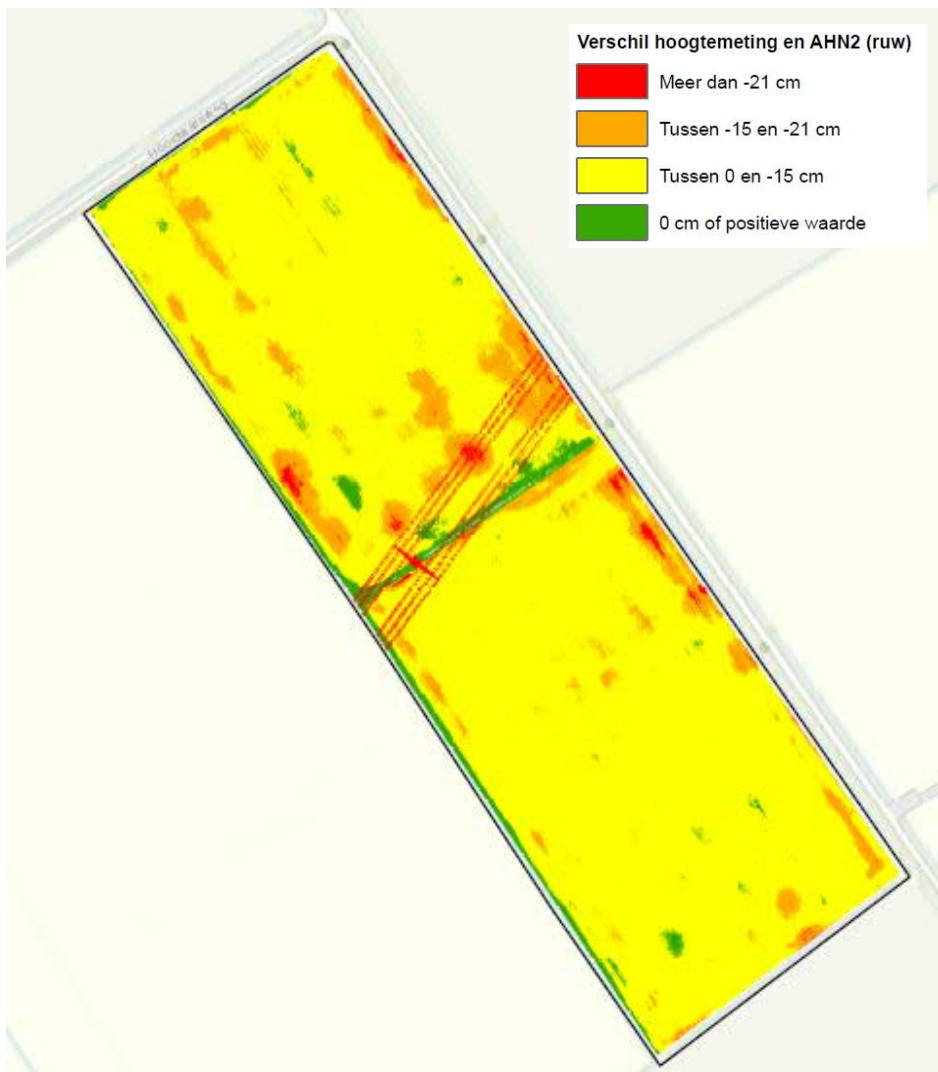


Fig. 5.17 Kaart berekend hoogteverschil geïnterpoleerde hoogtemeting 2020 en AHN2 (2019) locatie Godlinze

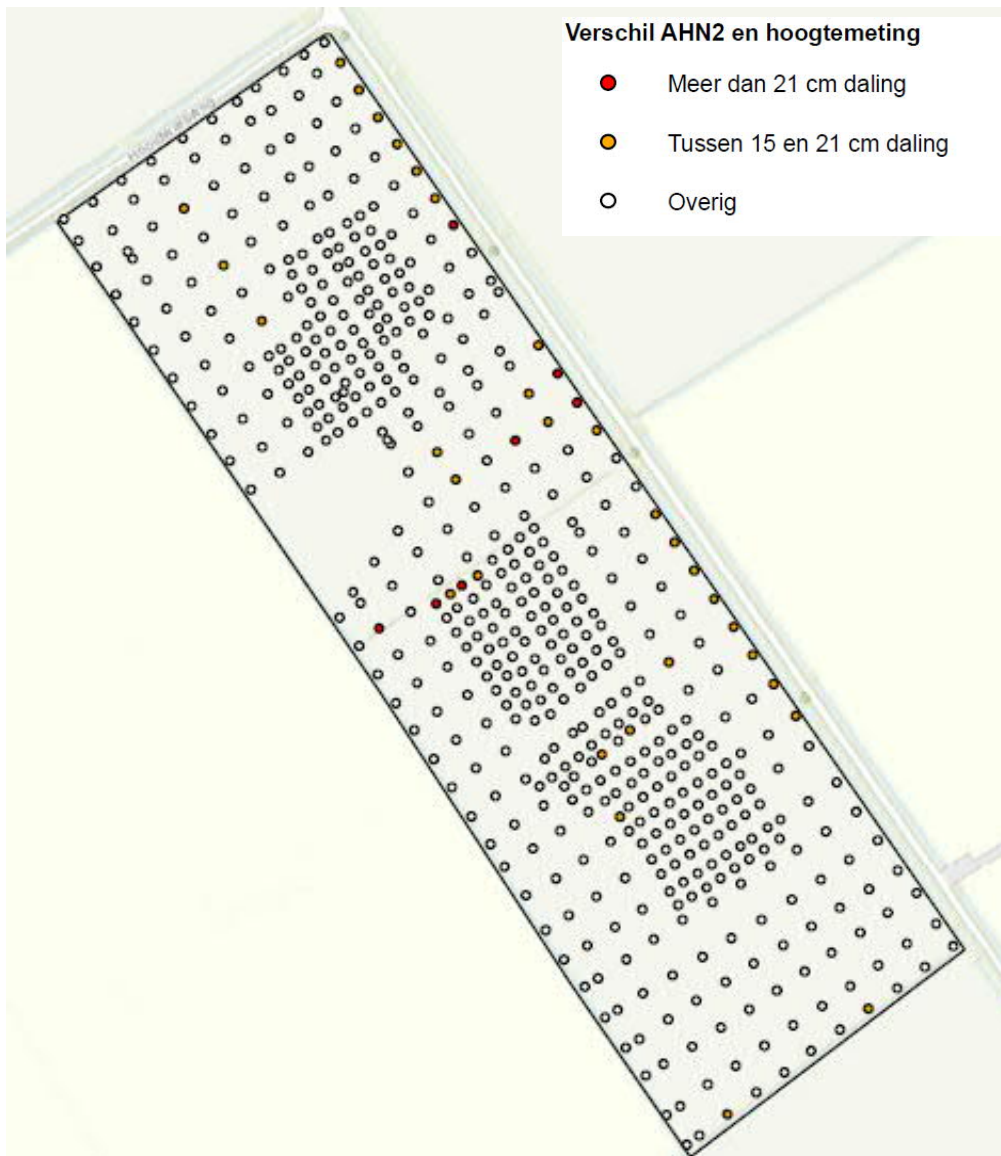


Fig. 5.18 Kaart met berekend hoogteverschil hoogtemeting 2020 en AHN-2 (2009) op meetpuntniveau

Beoordeling resultaten vlaktelgging drainagemetingen

Alle meetresultaten van de vlaktelgging van de drainage voor locatie Godlinze zijn opgenomen in bijlage 9. Uit de meetresultaten is op te maken dat alle gemeten drains onder enige afschot naar de sloten liggen. Er zijn op basis van de meetresultaten geen duidelijke lagere delen (verzakkingen) in de drains zichtbaar.

Op elke gemeten drain is een analyse van de vlaktelgging uitgevoerd door het beoordelen van het risico op luchtinsluiting als gevolg van mogelijke ongelijkmatige zakking. In figuur 5.19 en 5.20 zijn de resultaten van twee drains (drain 3 van perceel 1 en drain 8 van perceel 2) gepresenteerd. De resultaten van deze analyse voor alle gemeten drains zijn opgenomen in bijlage 10.

In figuur 5.19 en 5.20 is de gemeten hoogte van de drain weergegeven (Hoogte Drainage). Van deze metingen is een trendlijn (stippellijn) bepaald uitgaande van een lineair verloop (aangeduid als Lineair Hoogte Drainage) waarmee vervolgens de bandbreedte (eis vlaktelgging drain min = grijze gestreepte lijn en de eis vlaktelgging drain max = blauw gestreepte lijn) van de toegestane afwijking om luchtinsluiting te voorkomen is bepaald. Hierbij is uitgegaan van een buitendiameter van de drain van 60 mm en een wanddikte van de drain van 3,5 mm.

Opgemerkt wordt dat de resultaten van de metingen sterk gecomprimeerd zijn weergegeven. De millimeters in het verticale vlak staan in verhouding tot tientallen meters op het horizontale vlak. Dit geeft een overdreven inzicht ten aanzien van de toegestane afwijking.

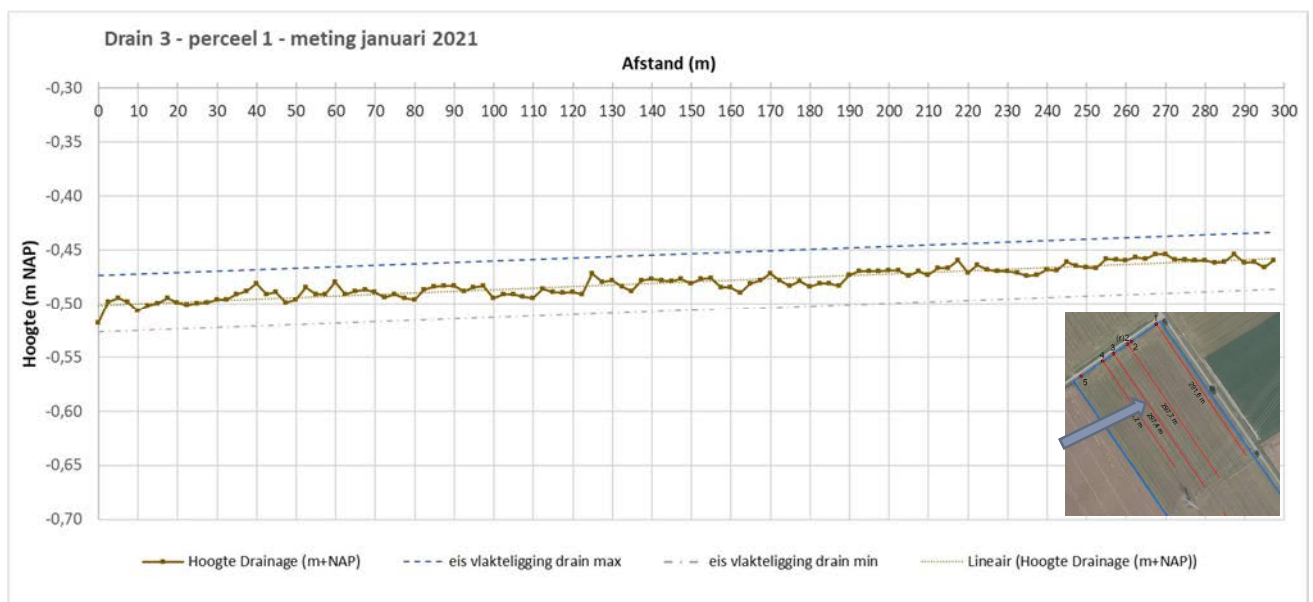


Fig. 5.19 Meting drain 3 perceel 1 en beoordeling risico op luchtinsluiting (toetsing vlakheidseis)

Op basis van deze analyse voldoen zowel drain 3 als drain 8 momenteel aan de vereiste eis om luchtinsluitingen te voorkomen. Uit de resultaten van de analyses van de overige drains (zie bijlage 10) valt op te maken dat alle gemeten drains voldoen aan de vlakheidseis om luchtinsluiting te voorkomen.

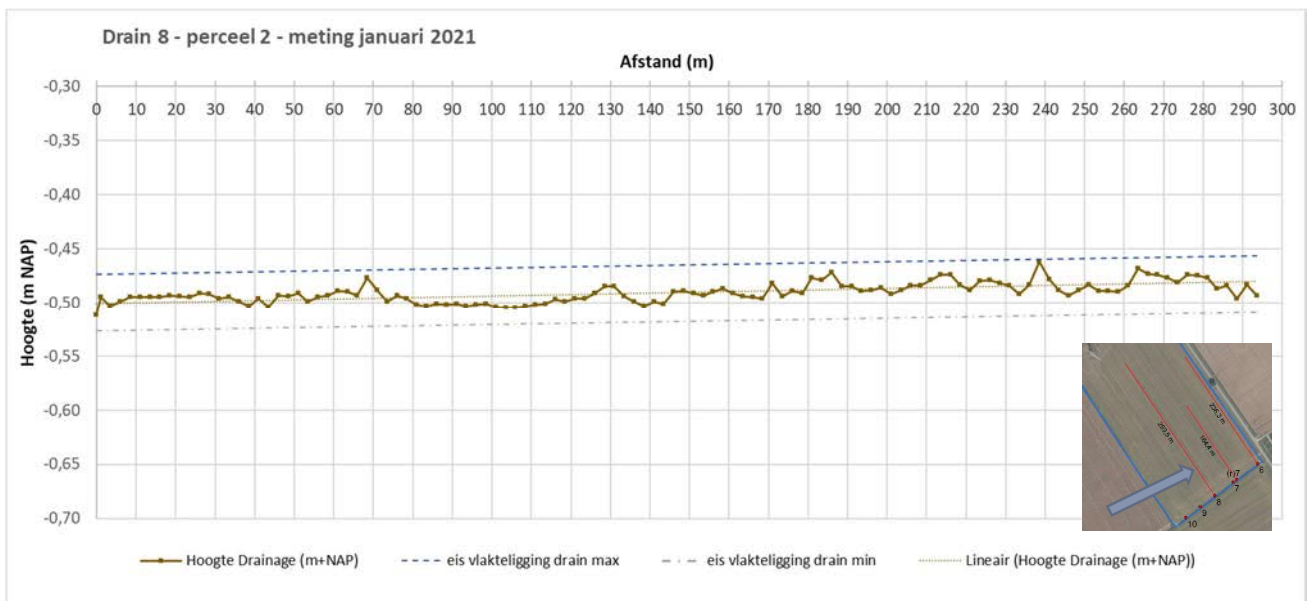


Fig. 5.20 Meting drain 8 perceel 2 en beoordeling risico op luchtinsluiting (toetsing vlakheidseis)

5.6 Analyse mogelijke ondiepe bodemdalingsprocessen

Naast bodemdaling door compactie van het gasreservoir of verweking door trillingscompactie (als gevolg van geïnduceerde aardbevingen) zijn er meerdere bodemdalingsprocessen die hebben bijgedragen, of kunnen bijdragen aan ongelijkmatige bodemdaling. Deze verschillende bodemdalingsprocessen zijn voor beide onderzoekslocaties beschouwd. Achtergronden van de beschouwde bodemdalingsprocessen zijn opgenomen in bijlage 7.

5.6.1 Locatie Loppersum

Oxidatie van veen

Op deze locatie is alleen bij boring LB19 een (kleiige) veenlaag van 0,5 meter onder een kleidek van 1,6 meter aangetroffen. De boring met deze veenlaag is aan de rand van een perceel uitgevoerd en vermoedelijk betreft het een oude sloot. Oxidatie van veen is geen bodemdalingsproces dat significante invloed heeft/had op de vlakteligging van de percelen van deze locatie.

Rijping

De gronden van deze locatie zijn al eeuwenoud en daardoor is de bovengrond van de profielen met klei tot de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand deels tot volledig gerijpt. Medio 1970 is het oppervlaktewaterpeil met 20 tot 25 centimeter verlaagd. Als gevolg hiervan is het aannemelijk dat de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand enkele centimeters is gedaald. Een grondwaterstandsverlaging kan leiden tot rijping van kleilagen. De bijdrage aan rijping aan de bodemdaling als gevolg van deze peilverlaging wordt maximaal enkele centimeters ingeschat en zal vermoedelijk inmiddels geheel zijn opgetreden. Bij de boringen met zandlagen of sterk zandige lagen rond het GLG-niveau is bodemdaling door rijping niet van toepassing. Rijping van klei is een bodemdalingsproces wat mogelijk enige invloed heeft/had op de vlakteligging van de percelen van deze locatie. Dit effect zal naar verwachting aan maaiveldniveau, zeker als rekening wordt gehouden met reguliere grondbewerkingen, niet meetbaar of visueel waarneembaar zijn.

Krimp

Bodemdaling door krimp treedt op in orde grootte van millimeters tot centimeters, afhankelijk van de bodemopbouw. Door zwel kan de bodem in dezelfde mate weer stijgen. Indien de zwel kleiner is dan de krimp, dan is een deel van de krimp irreversibel, wat duidt op een verdere rijping van de grond [17].

De verwachting is dat op basis van de bodemopbouw het maaiveld sinds de gaswinning mogelijk maximaal enkele centimeters is gedaald als gevolg van krimp in combinatie met rijping (mede door de peilverlaging). Niet uitgesloten is dat drie droge zomers van 2018, 2019 en 2020 hebben bijgedragen aan enige permanente en tijdelijke krimp van de gronden (maximaal enkele centimeters). Dit geldt met name voor de bodemprofielen met sterk siltige klei. Ook kunnen door tijdelijke krimp (in droge zomers) de gronden tijdelijk lager liggen, maar deze zullen na bevochtiging als gevolg van zwel weer stijgen. Het resultaat van de uitgevoerde hoogtemeting kan zijn beïnvloed door de droge zomer van 2020. (Tijdelijke) krimp van klei is een bodemdalingsproces wat mogelijk enige invloed heeft/had op de vlakteligging van de percelen van deze locatie. Dit effect zal naar verwachting aan maaiveldniveau, zeker als rekening wordt gehouden met reguliere grondbewerkingen, niet meetbaar of visueel waarneembaar zijn.

Samendrukking van bovenlagen (zetting)

Door de aanwezigheid van (slappe) klei en veenlagen in het bodemprofiel is deze locatie als zettingsgevoelig te kenmerken. Als gevolg van slootdempingen, demping van grote greppels, (tijdelijke) belasting op het maaiveld (bijvoorbeeld een ophoging of depot) of peilverlagingen kunnen op deze locatie slappe grondlagen worden samengedrukt (zettingen treden op). Door verschillen in bodemopbouw kunnen ongelijkmatige zettingen optreden. Er zijn op deze locatie in de loop van de jaren verschillende sloten gedempt (zie bureauonderzoek [22]). Ter plaatse van oude sloten kan enige zetting zijn opgetreden (deels kan dit echter ook klink zijn van het dempmateriaal). Volgens de grondeigenaar zijn er geen laagtes ter plaatse van oude sloten in de percelen aanwezig. Ook de resultaten van de hoogtemetingen laten geen duidelijke laagtes zien ter plaatse van oude sloten.

Er zijn op deze locatie geen tijdelijke depots of ophogingen aanwezig geweest die lokaal tot ongelijkmatige zettingen hebben kunnen leiden.

Als gevolg van verlaging het oppervlaktewaterpeil met 20 tot 25 centimeter medio 1970 is mogelijk enige zetting opgetreden. Deze zetting wordt ingeschat op maximaal enkele centimeters en zal vermoedelijk kort na de peilverlaging in 1970 (in de eerste maanden na de peilverlaging) grotendeels zijn opgetreden.

Samendrukking van bovenlagen (zetting) is een bodemdalingsproces wat mogelijk enige invloed heeft/had op de vlakteligging van de percelen van deze locatie. Dit effect zal aan maaiveldniveau niet meetbaar of visueel waarneembaar zijn.

Trillingscompactie door verweking

Uit de uitgevoerde verwekingsanalyses volgt dat met name de ondiep gelegen zand- en wadzandlagen, welke zich op 1,0 tot 4,5 meter onder maaiveldniveau bevinden, verwekingsgevoelig kunnen zijn. De dieper gelegen zand- en wadzandlagen zijn over het algemeen minder verwekingsgevoelig en laten nagenoeg geen verwekingseffecten zien. Voor de locatie Loppersum bedraagt op basis van de uitgevoerde berekeningen de maximale berekende zakking door verweking 5,6 mm (zie ook paragraaf 3.6). Trillingscompactie door verweking is een bodemdalingsproces wat mogelijk enige invloed heeft/had op de vlakteligging van de percelen van deze locatie. Dit effect is minimaal (enkele millimeters) en zal aan maaiveldniveau niet meetbaar of visueel waarneembaar zijn.

Verweking en verspoeling van loopzand

Lokaal zijn in het bodemprofiel zandlagen aangetroffen die zouden kunnen verweken en verspoelen.

In 2016 is de noordoostelijke watergang (watergang waterschap) door het waterschap gebaggerd. Ter plaatse van een deel van het talud van perceel 3 is in 2016 beschoeiing geplaatst. De reden van het plaatsen van deze beschoeiing was dat de taluds verzakt waren. Hierdoor was het maaipad smaller geworden. Om die weer in de originele staat te krijgen is er beschoeiing aangebracht. Mogelijk dat door een grote plensbui in die periode de afkalving nog veel groter geworden is [33]. De grondeigenaar heeft aangegeven dat hij geen hinder ondervindt van beschadigde of ingestorte taluds aan de slootkanten. Volgens de eigenaar is circa 90% van de de tochtsloten beschoeid.

In de omringende sloten van deze locatie is niet opvallend veel zandig materiaal bij de uitmondingen van de drains waargenomen. Ook tijdens het uitvoeren van de drainagemeting is geen vrijkomend zand uit de drains waargenomen, maar betrof het alleen slib/kleideeltjes.

Verweking en verspoeling van loopzand is geen bodemdalingsproces wat mogelijk enige invloed heeft/had op de vlakteligging van de percelen van deze locatie.

Ontstaan van ongelijkmatigheid van het maaiveld door combinaties van bodemdalingsprocessen

In deze paragraaf zijn alle mogelijke bodemdalingsprocessen die tot ongelijkmatige bodemdaling (hebben) kunnen leiden separaat belicht. De bijdrage van de genoemde processen aan de opgetreden bodemdaling is deels op basis van modellen te kwantificeren zoals verweking en compactie van samendrukbare lagen. De bijdrage van bodemdalingsprocessen zoals krimp en rijping is niet of nauwelijks te kwantificeren omdat bijvoorbeeld modellen ontbreken. Het berekenen van compactie van klei en veen (door grondwaterstandsverlagingen, dempingen of ophogingen) is geen onderdeel van dit onderzoek. Daarom zijn voor deze bodemdalingsprocessen ruwe inschattingen gemaakt op basis van expert judgement en de resultaten van het veldonderzoek.

Niet uitgesloten is echter dat door een combinatie van bodemdalingsprocessen en verschillen in bodemopbouw en -eigenschappen (op korte afstand) lokaal hoogteverschillen aan maaiveld kunnen zijn ontstaan. Deze hoogteverschillen zijn echter voor deze pilotlocatie niet te achterhalen vanwege uitgevoerde grondbewerking en egalisatiewerkzaamheden. De resultaten van de vlakteligging van de drainagemetingen laten lokaal een gemiddeld lagere ligging zien (deels vermoedelijk als gevolg van nazakking door slootdempingen en/of demping van grote greppels). De vlakteligging van deze drains voldoen wel aan de vlakheidseis om luchtinsluiting te voorkomen.

5.6.2 Locatie Godlinze

Oxidatie van veen

Bij een aantal boringen op deze locatie is veen in het bodemprofiel aangetroffen. De aangetroffen veenlagen bevinden zich ruim onder het niveau van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand waardoor deze veenlagen vrijwel altijd met water verzadigd zijn. Oxidatie van veen is geen bodemdalingsproces wat invloed heeft/had op de vlakteligging van de percelen van deze locatie.

Rijping

De gronden op deze locatie zijn al eeuwenoud en daardoor is de bovengrond tot de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand deels of volledig gerijpt. In 1977 is het oppervlaktewaterpeil met 20 tot 30 centimeter verlaagd. Als gevolg hiervan is mogelijk de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand enkele centimeters gedaald. Een grondwaterstandsverlaging kan leiden tot rijping van kleigronden.

De bijdrage aan rijping aan de bodemdaling wordt op maximaal enkele centimeters ingeschat als gevolg van peilverlaging en zal vermoedelijk inmiddels geheel zijn opgetreden. Bij de boringen met zandlagen of zandige kleilagen rond het GLG-niveau is bodemdaling door rijping niet van toepassing.

Rijping van klei is een bodemdalingsproces wat mogelijk enige invloed heeft/had op de vlakteligging van de percelen van deze locatie. Dit effect zal aan maaiveldniveau naar verwachting niet meetbaar of visueel waarneembaar zijn.

Krimp

De bodemdaling door krimp treedt op in orde grootte van millimeters tot centimeters en kan meer dan 10 cm bedragen. Door zwel kan de bodem in dezelfde mate weer stijgen. Indien de zwel kleiner is dan de krimp, dan is een deel van de krimp irreversibel, wat duidt op een verdere rijping van de grond [17].

De verwachting is dat op basis van de bodemopbouw het maaiveld sinds de gaswinning mogelijk maximaal enkele centimeters is gedaald als gevolg van krimp in combinatie met rijping (mede door peilverlaging). Niet uitgesloten is dat drie droge zomers van 2018, 2019 en 2020 hebben bijgedragen aan enige rijping en permanente krimp van de gronden (maximaal enkele centimeters). Dit geldt met name voor de bodemprofielen met sterk siltige klei.

Ook kunnen door tijdelijke krimp (in droge zomers) de gronden tijdelijk lager liggen, maar deze zullen na bevochtiging als gevolg van zwel weer stijgen. Het resultaat van de hoogtemeting in 2020 kan hierdoor zijn beïnvloed.

(tijdelijke) Krimp van klei is een bodemdalingsproces wat mogelijk enige invloed heeft/had op de vlakteligging van de percelen van deze locatie. Dit effect zal naar verwachting aan maaiveldniveau niet visueel waarneembaar zijn.

Samendrukking van grondlagen (zettingen)

Door de aanwezigheid van (slappe) klei en veenlagen in het bodemprofiel is de locatie als zettingsgevoelig te kenmerken. Als gevolg van belasting op het maaiveld (bijvoorbeeld een ophoging of depot) of peilverlagingen kunnen op deze locatie slappe grondlagen worden samengedrukt (zettingen).

Er zijn sinds de start van de gaswinning op perceel 1 en 2 geen sloten gedempt (zie bureauonderzoek [22]).

Als gevolg van verlaging het oppervlaktewaterpeil met 20 tot 30 centimeter medio 1977 is mogelijk enige zetting opgetreden. Deze zetting wordt ingeschat op maximaal enkele centimeters ingeschat en zal kort na de peilverlaging grotendeels zijn opgetreden.

Ten tijde van het veldonderzoek is een deel van perceel 1 in gebruik als werkterrein voor de bouw van een nieuwe hoogspanningsmast. In het werkterrein zijn tijdelijke depots met de bij de ontgravingen vrijkomende grond ingericht. Ter plaatse van deze locaties kan zetting zijn opgetreden of optreden.

Samendrukking van bovenlagen (zetting) is een bodemdalingsproces wat mogelijk enige invloed heeft/had op de vlakteligging van de percelen van deze locatie. Dit effect zal aan maaiveldniveau niet meetbaar of visueel waarneembaar zijn. Mogelijk dat door tijdelijke depots ter plaatse van het werkterrein zettingen optreden.

Trillingscompactie door verweking

Uit de uitgevoerde verwekingsanalyses volgt dat met name de ondiep gelegen zand- en wadzandlagen, welke zich op 1,0 tot 4,5 meter onder maaiveldniveau bevinden, verwekingsgevoelig kunnen zijn. De dieper gelegen zand- en wadzandlagen zijn over het algemeen minder verwekingsgevoelig en laten nagenoeg geen verwekingseffecten zien. Voor pilotlocatie Godlinze bedraagt op basis van de uitgevoerde berekeningen de maximale berekende zakking door verweking 2,0 mm (zie paragraaf 4.6).

Trillingscompactie door verweking is een bodemdalingsproces wat mogelijk enige invloed heeft/had op de vlakteligging van de percelen van deze locatie. Dit effect is minimaal (enkele millimeters) en zal aan maaiveldniveau niet meetbaar of visueel waarneembaar zijn.

Verweking en verspoeling van loopzand

Lokaal zijn in het bodemprofiel zandlagen aangetroffen die zouden kunnen verweken en verspoelen. De grondeigenaar heeft geen hinder ondervinden van ingestorte taluds. Ook is in de sloten niet opvallend veel zandig materiaal bij de uitmondingen van de drains waargenomen.

Het spoelen van de drains voorafgaand aan de vlaktemetingen was niet nodig. Bij de uitvoering van de drainagemeting is enige mate van vrijkomend slib waargenomen.

Verweking en verspoeling van loopzand is geen bodemdalingsproces wat mogelijk enige invloed heeft/had op de vlakteligging van de percelen van deze locatie.

Ontstaan van ongelijkmatigheid van het maaiveld door combinaties van bodemdalingsprocessen

In deze paragraaf zijn alle mogelijke bodemdalingsprocessen die tot ongelijkmatige bodemdaling (hebben) kunnen leiden separaat belicht. De bijdrage van de genoemde processen aan de opgetreden bodemdaling is deels op basis van modellen te kwantificeren zoals verweking en compactie van samendrukbare lagen. De bijdrage van bodemdalingsprocessen zoals krimp en rijping is niet of nauwelijks te kwantificeren omdat bijvoorbeeld modellen ontbreken. Het berekenen van compactie van klei en veen (door grondwaterstandsverlagingen, dempingen of ophogingen) is geen onderdeel van dit onderzoek. Daarom zijn voor deze bodemdalingsprocessen ruwe inschattingen gemaakt op basis van expert judgement en de resultaten van het veldonderzoek.

Niet uitgesloten is echter dat door een combinatie van bodemdalingsprocessen en mogelijke verschillen in bodemopbouw en -eigenschappen (op korte afstand) lokaal hoogteverschillen aan maaiveld kunnen zijn ontstaan. Indien dit het geval is, zullen deze hoogteverschillen tussen 2009 en 2020 echter vermoedelijk kleiner zijn dan 15 centimeter, waardoor deze binnen foutmarge vallen en niet met zekerheid kunnen worden aangetoond. Gezien de resultaten van de vlakteligging van de drainagemetingen is het niet aannemelijk dat er in de periode 2012 tot 2020 onder het drainniveau bodemdalingsprocessen hebben plaatsgevonden die tot ongelijkmatige zakking van de drains hebben geleid.

6 Conclusie en discussie

De conclusies van dit onderzoek zijn in dit hoofdstuk beschreven door per onderzoekslocatie de onderzoeksvragen uit paragraaf 1.2 te beantwoorden. Opgemerkt wordt dat de conclusies (antwoorden op de onderzoeksvragen) van toepassing zijn op de twee pilotlocaties (zie figuur 3.1 en 4.1) en zijn gebaseerd op de informatie en resultaten uit voorliggende hoofdstukken. De conclusies dienen derhalve te worden geïnterpreteerd met inachtneming van de genoemde onzekerheden, aannames en gehanteerde uitgangspunten. Per pilotlocatie is na de conclusies tevens een discussie over de resultaten opgenomen.

6.1 Pilotlocatie Loppersum

6.1.1 Conclusies

Wat is de omvang van de opgetreden bodemdaling en de bijdrage daarvan door gaswinning (diepe compactie van het gasreservoir en/of verweking door trillingscompactie) en ondiepe bodemdalingsprocessen als oxidatie, krimp, rijping en zetting?

Omvang van de opgetreden bodemdaling

Het gemiddelde berekende hoogteverschil tussen de start van gaswinning (jaren '60) en 2020 bedraagt voor pilotlocatie Loppersum circa 40 centimeter met een minimale foutmarge van +/- 12 cm (gemiddeld 7 mm per jaar +/- 2 mm). Hierbij is er vanuit gegaan dat tussen de start van de gaswinning (jaren '60) en 2020 er door grondbewerkingen en/of egalisatie geen grond van deze locatie in sloten/greppels is verwerkt en er geen grond van de locatie is afgevoerd, dan wel is aangevoerd.

Bijdrage aan de opgetreden bodemdaling door compactie van het gasreservoir

De beschikbare en afgeleide gegevens over de bodemdaling (in de omgeving) van deze pilotlocatie duiden op een jaarlijkse gemiddelde daling van circa 6 tot 7 millimeter per jaar met een onnauwkeurigheidsmarge van circa +/- 3 millimeter per jaar.

Gezien de gemiddelde berekende daling (van 7 mm per jaar +/- 2 mm) is het aannemelijk dat de opgetreden bodemdaling op deze pilotlocatie grotendeels kan worden toegeschreven aan de bodemdaling door compactie van het gasreservoir (als gevolg van de gaswinning).

Het is niet aannemelijk dat ongelijkmatige bodemdaling op perceelniveau door compactie van het gasreservoir wordt veroorzaakt, dan wel wordt versterkt. De bodemdaling door compactie van het gasreservoir verloopt namelijk traag en met een gradiënt die visueel op perceelniveau niet waarneembaar zal zijn.

Bijdrage aan de opgetreden bodemdaling door verweking (trillingscompactie)

Om te kunnen beoordelen of de mogelijk opgetreden verweking tijdens de zwaarste aardbevingssituaties kunnen leiden tot significante (verschil)zakkingen van de drainagesystemen is de maximale zakking ten gevolge van verdichting na verweking berekend. Hierbij is uitgegaan van een bovengrensbenadering bestaande uit een combinatie van de meest verwekingsgevoelige bodemopbouw, een conservatief hoge grondwaterstand gelijk aan maaiveldniveau en de hoogste representatieve PGA-waarde.

Voor de verwekingsanalyses is de maatgevende PGA-waarde bepaald uit de KNMI-metingen van de meest nabij gelegen aardbevingsevents. Deze zijn vergeleken met de locatiespecifieke PGA-waarden afkomstig van de NPR Webtool (scenario V6T4) voor een terugkeertijd van 95 jaar (SD en DL voor beoordeling van niet-seismische elementen). Hieruit is de hoogste piekgrondversnelling gekozen - welke de maximaal gemeten waarden betreffen – en deze zijn vervolgens toegepast voor de analyse.

De verweking en verdichting is berekend conform bijlage D en E uit de NPR 9998:2018. Uit de verwekingsanalyse volgt dat met name de ondiep gelegen zand- en wadzandlagen, die zich op 1,0 tot 4,5 meter onder maaiveldniveau bevinden, verwekingsgevoelig kunnen zijn. In deze lagen is de compactie door verweking berekend. De dieper gelegen zand- en wadzandlagen zijn over het algemeen minder verwekingsgevoelig en laten nagenoeg geen verwekingseffecten zien.

Voor de onderzoekslocatie Loppersum bedraagt de maximale berekende zakking 5,6 mm. Deze berekende maximaal optredende zakking is kleiner dan de maximaal toelaatbare zakkingseis van 30 mm (die als functionele eis is vastgesteld op basis van de halve draindiameter in verband met het voorkomen van luchtinsluiting in de drains).

Uit de gevoeligheidsanalyse naar de zakkingsgevoeligheid versus de piekgrondversnelling uit paragraaf 3.6.3 volgt, dat in het geval van een veel zwaardere aardbeving (beschouwd is tot een maximum PGA van 0,3 g) de zakkingsgevoeligheid groter zullen zijn, maar ook dan niet de toelaatbare zakking van 30 mm blijken te overschrijden.

Bijdrage aan de opgetreden bodemdaling door overige bodemdalingsprocessen

Als gevolg van een peilverlaging (rond 1970 doorgevoerd ter compensatie van de bodemdaling door gaswinning) en tijdelijk drogere omstandigheden (zomers van 2018, 2019 en 2020) kan op deze pilotlocatie enige rijping en (tijdelijke) krimp van klei en samendrukking van kleilagen (zetting) zijn opgetreden, wat (tijdelijk) tot ongelijkmatige bodemdaling kan hebben geleid. Dit geldt vooral voor de kleiige profielen, waarbij zich kleilagen bevinden rond de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand en profielen met slappe kleilagen. Bij nattere omstandigheden zal de kleigrond bovendien (deels) weer zwellen waardoor het proces krimp een beperkt effect heeft op de hoogteligging en bodemdaling. De combinatie van een peilverlaging en aanwezigheid van (slappe) kleilagen kan mogelijk tot compactie van samendrukbare lagen (zetting) hebben geleid.

Het is niet aannemelijk dat in de periode 2012 – 2020 de processen rijping, krimp en samendrukking van kleilagen (zetting) tot maaiveldhoogteverschillen hebben geleid die visueel op perceelsniveau waarneembaar zijn (maximaal enkele centimeters).

Kunnen er op basis van beschikbare data en uitgevoerde hoogtemetingen laagtes in de agrarische percelen worden geïdentificeerd?

Op basis van de in 2020 uitgevoerde hoogtemetingen (en interpolatie) blijkt dat er hoogteverschillen aanwezig zijn. Er zijn echter geen duidelijke ingesloten laagtes geïdentificeerd. Het meest noordelijke deel (perceel 1) laat de meeste hoogteverschillen op korte afstand zien. Op de locaties waar de grondeigenaar regelmatig wateroverlast heeft ervaren zijn geen duidelijk lagere maaiveldhoogtes en/of ingesloten laagtes gemeten.

Hebben geïnduceerde aardbevingen mogelijk invloed gehad op de vlakteligging van het maaiveld en/of de drainage?

Op basis van de theoretisch maximaal berekende optredende maaiveldzakking (op basis van de uitgangspunten zoals vermeld in paragraaf 3.6.1) en de maximaal gemeten maaiveldversnellingen, kan worden geconcludeerd dat het effect van verweking tot nu toe weinig tot geen invloed heeft gehad op het functioneren van de drainage en de vlakteligging van het maaiveld.

Uit de meetresultaten van de delen van de drains waarvan de vlakteligging is gemeten, blijkt dat deze voldoen aan de vlakheidseis om luchtinsluiting te voorkomen. Uitzonderingen zijn de gemeten delen van drain 9 (aangelegd in 1996 op perceel 1) en drain ex2 (aangelegd in 2014 op perceel 3) waar lokaal verhogingen in de meetresultaten zichtbaar zijn en die groter zijn dan de vlakheidseis om luchtinsluiting te voorkomen. Deze afwijkingen zullen de werking van het gemeten deel van de drain niet verstoren.

Op perceel 1 zijn de meetresultaten van de vlakteligging van de drainage voldoende representatief (>5% van de totale drainlengte is gemeten) om te concluderen dat de vlakteligging van de drainage op dit perceel aan de vlakheidseis om luchtinsluiting te voorkomen voldoet. Voor perceel 2 en 3 wordt gezien de beperkte lengte die kon worden gemeten, niet aan de representativiteits eis van 5% voldaan.

Wat zijn de mogelijke oorzaken van opgetreden ongelijkmatige bodemdaling (laagtes in percelen en/of verzakte drainages)?

De meetresultaten van de delen van de drains waarvan de vlakteligging is gemeten, tonen geen opvallende (lokale) verzakkingen. Op een aantal plekken zijn ten opzichte van de gemiddelde hoogtelijn (trendlijn) wel lagere delen gemeten. Op twee locaties zijn deze te mogelijk te verklaren door nazakking van oude slootdempingen en/of gedempte greppels. De toetsing van de metingen van deze draindelen aan de vlakheidseis laten zien dat deze delen van de drain wel aan de vereiste vlakteligging om risico op luchtinsluiting te voorkomen voldoen.

De meest aannemelijke oorzaken voor de lokale verhogingen van drain 9 en ex2 zijn de aanwezigheid van slib/kleiresten op de bodem de drainbuis of dat bij de aanleg van de drainage het V- vormige woellichaam van de sleufloze draineermachine een lagere weerstand in de bodem ondervond door lokale verschillen in bodemgesteldheid of voormalige dempingen van greppels en/of een uitgevoerde egalisatie.

6.1.2 Discussie

Gemeten en berekende hoogteverschillen

De hoogteverschillen in het maaiveld (op korte afstand) op pilotlocatie Loppersum zijn over het algemeen beperkt. Een verklaring hiervoor is dat er de laatste jaren egalisatiewerkzaamheden (onder andere in 2018) op de percelen zijn uitgevoerd.

Een vergelijking van de hoogteligging voor de start van de geïnduceerde bevingen (opname AHN-2 in 2009) en de hoogtemeting in 2020 is voor deze locatie onvoldoende betrouwbaar vanwege het effect van uitgevoerde grondbewerkingen en egalisatiewerkzaamheden op de hoogteligging in 2020. Derhalve kunnen voor deze pilotlocatie op basis van de hoogtemetingen en historische hoogtedata geen betrouwbare conclusies worden getrokken over de berekende hoogteverschillen en de mate van ongelijkmatige bodemdaling in periode tussen 2009 en 2020.

Verweking

Er is in de analyse naar verweking geen rekening gehouden met een sommerend effect, omdat de meeste zakking bij de zwaarste beving optreedt. Omdat de pakking van het zand ook toeneemt na elke beving wordt het zand dus ook minder gevoelig voor toekomstige zakkingen bij een soortgelijke PGA-waarde. Bij een hogere PGA-waarde zouden er wel weer nieuwe zakkingen kunnen ontstaan, vandaar de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse waarbij met significant hogere versnellingen is gerekend.

De berekende zakking van elke beving zou wel kunnen worden opgeteld, maar dat zou voor de grootste berekende zakking leiden tot een toename van circa 5% (maximaal circa 0,3 mm). De conclusie of dit tot schade aan de drainage door zakking zal leiden blijft daarmee ongewijzigd, ook gelet op de uitgevoerde gevoeligheidsanalyses waarin ook met mogelijk nog hogere versnellingen is gerekend.

Als nulsituatie is uitgegaan van de eerste zwaarst gemeten aardbeving en de uitgevoerde sonderingen. De berekende zakkingen zijn vervolgens gebaseerd op de beschikbare metingen en uitgevoerde sonderingen. Niet kan worden uitgesloten dat er eerdere, niet geregistreerde lichtere aardbevingen hebben plaatsgevonden welke nog van invloed zouden kunnen zijn geweest op zakkingen, of dat de gemeten conusweerstand al enige verdichting heeft gehad. Er zijn echter geen sonderingen van de onderzoekslocaties van voor de start van de bevingen beschikbaar om dit te verifiëren.

Aangezien eventuele eerder opgetreden verdichtingen in principe al indirect zijn meegenomen in de gemeten conusweerstand, zijn de uitgevoerde sonderingen als nulmeting aangehouden. Het zou mogelijk kunnen zijn dat aangetroffen bodemlagen bij de sonderingen bij de eerste metingen een iets lossere pakking hadden. Echter gezien de hoogte van de seismische belasting zou dit verschil niet significant veel groter zijn wat nog zou kunnen bijdragen tot het overschrijden van de zakkingseis om luchtinsluiting in de drains te voorkomen.

Aan de hand van de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse is geprobeerd zoveel mogelijke onzekerheden in de seismische belasting mee te nemen om te kijken wat het theoretische effect zou kunnen zijn op de zakking. Hieruit volgt dat de berekende zakking de zakkingseis (om luchtinsluiting te voorkomen) niet zou kunnen overschrijden en dat daarmee een andere conclusie zou volgen met betrekking tot berekende zakking.

Resultaten metingen vlakteligging drainage

Door de vermoedelijke aanwezigheid van overmatig klei/slib in de drains is de behaalde meetlengte van de vlakteligging van de gemeten drains beperkt. Circa ¼ tot circa de helft van de lengte van de drains is gemeten.

Op perceel 2 en 3 is het aandeel van de gemeten drainlengte ten opzichte van de totale drainlengte kleiner dan de minimale norm van 5%. Derhalve zijn de meetresultaten voor deze locatie mogelijk niet representatief voor de volledige drainage op deze percelen.

De mate van het aanwezige slib in de drainagebuizen roept vragen op over de wijze waarop dit kan zijn gebeurd. In de begeleidingsgroep, die het onderhavige onderzoek heeft begeleid, is aangedrongen op een nadere verkenning van deze problematiek. Hierbij is met name de relatie tussen aardbevingen en dichtslibbing van drains relevant, maar is ook inzicht noodzakelijk in mogelijke andere oorzaken van dichtslibbing.

Overige bodemdalingsprocessen

Niet uitgesloten is dat door een combinatie van bodemdalingsprocessen en mogelijke verschillen in bodemopbouw en -eigenschappen (op korte afstand) lokaal hoogteverschillen aan maaiveld kunnen zijn ontstaan. Deze zijn echter voor deze pilotlocatie niet te aan tonen vanwege het effect van uitgevoerde grondbewerking en egalisatiewerkzaamheden op de hoogteligging.

De mogelijke bijdrage van de bodemdalingsprocessen rijping, krimp en samendrukking van samendrukbare lagen (klei en veen) is niet gekwantificeerd. Voor rijping en krimp ontbreken hiervoor betrouwbare parameters en modellen. Op basis van expert judgement is de verwachte bijdrage beperkt. Voor het berekenen van de omvang van de zakking als gevolg van samendrukking van klei (door een peilverlaging) zijn wel modellen beschikbaar. Aangezien de peilverlaging medio 1970 is doorgevoerd en de meeste zetting kort na een peilverlaging plaatsvindt, zal de bijdrage aan ongelijkmatige daling door samendrukking van kleilagen tussen de periode 2012 – 2020 verwaarloosbaar zijn.

6.2 Pilotlocatie Godlinze

6.2.1 Conclusies

Wat is de omvang van de opgetreden bodemdaling en de bijdrage daarvan door gaswinning (diepe compactie van het gasreservoir en/of verweking door trillingscompactie) en ondiepe bodemdalingsprocessen als oxidatie, krimp, rijping en zetting?

Omvang van de opgetreden bodemdaling

Het berekende hoogteverschil tussen de start van gaswinning (jaren '60) en 2020 bedraagt voor pilotlocatie Godlinze circa 40 centimeter met een minimale foutmarge van +/- 0,12 m. De berekende gemiddelde jaarlijkse daling, uitgaande van een lineair verloop, is 6 à 7 mm per jaar (+/- 2 mm).

Bijdrage aan de opgetreden bodemdaling door compactie van het gasreservoir

De beschikbare en afgeleide gegevens omtrent de bodemdaling (in de omgeving) van deze pilotlocatie duiden op een jaarlijkse gemiddelde daling van circa 5 tot 6 millimeter per jaar met een onnauwkeurigheidsmarge van circa +/- 3 millimeter per jaar.

Gezien de gemiddelde berekende daling (van 6 à 7 mm per jaar +/- 2 mm) is het aannemelijk dat de opgetreden bodemdaling op deze pilotlocatie grotendeels kan worden toegeschreven aan de bodemdaling door compactie van het gasreservoir (als gevolg van de gaswinning).

Het is niet aannemelijk dat ongelijkmatige bodemdaling op perceelniveau door compactie van het gasreservoir wordt veroorzaakt, dan wel wordt versterkt. De bodemdaling door compactie van het gasreservoir verloopt namelijk traag en met een gradiënt die visueel op perceelniveau niet waarneembaar zal zijn.

Bijdrage aan de opgetreden bodemdaling door verweking (trillingscompactie)

Om te kunnen beoordelen of de mogelijk opgetreden verweking tijdens de zwaarste aardbevingsituaties kunnen leiden tot significante (verschil)zakkingen van de drainage is de maximale zakking ten gevolge van verdichting na verweking berekend. Hierbij is uitgegaan van een bovengrensbepaling bestaande uit een combinatie van de meest verwekingsgevoelige bodemopbouw, een conservatief hoge grondwaterstand gelijk aan maaiveldniveau en de hoogste representatieve PGA-waarde.

Voor de verwekingsanalyse is de maatgevende PGA-waarde bepaald uit de KNMI-metingen van de meest nabij gelegen aardbevingsevents. Deze zijn vergeleken met de locatiespecifieke PGA-waarden afkomstig van de NPR Webtool (scenario V6T4) voor een terugkeertijd van 95 jaar (SD en DL voor beoordeling van niet-seismische elementen). Hieruit is de hoogste piekgrondversnelling gekozen - welke de maximaal gemeten waarden betreffen – en deze zijn vervolgens toegepast voor de analyses.

De verweking en verdichting is berekend conform bijlage D en E uit de NPR 9998:2018. Uit de verwekingsanalyse volgt dat met name de ondiep gelegen zand- en wadzandlagen, die zich op 1,0 tot 4,5 meter onder maaiveldniveau bevinden, verwekingsgevoelig kunnen zijn. In deze lagen is de compactie door verweking berekend. De dieper gelegen zand- en wadzandlagen zijn over het algemeen minder verwekingsgevoelig en laten nagenoeg geen verwekingseffecten zien.

Voor de onderzoekslocatie Godlinze bedraagt de maximale zakking 2,0 mm. Deze maximaal optredende zakking is kleiner dan de maximaal toelaatbare zakkingseis van 30 mm (die als functionele eis is vastgesteld op basis van de halve draindiameter in verband met het voorkomen van luchtinsluiting in de drains).

Uit de gevoeligheidsanalyse naar de zakkingsgevoeligheid versus de piekgrondversnelling uit paragraaf 3.6.3 volgt, dat in het geval van een veel zwaardere aardbeving (beschouwd is tot een maximum PGA van 0,3 g) de zakkingen weliswaar groter zullen zijn, maar ook dan niet de toelaatbare zakking van 30 mm blijken te overschrijden.

Bijdrage aan de opgetreden bodemdaling door overige bodemdalingsprocessen

Als gevolg van eerdere peilverlaging (medio 1977 ter compensatie van de bodemdaling door gaswinning) en tijdelijk drogere omstandigheden (zomers van 2018, 2019 en 2020) kan op deze pilotlocatie wel enige rijping en krimp van klei en/of samendrukking van klei- en veenlagen zijn opgetreden, wat (tijdelijk) tot ongelijkmatige bodemdaling kan hebben geleid. Dit geldt vooral voor de kleiige profielen, waarbij zich kleilagen bevinden rond de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand. Bij nattere omstandigheden zal de kleigrond (deels) weer zwellen waardoor het proces krimp een beperkt effect (maximaal enkele centimeters) heeft op de hoogteligging.

De combinatie van een peilverlaging en aanwezigheid van (slappe) klei en veenlagen kan mogelijk tot compactie van samendrukbare lagen (zetting) hebben geleid. Het is niet aannemelijk dat in de periode 2012 - 2020 rijping, krimp en samendrukking van klei en veenlagen (zetting) hebben geleid tot maaiveldhoogteverschillen die visueel op perceelsniveau waarneembaar zijn (maximaal enkele centimeters).

Kunnen er op basis van beschikbare data en uit te voeren hoogtemetingen laagtes in agrarische percelen worden geïdentificeerd?

Op basis van de hoogtemetingen in 2020 (en interpolatie van de metingen) zijn er duidelijk waarneembare laagtes in de percelen te identificeren. Hierbij wordt opgemerkt dat deze laagtes (deels) ook zichtbaar zijn in hoogtegegevens in de periode van voor de geïnduceerde aardbevingen (AHN2 uit 2009).

Hebben geïnduceerde aardbevingen mogelijk invloed gehad op de vlakteligging van het maaiveld en/of de drainage?

Op basis van de theoretisch maximaal berekende optredende maaiveldzakking (op basis van de uitgangspunten zoals vermeld in paragraaf 4.6.1) en maximaal gemeten maaiveldversnellingen, kan worden geconcludeerd dat het effect van verweking tot nu toe weinig tot geen invloed heeft gehad op het functioneren van de drainage en de vlakteligging van het maaiveld.

De resultaten van de drainagemetingen tonen over de delen van gemeten drains geen opvallende (lokale) verzakkingen of een 'golvend' verloop. De gemeten drains liggen momenteel voldoende vlak om adequaat te kunnen functioneren. Alle ingemeten drains voldoen aan de vlakheidseis om luchtinsluiting te voorkomen.

Aangezien circa 13% (> 5% is de norm) van de totale drainlengte van de drains uit 2012 is ingemeten en vier drains over vrijwel de volledige lengte zijn gemeten, kan er van worden uitgegaan dat de meetresultaten van de vlakteligging van de gemeten drainbuizen voldoende representatief zijn voor de drainage (aangelegd in 2012) voor deze percelen. Uit de vergelijking van de hoogtemetingen met de AHN2, blijkt dat er op een beperkt aantal punten hoogteverschillen berekend zijn waarvoor met zekerheid kan worden gezegd dat het hoogteverschil groter is dan op basis van compactie van het gasreservoir te verwachten is. Deze punten liggen echter vooral aan de rand van de percelen en rondom het deel met de slootdemping tussen perceel 1 en 2. De overige hoogtemetingen en berekende hoogteverschillen tonen geen duidelijke toegenomen ongelijkmatigheid, of toename van een golvend verloop van het maaiveld, aan.

Wat zijn de mogelijke oorzaken van opgetreden ongelijkmatige bodemdaling (laagtes in percelen)?

Op basis van de resultaten van de hoogtemetingen is niet aangetoond dat de percelen sinds 2009 als gevolg van geïnduceerde aardbevingen ongelijkmatig zijn gezakt, of een golvend verloop hebben gekregen.

De resultaten van de hoogtemeting in 2020 laten een vergelijkbaar hoogtebeeld zien in vergelijking met de historische hoogtebestanden (AHN2 en AHN3). Ook de resultaten van drainagemetingen tonen geen opvallende (lokale) verzakkingen. De gemeten drainagebuizen liggen momenteel voldoende vlak om adequaat te kunnen functioneren.

6.2.2 Discussie

Verweking

Er is in de analyse naar verweking geen rekening gehouden met een sommerend effect, omdat de meeste zakking bij de zwaarste beving optreedt. Omdat de pakking van het zand ook toeneemt na elke beving wordt het zand dus ook minder gevoelig voor toekomstige zakkingen bij een soortgelijke PGA-waarde. Bij een hogere PGA-waarde zouden er wel weer nieuwe zakkingen kunnen ontstaan, vandaar de gevoeligheidsanalyse waarbij met significant hogere versnellingen is gerekend.

De berekende zakking van elke beving zou wel kunnen worden opgeteld, maar dat zou voor de grootste berekende zakking leiden tot een toename van circa 5% (maximaal circa 0,1 mm). De conclusie of dit tot schade aan de drainage door zakking zal leiden blijft daarmee ongewijzigd, ook gelet op de uitgevoerde gevoeligheidsanalyses waarin met mogelijk nog hogere versnellingen is gerekend.

Als nulsituatie is uitgegaan van de eerste zwaarste gemeten aardbeving en de uitgevoerde sonderingen. De berekende zakkingen zijn vervolgens gebaseerd op de beschikbare metingen en uitgevoerde sonderingen. Niet kan worden uitgesloten dat er eerdere, niet geregistreerde lichtere aardbevingen hebben plaatsgevonden welke nog van invloed zouden kunnen zijn geweest op zakkingen, of dat de gemeten conusweerstand al enige verdichting heeft gehad. Er zijn echter geen sonderingen van de onderzoekslocaties van voor de start van de bevingen beschikbaar om dit te verifiëren.

Aangezien eventuele eerder opgetreden verdichtingen in principe al indirect zijn meegenomen in de gemeten conusweerstand, zijn de uitgevoerde sonderingen als nulmeting aangehouden. Het zou mogelijk kunnen zijn dat de aangetroffen bodemlagen bij de eerste metingen een iets lossere pakking hadden. Echter gezien de hoogte van de seismische belasting zou dit verschil niet significant veel groter zijn wat nog zou kunnen bijdragen tot het overschrijden van de zakkingseis om luchtinsluiting in de drains te voorkomen.

Aan de hand van de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse is geprobeerd zoveel mogelijke onzekerheden in de seismische belasting mee te nemen om te kijken wat het theoretische effect zou kunnen zijn op de zakking. Hieruit volgt dat de berekende zakking de zakkingseis (om luchtinsluiting in drains te voorkomen) niet zou kunnen overschrijden en dat daarmee een andere conclusie zou volgen met betrekking tot berekende zakking.

Resultaten metingen vlakteligging drainage

Bij één drain kwam de drainreiniger slechts circa maximaal 20 m in de buis. Meest aannemelijke oorzaak is een mogelijke technische beschadiging van de drain die bij de aanleg is veroorzaakt. Om dit met meer zekerheid te zeggen dient deze drain op de locaties van de stagnatie te worden opgegraven en te worden geïnspecteerd.

Bij drie metingen bereikte de sensor en drainreiniger niet de gehele drainlengte. De meest aannemelijke oorzaken zijn een te hoge weerstand en/of een mogelijke technische beschadiging van de drain die tijdens de aanleg is ontstaan. Om dit met meer zekerheid te zeggen dienen de drains op de locaties van de stagnatie te worden opgegraven en te worden geïnspecteerd.

Overige bodemdalingsprocessen

Niet uitgesloten is dat door een combinatie van bodemdalingsprocessen en mogelijke verschillen in bodemopbouw en -eigenschappen (op korte afstand) lokaal hoogteverschillen aan maaiveld kunnen zijn ontstaan. Indien dit het geval is, zullen de tussen 2009 en 2020 eventueel ontstane hoogteverschillen voor deze pilotlocatie echter kleiner zijn dan circa 21 centimeter, waardoor deze binnen foutmarge van de AHN2 en hoogtemetingen vallen en derhalve niet met zekerheid kunnen worden aangetoond.

De mogelijke bijdrage van de bodemdalingsprocessen rijping, krimp en samendrukking van samendrukbare lagen (klei- en veen) is niet gekwantificeerd. Voor rijping en krimp ontbreken hiervoor betrouwbare parameters en modellen en bovendien is de verwachte bijdrage beperkt. Voor het berekenen van de omvang van de zakking als gevolg van samendrukking van klei- en veenlagen (door een peilverlaging) zijn wel modellen beschikbaar.

Aangezien de peilverlaging medio 1977 is doorgevoerd en de meeste zetting kort na een peilverlaging plaatsvindt, zal de bijdrage door compactie van samendrukbare lagen klei en veen (zetting) aan ongelijkmatige daling tussen de periode 2012 – 2020 echter verwaarloosbaar zijn.

6.3 Representativiteit pilotlocaties gaswinningsgebied Groningen

De Agrarische Tafel concludeert op basis van de resultaten van de onderzochte pilotlocaties Loppersum en Godlinze dat er geen algemene conclusies kunnen worden verbonden betreffende de eenduidige oorzaak van ongelijkmatige bodemdaling.

Op basis van de resultaten van de onderzochte pilotlocaties Loppersum en Godlinze en de eerder onderzochte pilotlocaties [1] concludeert Sweco dat de oorzaken van ongelijkmatige bodemdaling op perceelsniveau kunnen verschillen vanwege lokale verschillen in de bodemopbouw, de waterhuishouding (o.a. peilverlagingen), opgetreden grondversnellingen door geïnduceerde aardbevingen en historische activiteiten (bijvoorbeeld slootdempingen). Derhalve zijn de conclusies in dit rapport van toepassing op de pilotlocaties Loppersum (zie onderzoeksgebied in figuur 3.1) en Godlinze (zie onderzoeksgebied in figuur 4.1) en zijn de conclusies niet op voorhand representatief voor andere agrarische percelen in het gaswinningsgebied van Groningen waar sprake is van ongelijkmatige bodemdaling.

7 Aanbevelingen

Op basis van de conclusies van dit onderzoek en de overleggen die met de betrokkenen hebben plaatsgevonden doen wij de aanbevelingen zoals opgenomen in paragraaf 7.1. In paragraaf 7.2 zijn tot slot aanvullende aanbevelingen vanuit de begeleidingscommissie opgenomen.

7.1 Aanbevelingen naar aanleiding van conclusies en overleggen met betrokkenen

[1] Neem kennis van onderzoeksresultaten uit andere relevante onderzoeksprogramma's
Er zijn nog kennishiaten waar nog onderzoek voor moet worden uitgevoerd of al lopende is. Het onderzoeksprogramma DeepNL is hiervan een voorbeeld. Met dit programma willen de onderzoekers het fundamentele begrip van de dynamiek van de diepe ondergrond onder invloed van menselijk ingrijpen zoals bijvoorbeeld gaswinning verbeteren. Aanbevolen wordt de voortgang en resultaten van dergelijke onderzoeken te volgen en met belanghebbenden te delen.

[2] Verzamel en registreer meldingen van agrariërs ten aanzien van ongelijkmatige bodemdaling en/of wateroverlast op agrarische percelen uit het gaswinningsgebied
Aanbevolen wordt meldingen van agrariërs ten aanzien van ongelijkmatige bodemdaling, schade aan drainage en wateroverlast te verzamelen en te registreren. Door een overzicht van meldingen (en omschrijving van het schadebeeld) ontstaat een preciezer beeld van de omvang en kern van de problematiek. Tevens kunnen mogelijk verbanden tussen verschillende meldingslocaties worden gelegd.

[3] Maatwerk in onderzoeksopzet bij toekomstige pilotlocaties
Indien aanvullende locaties op ongelijkmatige bodemdaling en verzakking van drainage worden onderzocht, wordt aanbevolen om voor deze locaties te starten met een bureau-onderzoek. Dit met als doel om mogelijke andere oorzaken van ongelijkmatige bodemdaling op voorhand zo veel mogelijk uit te kunnen sluiten. Op basis van de resultaten van het bureau-onderzoek dient een plan van aanpak voor veldonderzoek te worden opgesteld rekening houdend met het grondgebruik (grasland, akkerbouw) en de informatie over de drainage. Aanbevolen wordt de vlaktemetingen van de drainage als eerste stap in het veldonderzoek uit te voeren en en aan de hand van de resultaten te bepalen of aanvullend onderzoek zoals hoogtemetingen en grondonderzoek noodzakelijk is. Hierbij wordt benadrukt dat de drains voldoende vrij van slib/kleiresten moeten zijn om een zo'n groot mogelijke meetlengte van de drains te bereiken.

[4] Verzamelen extra nulmetingen landbouwdrainage bij aanleg van nieuwe drainage
Om naast de monitoringslocatie in Huizinge meer data te kunnen verzamelen over mogelijke effecten van (ongelijkmatige) bodemdaling en geïnduceerde aardbevingen op landbouwdrainage (vlakteligging en inspoeling), wordt geadviseerd om bij aanleg van nieuwe drainage door grondeigenaren nulmetingen van de vlakteligging uit te voeren. Voorgesteld wordt om de komende vijf jaar jaarlijks op tien verschillende locaties verspreid over het gaswinningsgebied nulmetingen uit te voeren. Hierbij kan worden uitgegaan van één meetdag per locatie (circa vijf drains per locatie kunnen dan worden gemeten afhankelijk van de lengte van de drainbuizen). De voorkeur gaat uit naar percelen die vanaf een verharde weg kunnen worden ingemeten zodat de metingen ook in de nattere perioden kunnen worden uitgevoerd (herfst- en winterperiode).

Na het optreden van een geïnduceerde aardbeving in de nabijheid van een nieuw gedraineerde locatie dient vervolgens een herhalingsmeting op de betreffende locatie te worden uitgevoerd.

Geadviseerd de onderzoeksaanpak in samenspraak met de begeleidingsgroep van dit onderzoek nader uit te werken (zie ook aanbeveling [7]).

[5] Aanvullende metingen vlakteligging drainage locatie Loppersum uitvoeren

Om te voldoen aan de eis voor representativiteit ten aanzien van de te meten lengte van de drainagebuizen en de vlakteligging van de drainage van perceel 2 en 3 op locatie Loppersum, dient op perceel 2 nog minimaal 254 meter extra drainlengte te worden gemeten en op perceel 3 minimaal 382 m extra van de drains uit 1996 en minimaal 311 m extra van de drains uit 2012. Hierbij dienen de drains minimaal over de helft van de totale lengte te worden ingemeten en bij voorkeur over de volledige lengte.

[6] Herstel het vertrouwen bij de ondernemers/bewoners in het gebied

Los van het technische vraagstuk hebben wij gedurende het onderzoek gemerkt dat bij de betrokkenen uit het gaswinningsgebied uiterst veel wantrouwen aanwezig is. De betrokkenen uit het gebied hebben het gevoel dat schademeldingen en -afwikkeling (steeds) worden uitgesteld. Het vertrouwen in een adequate en tijdige afhandeling van (gemelde) en eventuele toekomstige schades is nihil. Aanbevolen wordt hier extra aandacht op te vestigen. Een snelle reactie en het betrekken van de betrokkenen bij vervolgonderzoek kan tot herstel van de vertrouwen leiden.

7.2 Aanbevelingen vanuit de begeleidingsgroep

[7] Monitoring en bemonstering van de grondwaterstanden in de peilbuizen op locatie Loppersum en Godlinze

Op verzoek van de begeleidingscommissie is op beide locaties een peilbuislocatie ingericht. Voor dit onderzoek is de meetperiode van de grondwaterstanden en stijghoogtes van deze peilbuislocaties te kort om mogelijke relaties met ongelijkmatige bodemdaling en/of bodemdalingsprocessen te leggen.

Een langdurige meetreeks van de grondwaterstanden en stijghoogte op deze locaties levert relevante hydrologische informatie die in de toekomst kan helpen om eventuele effecten op de vlakteligging en bodemdalingsprocessen beter te kunnen verklaren danwel te onderbouwen (bijvoorbeeld het effect van langdurige droogte). Ook kan dit informatie opleveren voor het onderbouwen van mogelijke oorzaken van wateroverlast. Aanbevolen wordt daarom om de ingerichte peilbuislocaties te gebruiken voor het monitoren van de freatische grondwaterstanden en de stijghoogten. Overwogen kan worden een datalogger te plaatsen die de grondwaterstanden en stijghoogten automatisch registreert en vastlegt.

Aanbevolen wordt om voor de monitoring een beherende instantie (bijvoorbeeld provincie of waterschap) in te schakelen en duidelijke afspraken te maken over het toekomstig beheer en de monitoring van de peilbuislocaties.

Verziltiging van het grondwater wordt door de betrokkenen als zorgpunt genoemd. Onderzoek naar verziltiging vormde geen onderdeel van dit onderzoek. De geplaatste peilbuizen op de pilotlocaties kunnen indien nodig in de toekomst worden gebruikt voor eventuele bemonstering van het grondwater op chloridegehalte om diffuse/lokale kwel te bepalen/uit te sluiten.

[8] Aanvullend onderzoek bij nulmetingen nieuwe drainage

Geadviseerd wordt om gelijktijdig met de nieuwe onderzoeken in het gaswinningsgebied (de nulmetingen zie aanbeveling nummer [4]) onderzoek te doen naar de mate van vervuiling van de drains (met gronddeeltjes), de eigenschappen van deze gronddeeltjes (lutumgehalte en korrelgrootteverdeling), grondwaterstanden en drainafvoeren.

[9] Onderzoek de mogelijke relatie tussen geïnduceerde aardbevingen en (ongelijkmatige) bodemdaling en inspoeling van gronddeeltjes in de drains

De vermoedelijk sterke vervuiling van de drains op locatie Loppersum met gronddeeltjes roept vragen op. Geadviseerd wordt nader onderzoek te doen naar de mogelijke relatie tussen geïnduceerde aardbevingen en bodemdaling en de inspoeling van gronddeeltjes in landbouwdrainage. Voor geïnduceerde aardbevingen dient de relatie vanuit trillingen/grondversnelling te worden onderzocht en de relatie met onder andere loopzand. Bodemdaling wordt separaat benoemd omdat mogelijke eerste en tweede generatie drainagesystemen (drainage die voor de jaren '90 is aangelegd) door de bodemdaling momenteel (tijdelijk) onder waterpeil uitmonden wat invloed kan hebben op de verweking van de grondlagen rond de drainbuis en daarmee op het risico op inspoeling.

[10] Nader onderzoek locatie Loppersum

Op locatie Loppersum wordt voorgesteld nader onderzoek te doen naar:

- De korrelgrootteverdeling van de uitgespoelde grond uit de drainagebuizen.
- De verticale en horizontale permeabiliteit van de bodem en voorkomen van (schijn)grondwaterstanden.
- De korrelgrootteverdeling en het slibgehalte in slootbodems en een eventuele vergelijking met slibbodems in gebieden met vergelijkbare bodemopbouw zonder bodemdaling/aardbevingen.

[11] Neem kennis van relevante buitenlandse onderzoeken en inzichten

In Nederland is mogelijk geen instituut aanwezig waarbinnen voldoende kennis aanwezig is op het gebied van geïnduceerde aardbevingen. Aanbevolen wordt deze kennis te inventariseren en kennis te nemen van relevante beschikbare kennis en inzichten uit het buitenland .

[12] Onderzoek de oorzaken van de klachten van de percelen met wateroverlast in het aardbevingsgevoelige gebied in relatie tot de profielopbouw, de fysische toestand, de structuur, het gebruik (ook historisch) en de totale ontwateringstoestand van de onderzochte percelen. Vergelijk hierbij de resultaten met locaties in niet-aardbevingsgevoelige gebieden en sluit waar mogelijk aan op reeds lopende onderzoeken naar de oorzaken van wateroverlast die elders in het land worden uitgevoerd.

7.3 Aanbevelingen vanuit de reviewers

De resultaten van de externe reviews zijn terug te vinden in de addendum van dit rapport. De volgende (aanvullende) aanbevelingen/aandachtpunten zijn hieruit gedestilleerd.

[13] Aanbevelingen Deltares

- Aanbevolen wordt de eerdergenoemde aanbevelingen uit te voeren om meer inzicht te krijgen in de oorzaken van de laagtes en afwijkende liggingen. Mogelijk zijn hier locaties bij die meer ongelijkmatige bodemdaling kennen en waar (met behulp van steeds beter geworden satellietmetingen) ook meer kwantitatieve analyses mogelijk zijn;
- Aanvullend dienen ook één of meer referentielocaties te worden toegevoegd buiten het aardbevingsgebied;
- Verder wordt een literatuurstudie aanbevolen die nog tot bredere inzichten zou kunnen leiden.

[14] *Aanbevelingen Bart Schultz*

- Besteed extra aandacht aan de toestand van het omhullingsmateriaal van de oudere drains
- Onderzoek de drains waar de drainreiniger en/of de meting van de vlakteligging stagneerde. Deze drains zouden bijvoorbeeld kunnen worden en het functioneren van deze drains zou kunnen worden onderzocht.
- Wellicht heeft verweking invloed (gehad) op de doorlatendheid van de bovengrond. Dit is naar verwachting mogelijk moeilijk of niet echt aantoonbaar.

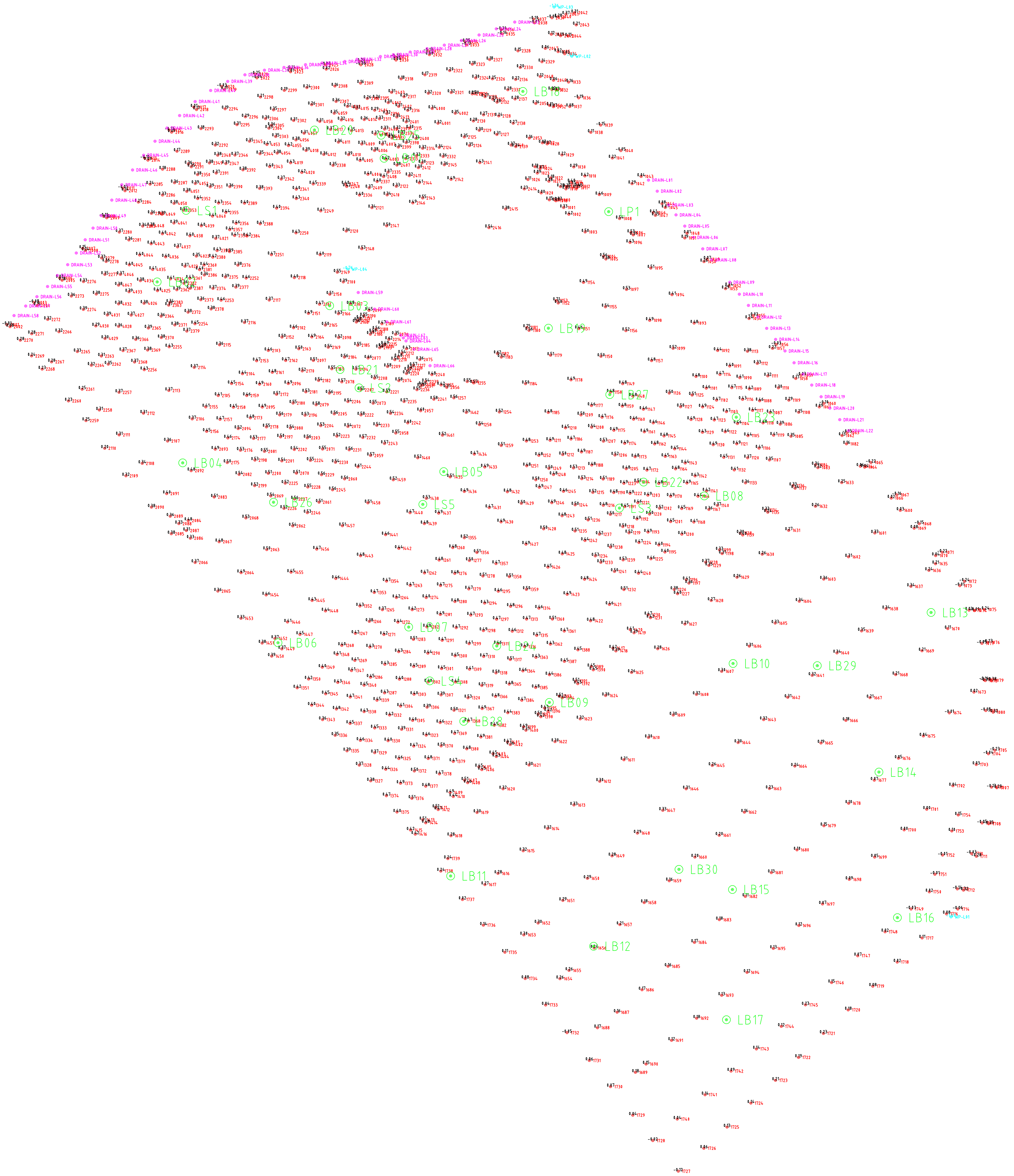
Referenties

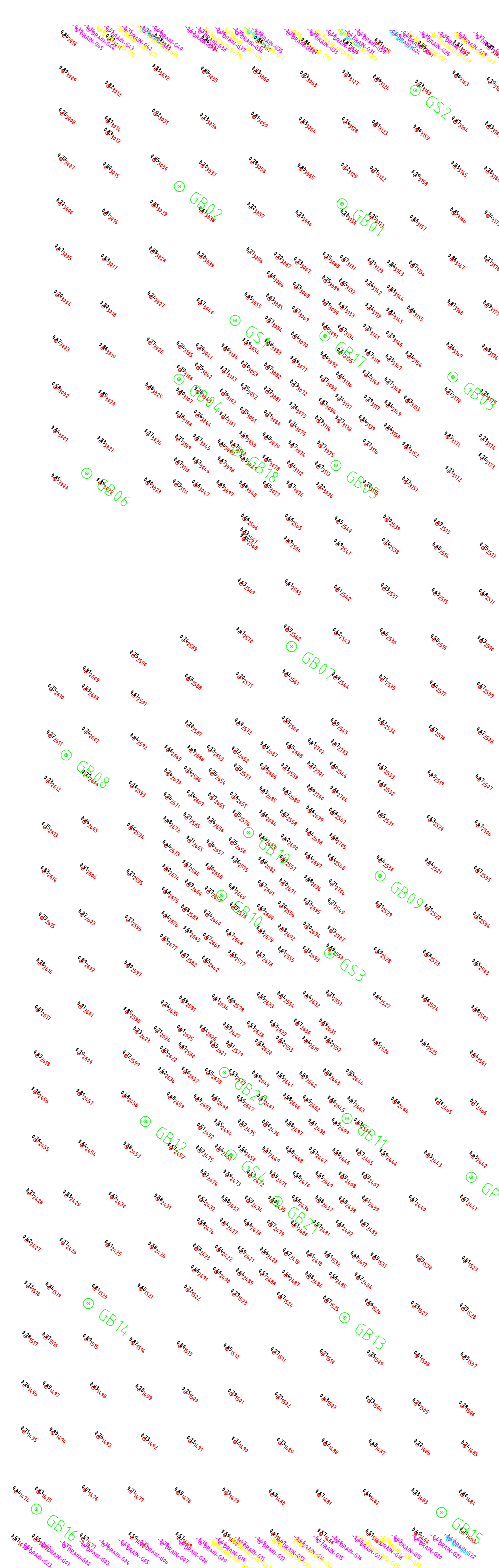
- [1] Sweco, Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen: verkennend onderzoek ongelijkmatige bodemdaling landbouwpercelen op twee pilotlocaties, projectnummer: 341156, referentienummer: SWNL0191333, 5 september 2016, Houten.
- [2] Sweco, Notitie Beantwoording vragen Agrarische Tafel 4 september 2019, Projectnummer: 367825, Referentienummer: Agrarische Tafel 04092019, datum: 24-09-2019
- [3] Sweco, Brief met onderwerp: stand van zaken onderzoeken ongelijkmatige bodemdaling en drainage, Projectnummer: 367825, Referentienummer: SWNL0257356 Groningen, 03-03-2020
- [4] Sweco, Besprekingsverslag: onderzoek bodemdaling en drainage Datum: 31-03-2020, Projectnummer: 367825 Referentienummer: nl 367825 01, Plaats en datum bespreking: Groningen, 13 maart 2020
- [5] Sweco, Besprekingsverslag: startoverleg begeleidingsgroep onderzoek ongelijkmatige bodemdaling en drainage Datum: 10-08-2020, Projectnummer: 367825, Referentienummer SWNL0264810, Plaats en datum bespreking: Groningen, 7 juli 2020
- [6] Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN1, AHN2 en AHN3)
- [7] Alkemade, I., 2020. Mededeling via e-mail, AHN, 22 april 2020
- [8] N. van der Zon, Kwaliteitsdocument AHN-2, versie 1.3, definitief, 14-5-2013.
- [9] Mulder F. 2020. Kadaster Geo-Informatie, directie GVA, mededeling via e-mail, 26 mei 2020
- [10] G. de Lange, J. Gunnink, Y. Houthuessen, R. Muntjewerff, 2012. Bodemdalingskaart Flevoland, Projectnummer: 304424
- [11] Actueel Hoogtebestand Nederland, 2020. <https://www.ahn.nl/kwaliteitsbeschrijving>, website geraadpleegd mei 2020
- [12] Commissie Bodemdaling, persoonlijke mededeling, maart 2016
- [13] Rijkswaterstaat, 2020. Mededelingen via e-mail, B.van Goor -adviseur NAP, 10 juli 2020 en 5 november 2020.
- [14] NAM, 2020. Metingen van GPS monitoring stations in het Groningen-gasveld https://www.nam.nl/feiten-en-cijfers/bodemdaling.html#iframe=L2VtYmVkl2NvbXBvbmVudC8_aWQ9Ym9kZW1kYWxpbnmc, website geraadpleegd september 2020.
- [15] NLOG, 2016. Continue GPS hoogtemetingen NAM Groningen, https://www.nlog.nl/sites/default/files/2016_12%20nam_gps_161231_groningen.pdf, website geraadpleegd september 2020.
- [16] Rijkswaterstaat, <https://geoservices.rijkswaterstaat.nl/geoweb51/index.html?viewer=NAPinfo>, website geraadpleegd september 2020.

- [17] Stowa, 2020. Factsheet bodemdaling, <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/DELTAFACTS/Deltafacts%20NL%20PDF%20nieuw%20format/Bodemdaling%20versie%203.1%20%28feb%202020%29.pdf>, website geraadpleegd september 2020.
- [18] Knot, F. Waterschap Noorderzijlvest, mededeling via e-mail, 31 maart 2020.
- [19] Historische hoogtemetingen: kaartblad 3G en 7E. De metingen voor blad 3G: Nederlandsche Heidemij 1956/1963 Ingenieursbureau Bosma 1962. De metingen voor blad 7E: Nederlandsche Heidemij in 1961 Ingenieursbureau Bosma in 1962 N.V. Grontmij 1959/1960
- [20] NAM, 2015. Bodemdaling door Aardgaswinning – NAM-gasvelden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe, EP Document Nummer.: EP201511213444, december 2015
- [21] AHN, 2020. <https://www.ahn.nl/voortgang-ahn-2019>, website geraadpleegd oktober 2020
- [22] Sweco, 2020. Onderzoekspilots ongelijkmatige bodemdaling en drainage Resultaten bureau-onderzoek voor keuze onderzoekslocaties veldonderzoek, Projectnummer: 367825, referentienummer SWNL0267791, 28-10-2020
- [23] Stouthamer en Berendsen (2000), opgenomen in rapport Bodemdalingskaart Flevoland, referentienummer GM-0042778, Grontmij, TNO & Deltares, 23 maart 2012.
- [24] Kooi, H. (1998). Land subsidence due to compaction in the coastal area of The Netherlands: the role of lateral fluid flow and constraints from well-log data. Global and Planetary change, v. 27, p7-32.
- [25] Commissie Bodemdaling, Bodemdaling door diepe en ondiepe oorzaken in Groningen, document beschikbaar op de website www.commissiebodemdaling.nl, website geraadpleegd november 2020.
- [26] Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V., 2015. Bodemdaling door Aardgaswinning, Nederlandse Aardolie Maatschappij, doc.nr.: EP201006302236, september 2010.
- [27] Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V., 2015. Bodemdaling door Aardgaswinning, NAM-velden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe, Nederlandse Aardolie Maatschappij, doc.nr.: EP201511213444, december 2015.
- [28] Hanssen, R., 2015. Bodemdalingsvariabiliteit uit INSAR data: een studie naar haalbaarheid van het gebruik van 'secundair' bodemdalingssignaal en haar relatie tot aardbevingen in Groningen, TU Delft, version 1.0.
- [29] Hanssen, R., 2015., mededeling via e-mail en telefoon, 19 en 20 oktober 2015, Prof.dr.ir. R.F.Hanssen, Dept. Geoscience and Remote sensing, TU Delft.
- [30] De Bodemdalingskaart van Nederland, 2020. <https://bodemdalingskaart.nl/nl/veel-gestelde-vragen/#q5>, website geraadpleegd november 2020.
- [31] Smet, de L.A.H. en Wagenaar, K., 1957. Rapport betreffende het bodemkundig onderzoek van een door de Tuinbouwstichting Bedum aangekocht bedrijf te Zuidwolde, Stichting voor Bodemkartering
- [32] Gaag van der, P. 2020. Persoonlijke mededeling via e-mail, 2 november 2020
- [33] Koers, R. 2020. Uitvoerder Watersystemen en Waterveiligheid, mededeling via e-mail, waterschap Noorderzijlvest, 11 november 2020.
- [34] NEN 9997-1:2012 Eurocode 7 - Geotechnisch ontwerp van constructies - Samenstelling van: NEN-EN 1997-1 Geotechnisch ontwerp - Deel 1: Algemene regels; NEN-EN 1997-1/NB Nationale bijlage bij NEN-EN 1997-1 en NEN 9097-1: Aanvullende bepalingen voor het geotechnisch ontwerp (ontwerp). ICS 91.080.01; 93.020.

- [35] Yoshimine, M., H. Nishizaki, K. Amano, and Y. Hosono, 2006. Flow deformation of liquefied sand under constant shear load and its application to analysis of flow slide of infinite slope, *Soil Dyn. and Earthquake Engrg.*, 26 (2-4), 253-264.
- [36] NPR 9998:2018 - Beoordeling van de constructieve veiligheid van een gebouw bij nieuwbouw, verbouw en afkeuren – Grondslagen voor aardbevingsbelastingen: geïnduceerde aardbevingen
- [37] Green, R.A., Groningen-Specific Liquefaction Evaluation – Summary; Report for NAM, 2018
- [38] Sweco, Besprekingsverslag: onderzoek bodemdaling en drainage
Datum: 11-11-2020, Projectnummer: 367825, referentienummer
SWNL0270926.docm, Plaats en datum bespreking: Groningen, 29-10-2020.
- [39] KNMI, <http://rdsa.knmi.nl/opencms/nl-rrsm/index.html>
- [40] Kiwa Nederland b.v., Beoordelingsrichtlijn voor het KOMO® procescertificaat of KOMO®-attest-met-productcertificaat voor buisdrainage, BRL1411, 3 december 2013.
- [41] NAM, 2020. Bodemdaling door aardgaswinning in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe, Status rapport 2020 en Prognose tot het jaar 2080, EP Document Nummer. EP202011201629, december 2020.
- [42] Goor, van B. 2021. Mededeling via e-mail, Adviseur geodetische infrastructuur, Rijkswaterstaat, 6 april 2021
- [43] Kooistra, JK. 2021. Mededeling overleg met begeleidingsgroep 4 mei 2021.

Bijlage 1 Resultaat hoogtemetingen en locaties, boringen en
peilbuizen





Bijlage 2 Resultaten grondonderzoeken

Geotechnisch grondonderzoek
Pilot ongelijkmatige bodemdaling
Loppersum en Godlinze

In opdracht van:
Sweco Nederland B.V.

Rapport
VWB104186/20/SWE/1340


Auteur: R. Smit Datum: 20 oktober 2020 Projectnummer: 104186 - 367825
--

Verantwoording

Titel : Rapportage geotechnisch grondonderzoek
Datum : 20 oktober 2020
Status : Definitief
Projectnaam : Geotechnisch grondonderzoek Loppersum en Godlinze
Projectnummer : 104186
Opdrachtgever : Sweco Nederland B.V.
Projectnummer opdrachtgever : 367825
Referentie : VWB104186/20/SWE/1340

Opgesteld door : 
R. Smit

Gecontroleerd door : 
W. Berns

Goedgekeurd door : 
R. Bergijk

VWB Bodem B.V.

Kanaal Zuid 290

7364 AJ Lieren

Tel.

: 055-5068231

E-Mail

: info@vwb.nl

Internet

: www.vwb.nl

Inhoudsopgave

Inleiding	3
1 Geotechnisch grondonderzoek	4
1.1 Algemeen	4
1.2 Normen en richtlijnen	4
1.3 Veldwerk	4
1.4 Classificatie middels wrijvingsgetal	5

Bijlagen

Bijlage 1: Tekeningen

Bijlage 2: Sondeergrafieken

Bijlage 3: Boorstaten

Bijlage 4: Tabel X, Y (RD) en Z (NAP)

Inleiding

VWB Bodem B.V. heeft van Sweco Nederland B.V. opdracht gekregen voor het uitvoeren van een geotechnisch grondonderzoek te Loppersum en Godlinze.

Dit onderzoek is uitgevoerd ten behoeve van het geotechnisch ontwerp voor een pilot ongelijkmatige bodemdaling te Loppersum en Godlinze.

In het voorliggende rapport wordt het overzicht en de resultaten van het uitgevoerde geotechnisch grondonderzoek gepresenteerd.

1 Geotechnisch grondonderzoek

1.1 Algemeen

Dit hoofdstuk bevat de opsomming en de resultaten van het uitgevoerde geotechnisch grondonderzoek.

1.2 Normen en richtlijnen

Het geotechnisch grondonderzoek is uitgevoerd conform de volgende normen en richtlijnen.

De standaard toegepaste conus bij VWB Bodem is de “elektrische kleefmantelconus”, waarmee de conusweerstand, de plaatselijke wrijvingsweerstand en de helling gelijktijdig worden gemeten. Sinds februari 2013 is de nieuwe norm NEN-EN-ISO 22476-1:2012/C1:2013 *Geotechnisch onderzoek en beproeving - Veldproeven – Deel 1: Elektrische sondering met en zonder waterspanningsmeting* van toepassing als vervanging van NEN 5140, die is terug getrokken. In NEN 9997-1 wordt echter nog wel verwezen naar NEN 5140.

Tabel 1.2 Normen en richtlijnen

Kenmerk	Titel	Jaar
NEN 5104	Geotechniek – Classificatie van onverharde grondmonsters	1989
NEN 9997-1	Geotechniek – Geotechnisch ontwerp van constructies	2011
NEN 22476-1	Geotechniek – Geotechnisch onderzoek en beproeving - veldproeven	2012

1.3 Veldwerk

Het uitgevoerde veldwerk heeft bestaan uit de onderstaande onderdelen:

- 9 Elektrische sonderingen tot een diepte van 30 m – mv inclusief meting van de plaatselijke kleef en plaatselijke waterspanning;
- 6 Handboringen tot een diepte van 2 m – mv ten behoeve van een classificatie van de bodemopbouw;
- 45 Handboringen tot een diepte van 6 m – mv ten behoeve van een classificatie van de bodemopbouw;
- 2 Machinale boringen tot een diepte van 16 m – mv ten behoeve van een classificatie van de bodemopbouw;
- Het plaatsen van 1 peilbuis tot een diepte van 2.40 m – mv;
- Het plaatsen van 1 peilbuis tot een diepte van 2.60 m – mv;
- Het machinaal plaatsen van 1 peilbuis tot een diepte van 14 m – mv;
- Het machinaal plaatsen van 1 peilbuis tot een diepte van 16 m – mv;
- Het inmeten van de sonderingen en machinale boringen in X, Y (RD) en Z (NAP).

Het veldwerk heeft plaatsgevonden week 34 en 35 2020. De sonderingen zijn uitgevoerd gebruik makend van onze 180 kN Track-Truck.

Omtrent de uitvoering van het veldwerk zijn geen bijzonderheden te melden.

In bijlage 1 is een overzichtstekening opgenomen van de locaties van het veldwerk. De sondeerresultaten zijn opgenomen in bijlage 2. In bijlage 3 zijn de boorstaten opgenomen van de boringen. De hoogten (Z) van de onderzoeklocaties zijn ingemeten d.m.v. RTK GPS in meters ten opzichte van NAP. Voorts zijn de onderzoeklocaties vastgelegd in X en Y coördinaten volgens het Rijksdriehoekstelsel (RD), weergegeven in bijlage 4.

1.4 Classificatie middels wrijvingsgetal

De conusweerstand geeft informatie met betrekking tot de pakking van de aanwezige grondsoorten. Het quotiënt van de mantelwrijving en conusweerstand is het wrijvingsgetal. Het wrijvingsgetal, in combinatie met de conusweerstand, geeft een indicatie voor de betreffende grondsoort. In de onderstaande tabel 1.1 is een overzicht gegeven van veel voorkomende relaties tussen grondsoort en wrijvingsgetal, zie ook bijlage 2.

Tabel 1.1

Grondsoorten

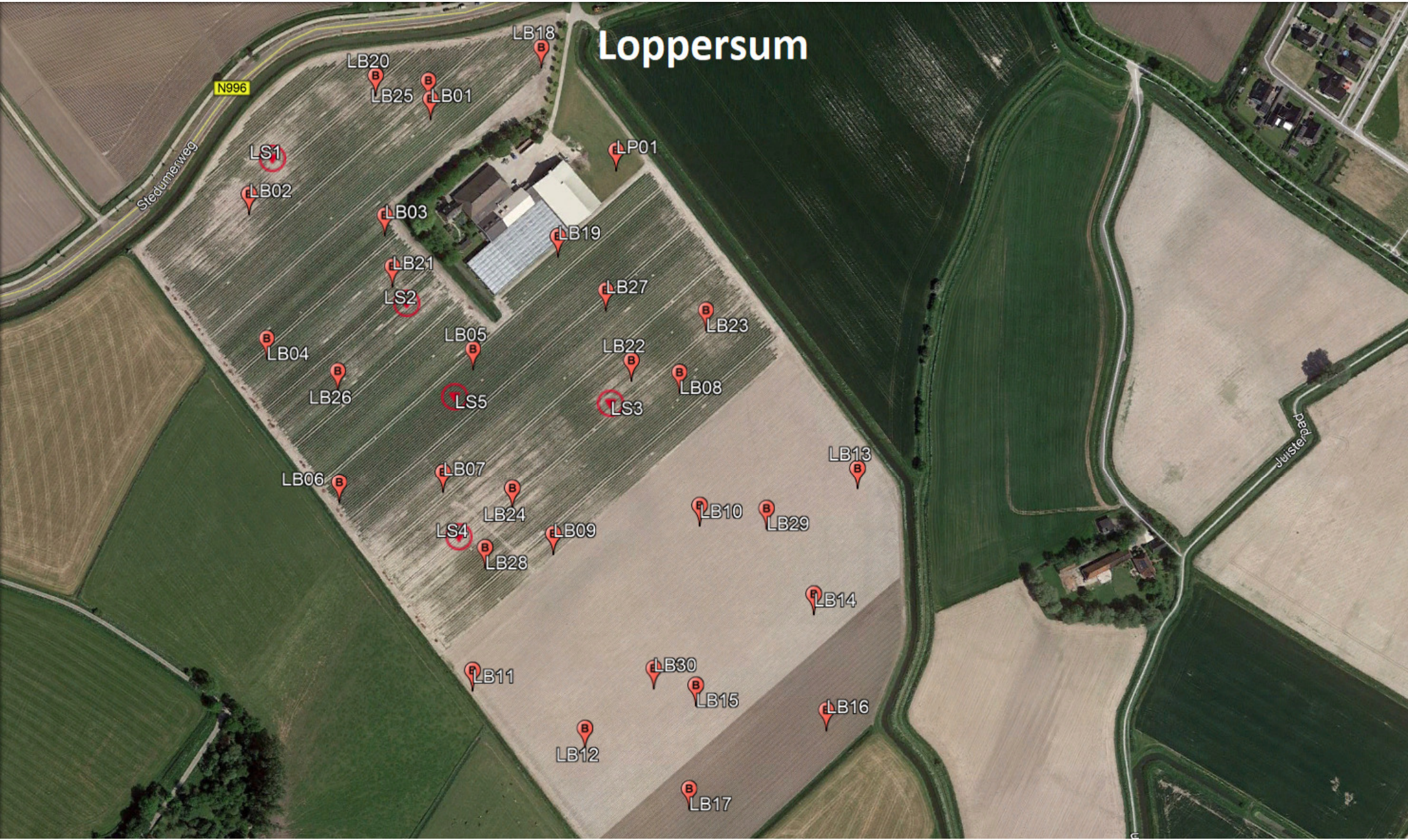
Grondsoort	Wrijvingsgetal in %
Zand	ca. 0,5 tot 1,2
Silthoudend zand	ca. 1 à 2
Leem	ca. 1,5 à 3
Klei	ca. 3 à 5
Potklei	ca. 5 à 7
Veen	ca. 6 à 10

In geroerde grond en in grond boven de grondwaterspiegel kunnen grote afwijkingen ten opzichte van de genoemde waarden voorkomen en gelden deze waarden niet.

Bijlage 1

Tekeningen

Loppersum



N996

Stedumerweg

Jwister

LS1

LB02

LB20

LB25

LB01

LB18

LP01

LB03

LB19

LB21

LS2

LB27

LB04

LB05

LB22

LB23

LB26

LS5

LS3

LB08

LB06

LB07

LB13

LB24

LB10

LB29

LS4

LB09

LB28

LB14

LB11

LB30

LB15

LB12

LB16

LB17

Godlinze



GS2

GB01

GB02

GB17

GB03

GS1

GB04

GB18

GB05

GB06

GB07

GB19

GB09

GB08

GB10

GS3

GP01

GB20

GB11

GB12

GS4

GB21

GB13

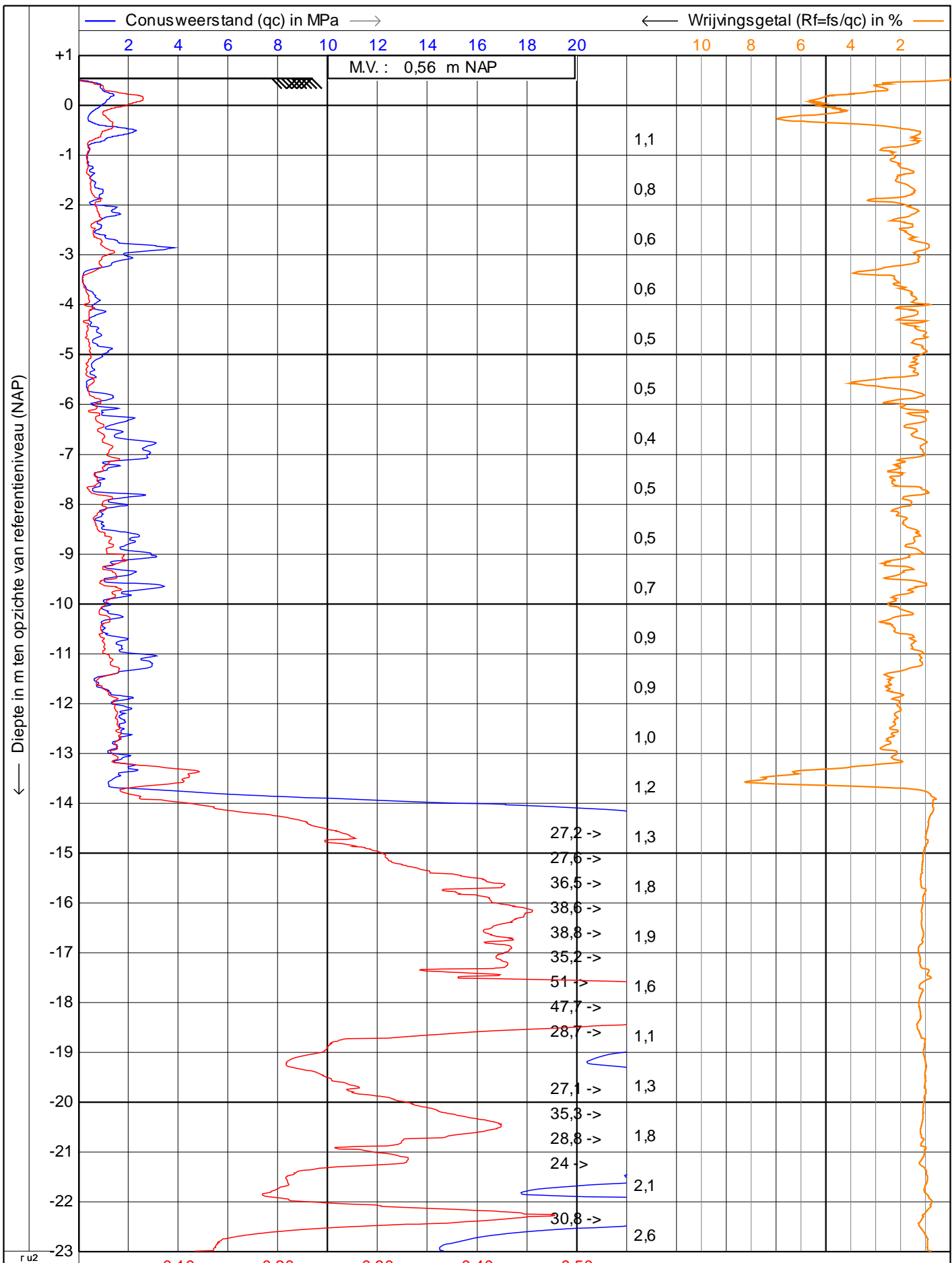
GB14

GB15

GB16

Bijlage 2

Sondeergrafieken



← Wrijvingsweerstand (fs) in MPa →

Helling (I) in graden



ISO 22476-1 Application class 3

Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**

Locatie : **Godlinze**

Positie : **248097,14, 601688,5 RD**

Datum : **19-8-2020**

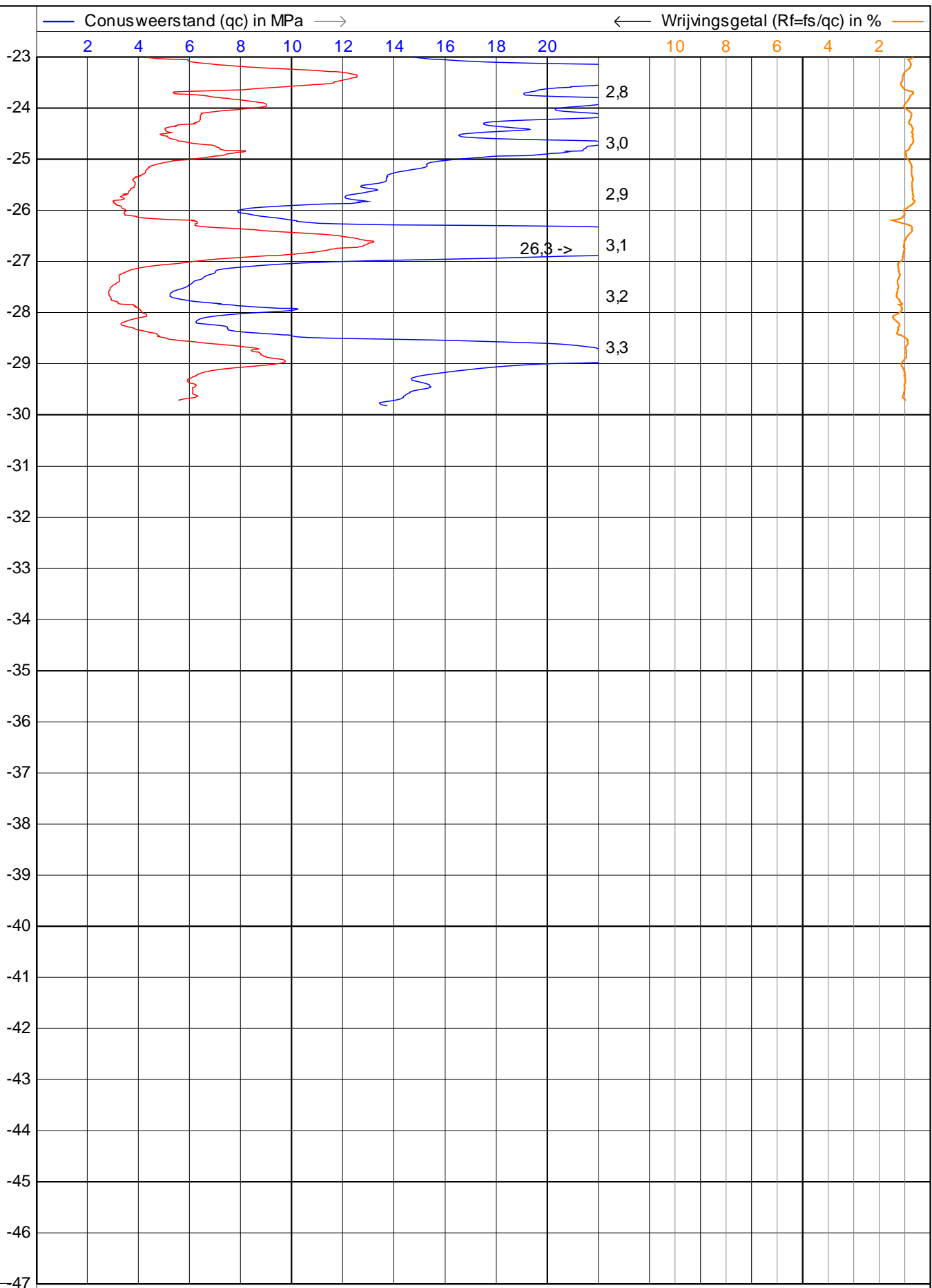
Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**

Projectnr. : **367825**

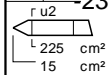
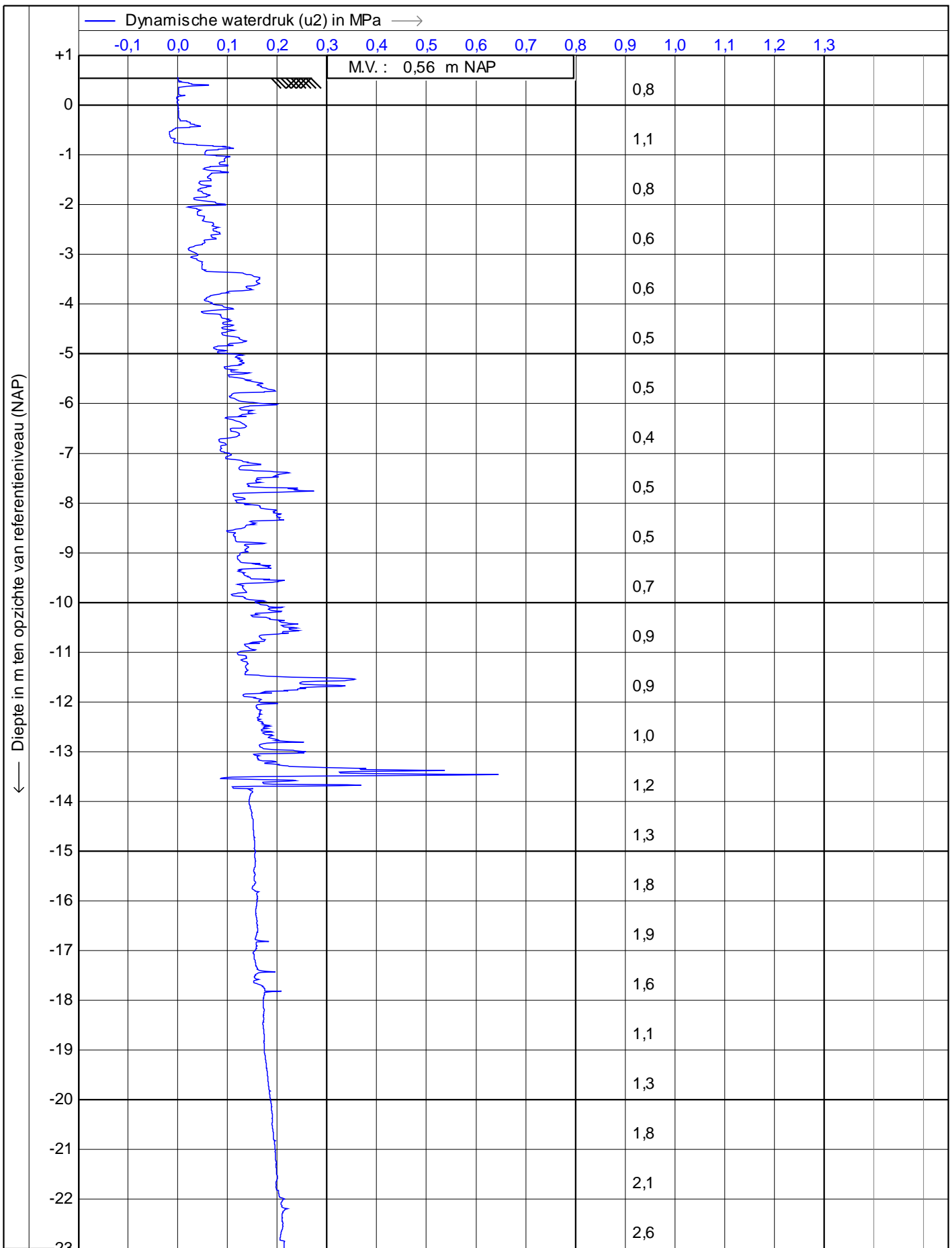
Sondeernr. : **GS1**

1/4

Diepte in m ten opzichte van referentieniveau (NAP)



ISO 22476-1 Application class 3		Datum : 19-8-2020	
Project : Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling		Conusnr. : C15CFIIP.S191007	
Locatie : Godlinze		Projectnr. : 367825	
Positie : 248097,14, 601688,5 RD		Sondeernr.: GS1	2/4



Helling (l) in graden



ISO 22476-1 Application class 3

Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**

Locatie : **Godlinze**

Positie : **248097,14, 601688,5 RD**

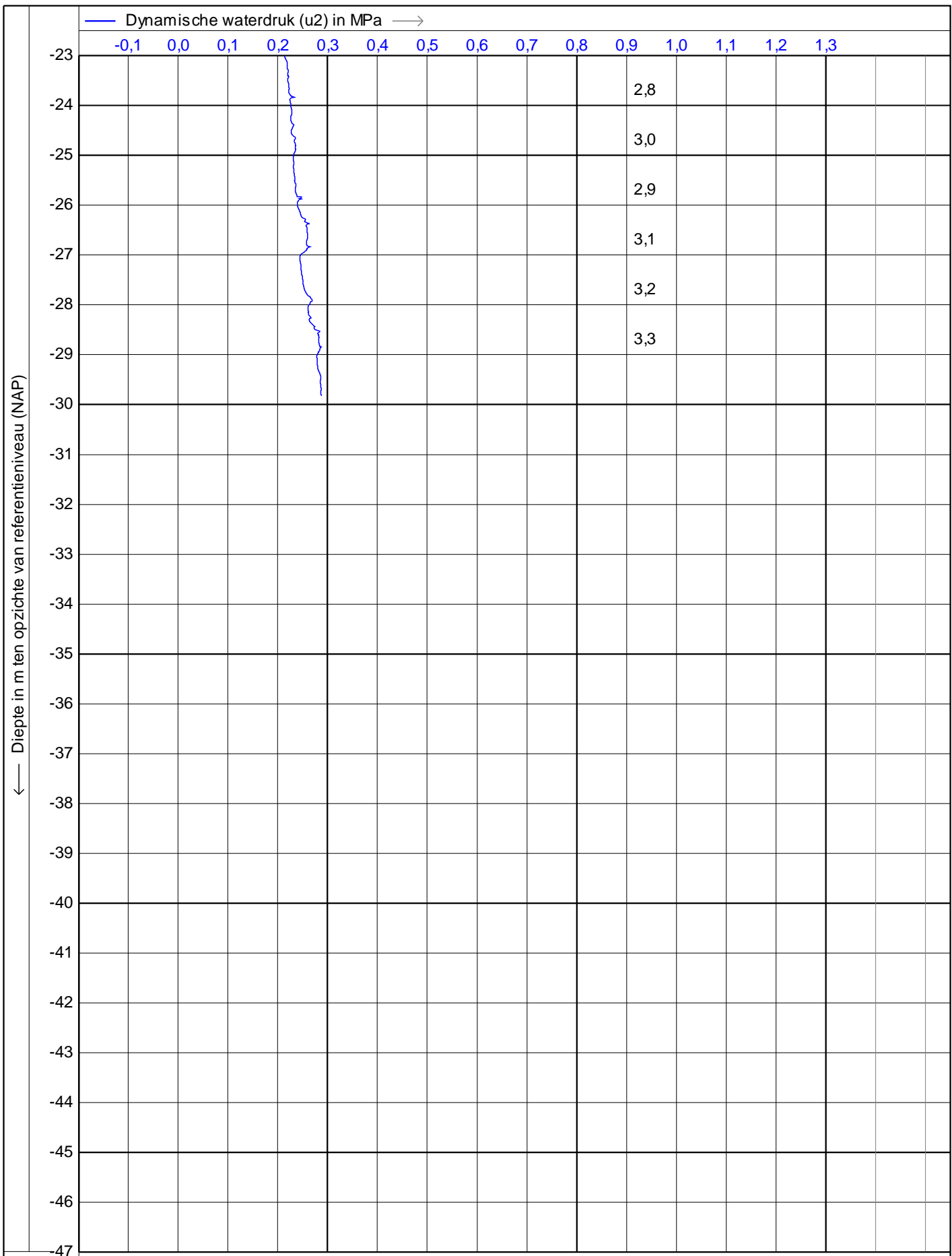
Datum : **19-8-2020**

Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**

Projectnr. : **367825**

Sondeernr.: **GS1**

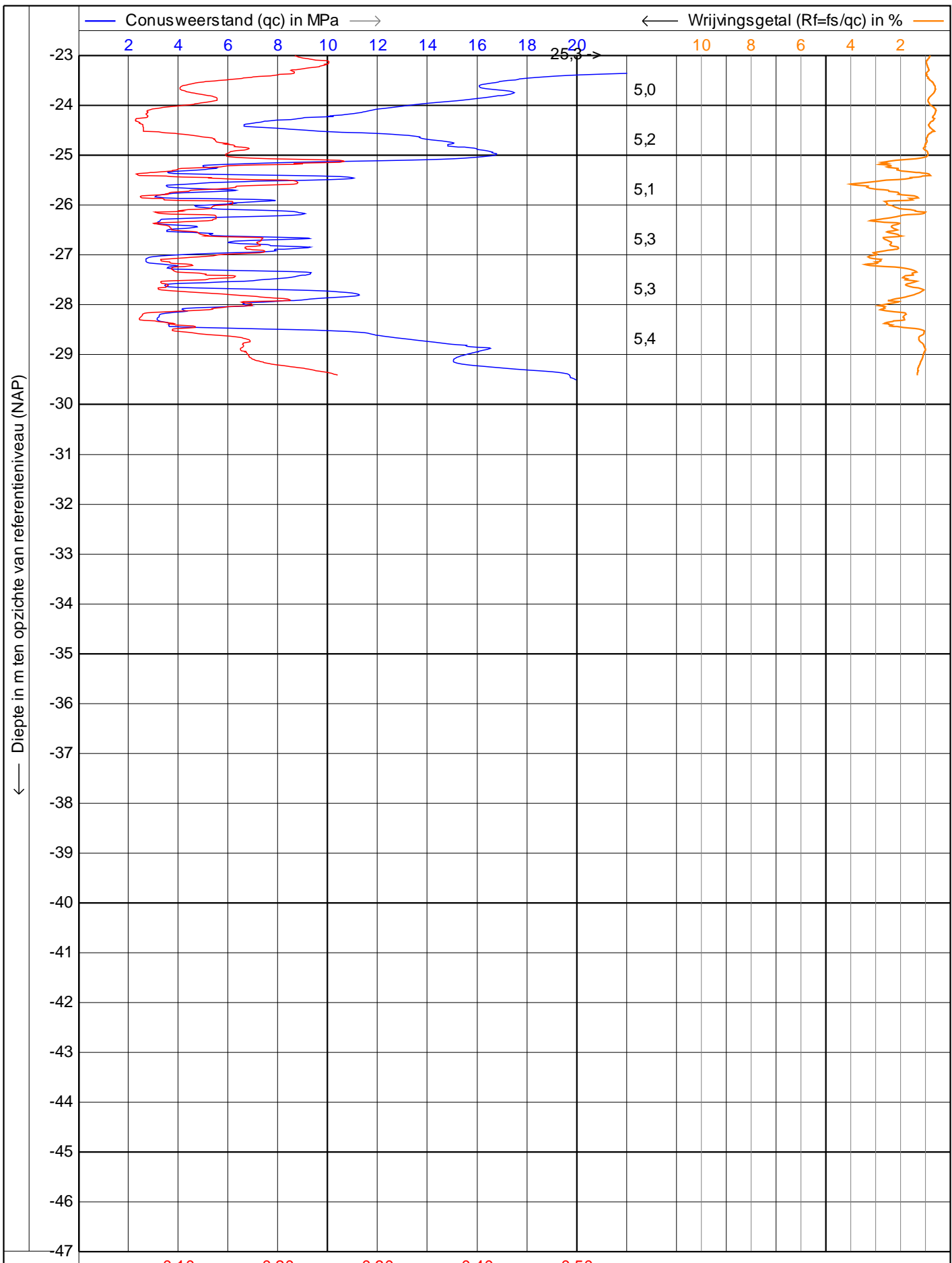
3/4



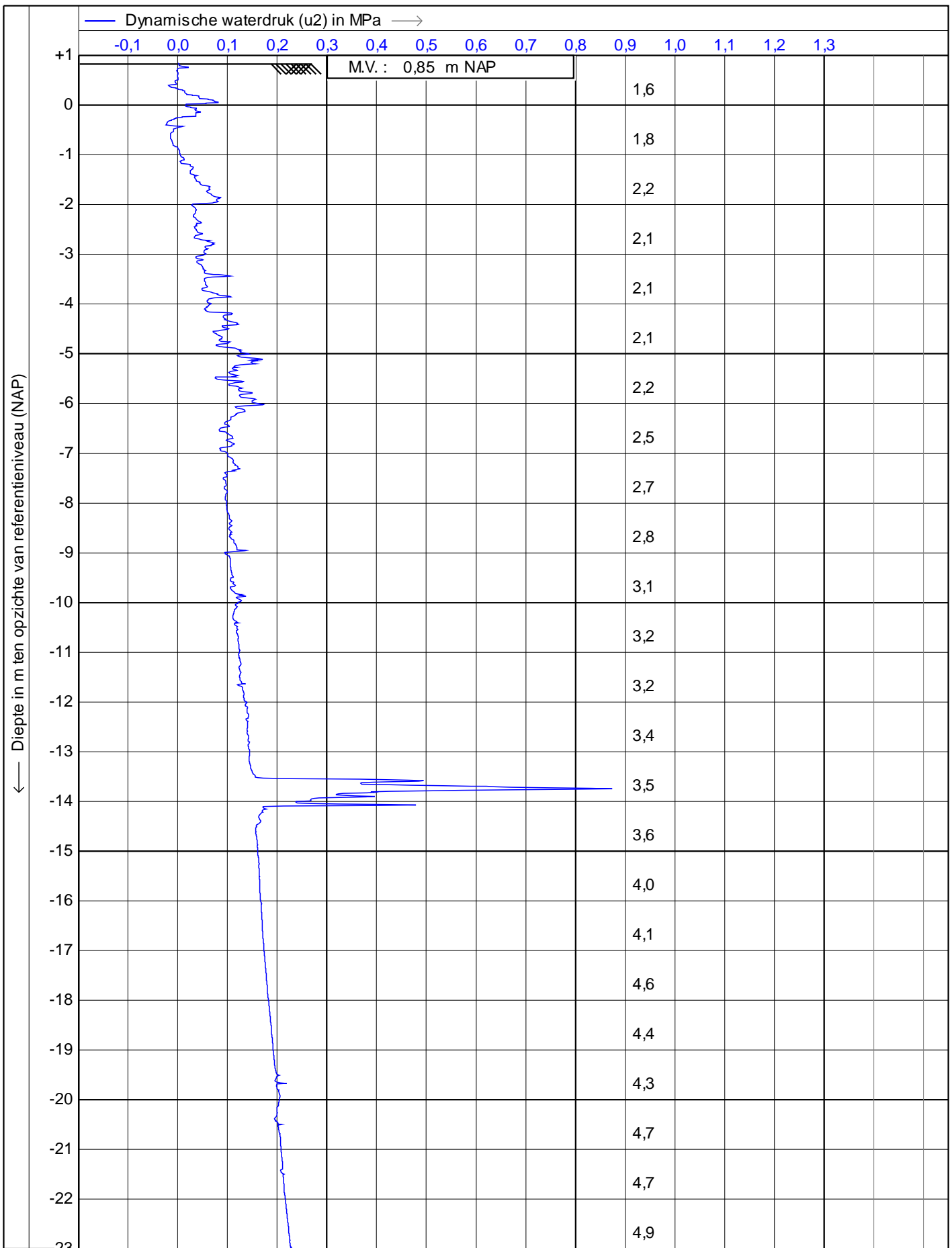
Helling (l) in graden



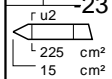
ISO 22476-1 Application class 3		Datum : 19-8-2020	
Project : Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling		Conusnr. : C15CFIIP.S191007	
Locatie : Godlinze		Projectnr. : 367825	
Positie : 248097,14, 601688,5 RD		Sondeernr.: GS1	4/4



ISO 22476-1 Application class 3		Datum : 18-8-2020	
Project : Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling		Conusnr. : C15CFIIP.S191007	
Locatie : Godlinze		Projectnr. : 367825	
Positie : 248104,47, 601813,85 RD		Sondeernr.: GS2	2/4



Diepte in m ten opzichte van referentieniveau (NAP)



Helling (l) in graden

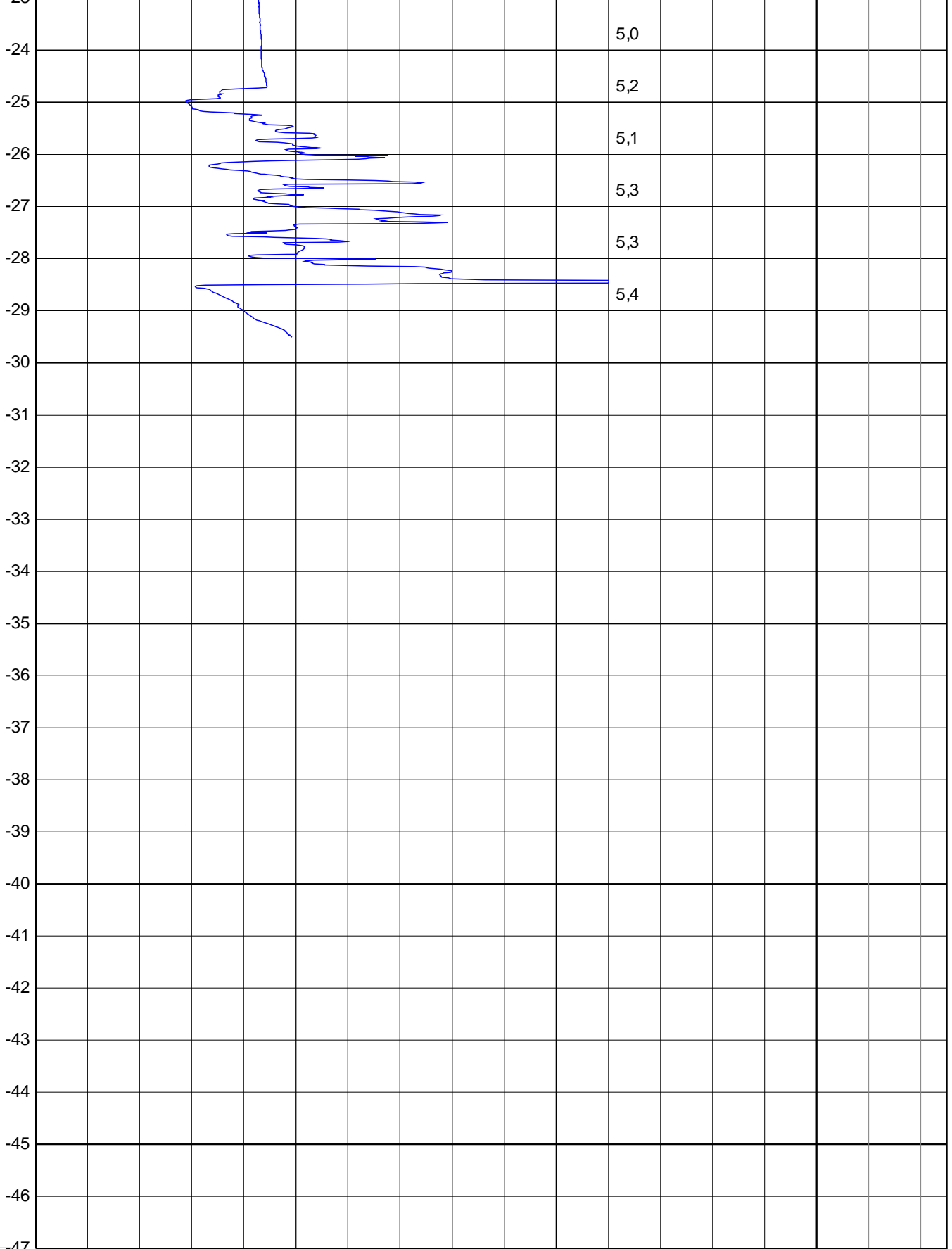


ISO 22476-1 Application class 3		Datum : 18-8-2020	
Project : Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling		Conusnr. : C15CFIIP.S191007	
Locatie : Godlinze		Projectnr. : 367825	
Positie : 248104,47, 601813,85 RD		Sondeernr.: GS2	3/4

Diepte in m ten opzichte van referentieniveau (NAP)

— Dynamische waterdruk (u2) in MPa →

-0,1 0,0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1,0 1,1 1,2 1,3



Helling (l) in graden



ISO 22476-1 Application class 3

Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**

Locatie : **Godlinze**

Positie : **248104,47, 601813,85 RD**

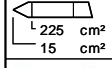
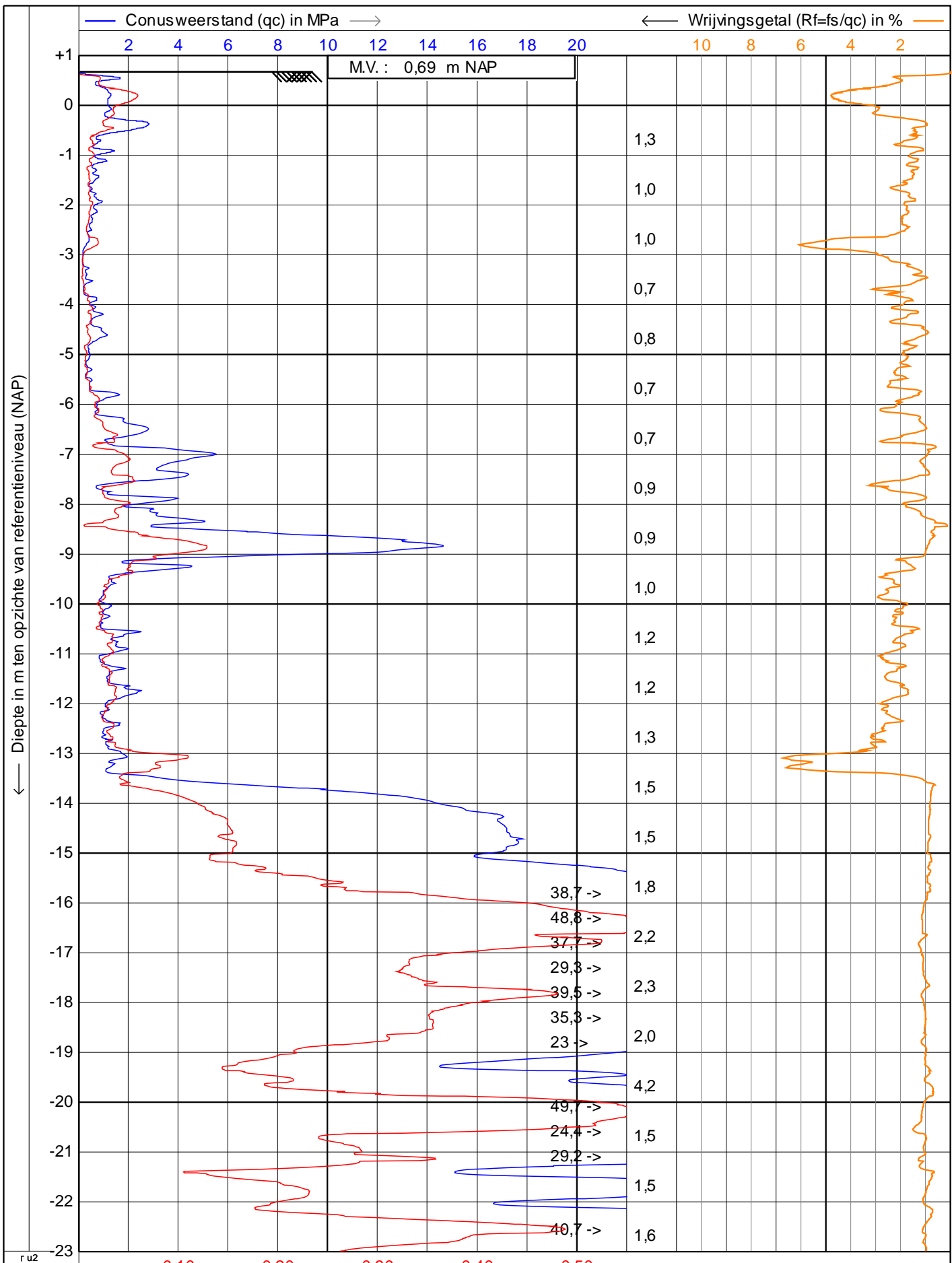
Datum : **18-8-2020**

Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**

Projectnr. : **367825**

Sondeernr.: **GS2**

4/4



ISO 22476-1 Application class 3

Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**

Locatie : **Godlinze**

Positie : **248289,24, 601491,82 RD**

Datum : **19-8-2020**

Conusnr. : **C15CFIP.S191007**

Projectnr. : **367825**

Sondeernr.: **GS3**



← Diepte in m ten opzichte van referentieniveau (NAP)

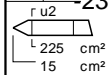
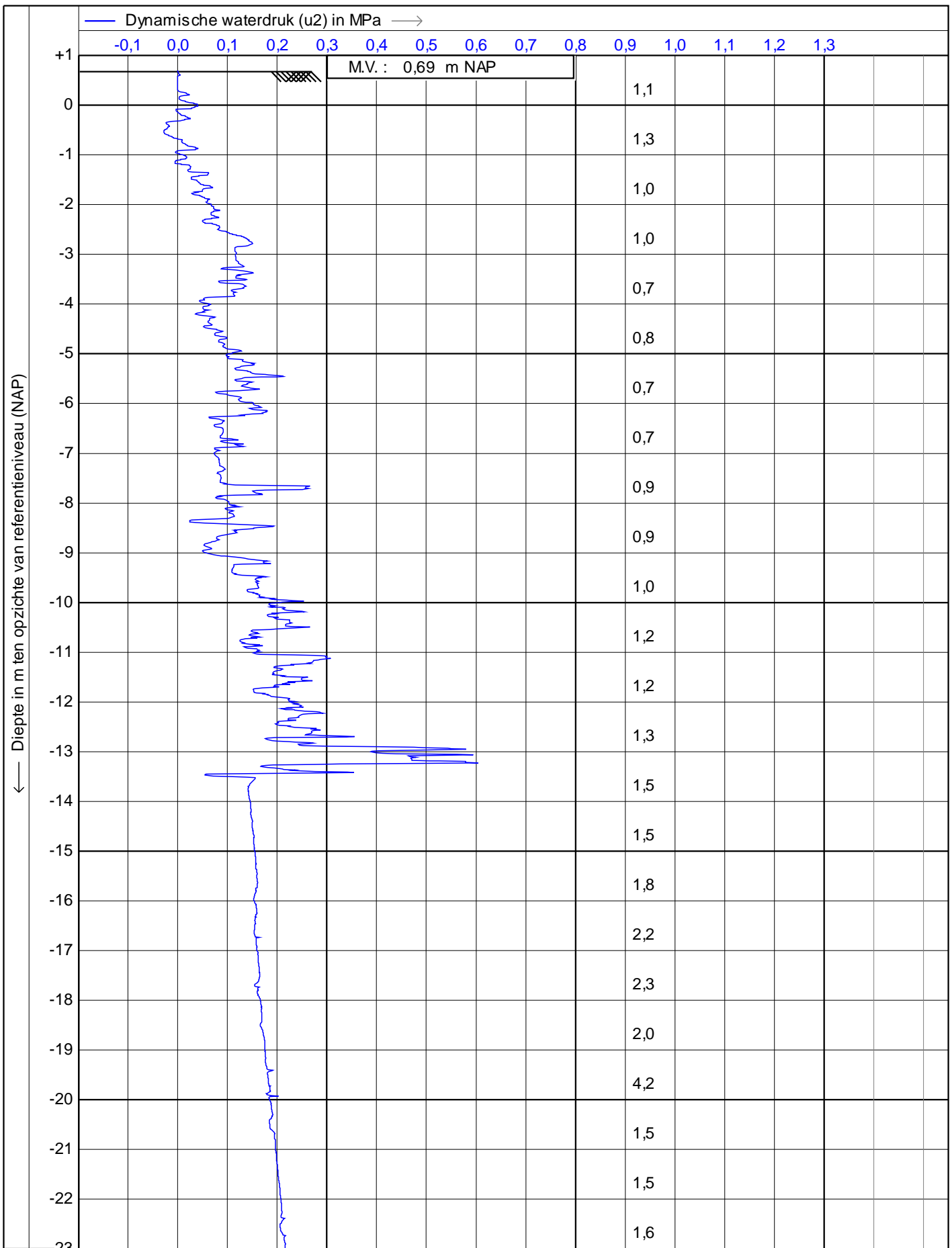
0,10 0,20 0,30 0,40 0,50 Helling (I) in graden

— Wrijvingsweerstand (fs) in MPa —>



ISO 22476-1 Application class 3
 Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**
 Locatie : **Godlinze**
 Positie : **248289,24, 601491,82 RD**

Datum : **19-8-2020**
 Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**
 Projectnr. : **367825**
 Sondeernr.: **GS3** 2/4



Helling (l) in graden



ISO 22476-1 Application class 3

Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**

Locatie : **Godlinze**

Positie : **248289,24, 601491,82 RD**

Datum : **19-8-2020**

Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**

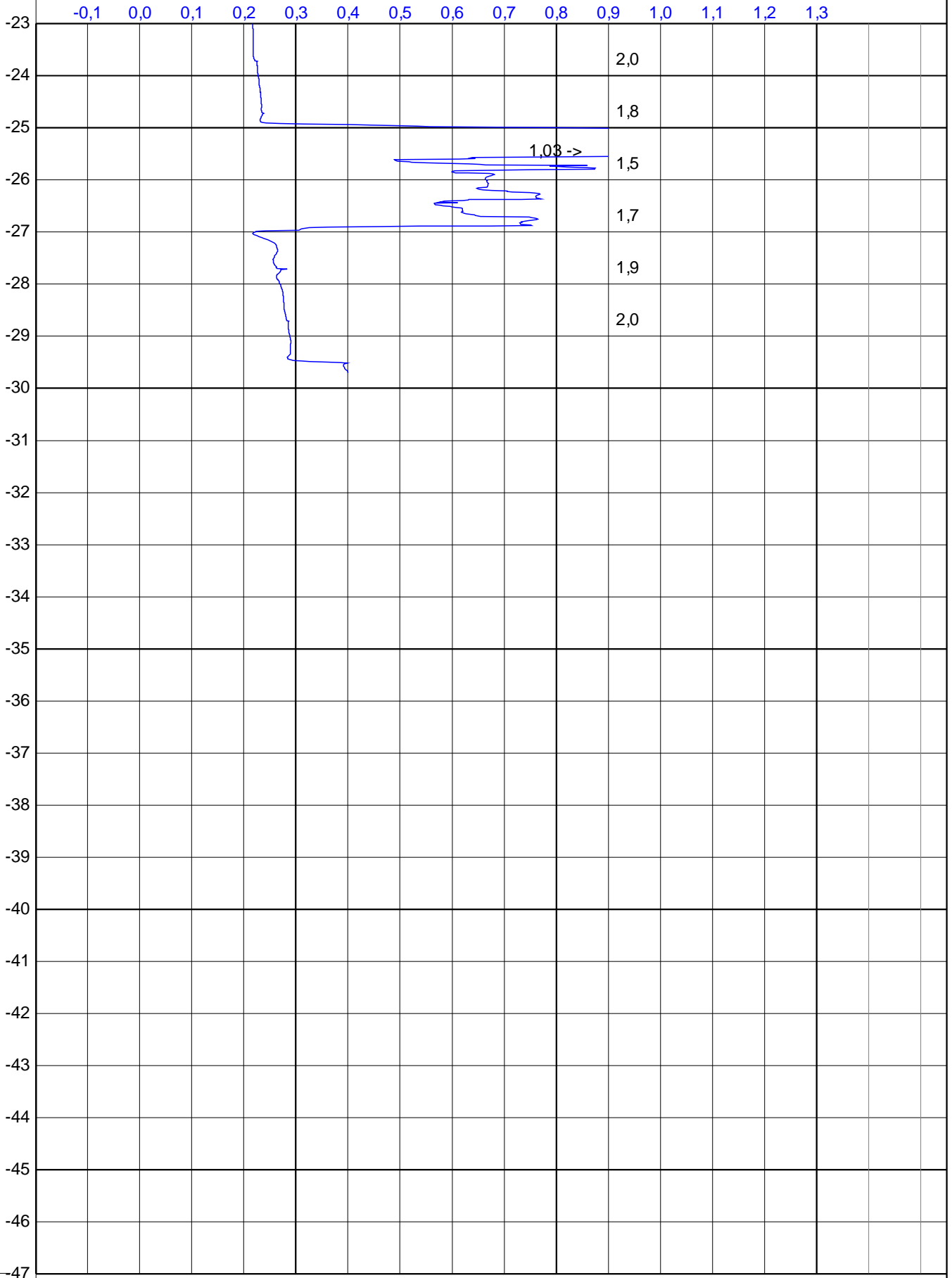
Projectnr. : **367825**

Sondeernr.: **GS3**

3/4

Diepte in m ten opzichte van referentieniveau (NAP)

— Dynamische waterdruk (u2) in MPa →



Helling (l) in graden



ISO 22476-1 Application class 3

Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**

Locatie : **Godlinze**

Positie : **248289,24, 601491,82 RD**

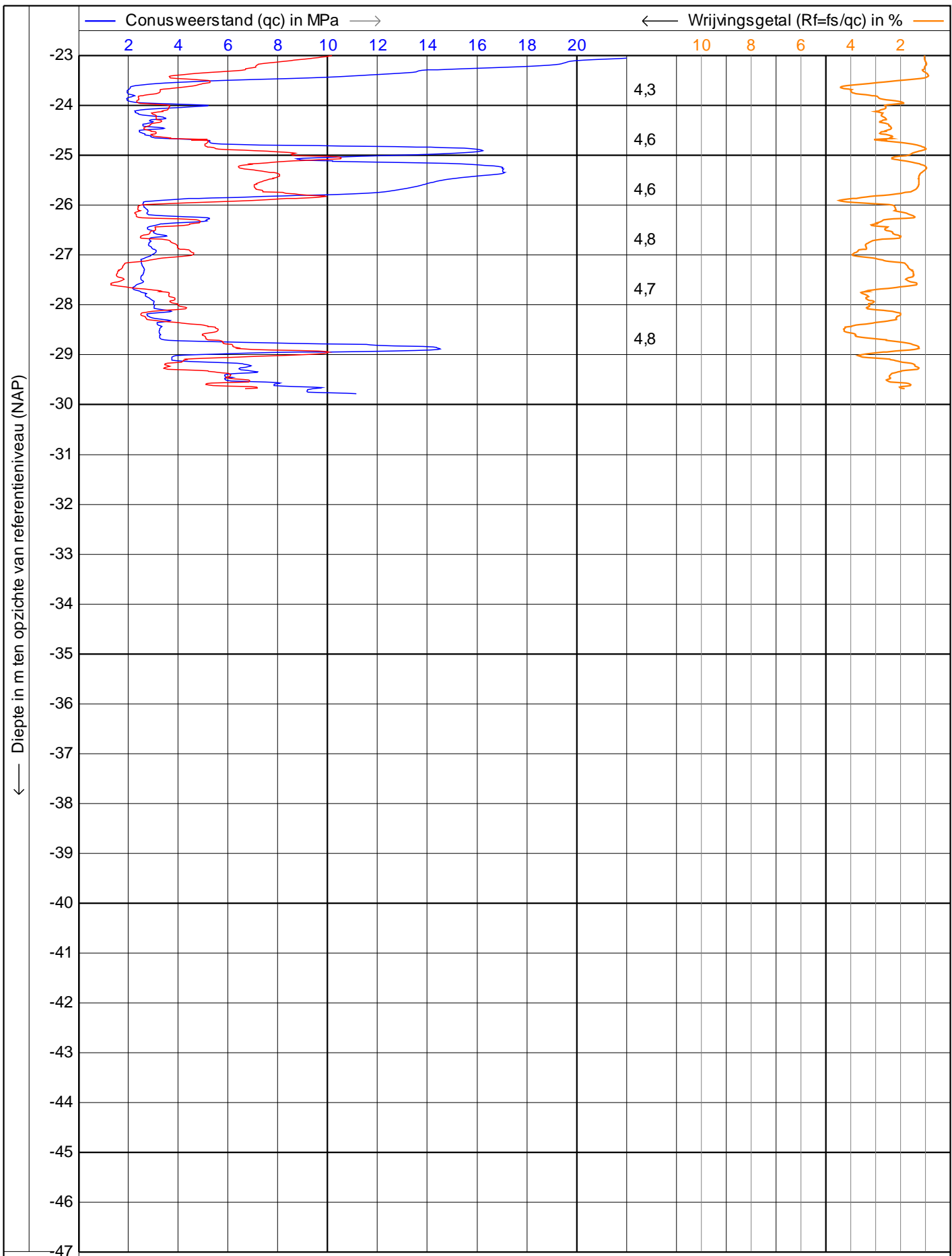
Datum : **19-8-2020**

Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**

Projectnr. : **367825**

Sondeernr.: **GS3**

4/4

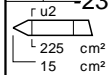
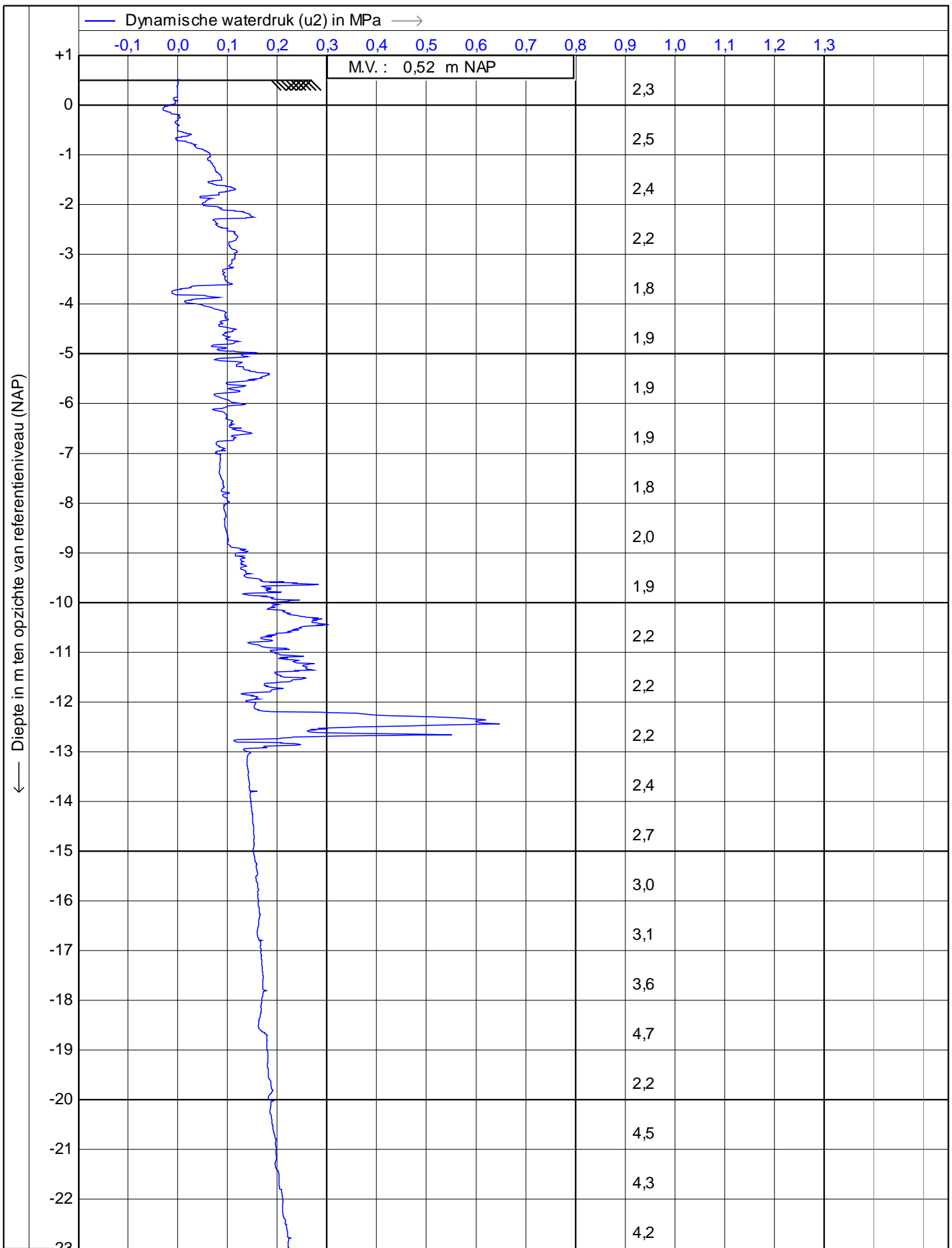


— Wrijvingsweerstand (fs) in MPa —> Helling (l) in graden



ISO 22476-1 Application class 3
 Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**
 Locatie : **Godlinze**
 Positie : **248305,35, 601396,99 RD**

Datum : **19-8-2020**
 Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**
 Projectnr. : **367825**
 Sondeernr.: **GS4** 2/4



Helling (l) in graden



ISO 22476-1 Application class 3

Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**

Locatie : **Godlinze**

Positie : **248305,35, 601396,99 RD**

Datum : **19-8-2020**

Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**

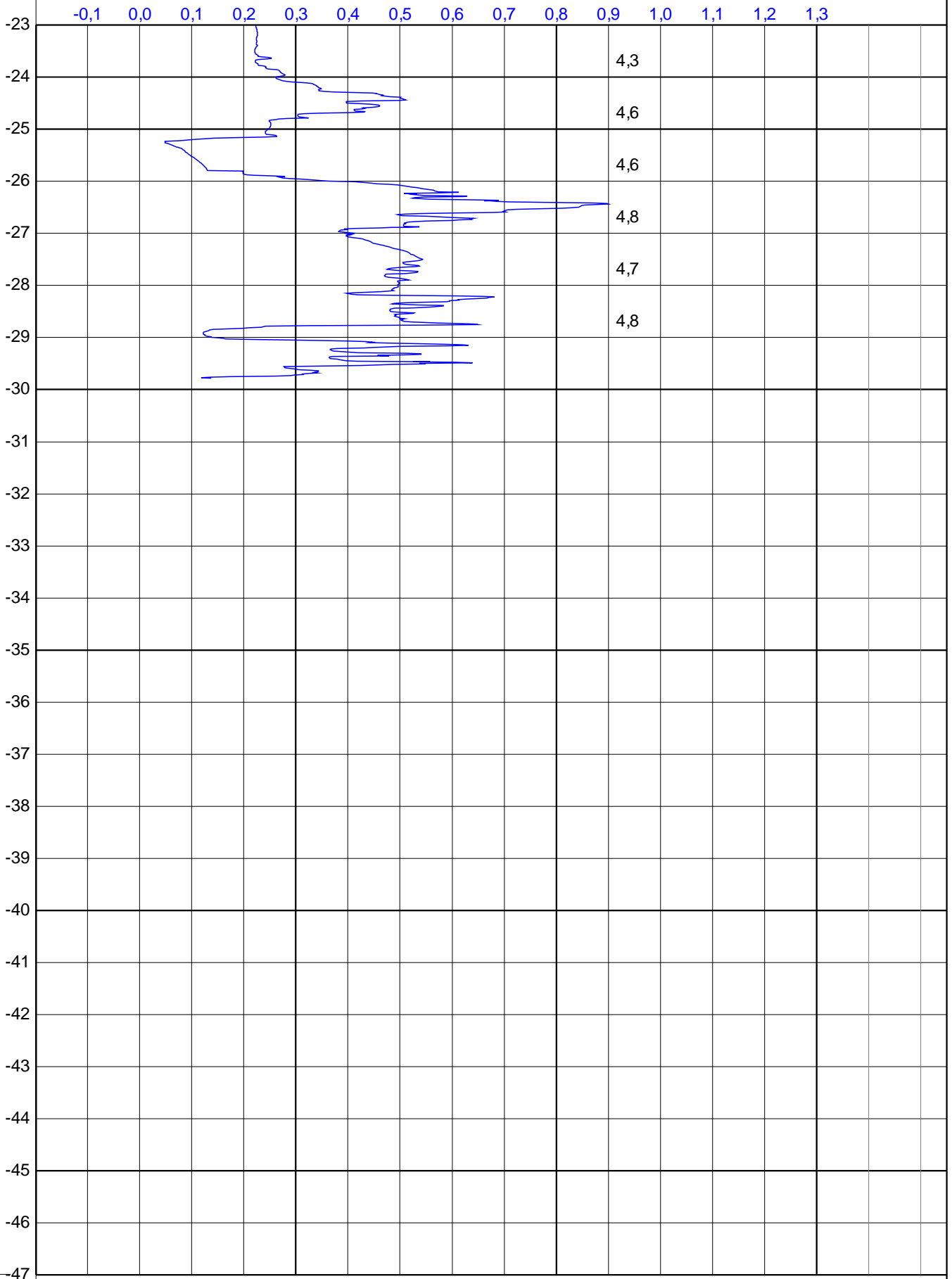
Projectnr. : **367825**

Sondeernr.: **GS4**

3/4

Diepte in m ten opzichte van referentieniveau (NAP)

— Dynamische waterdruk (u2) in MPa →



Helling (l) in graden



ISO 22476-1 Application class 3

Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**

Locatie : **Godlinze**

Positie : **248305,35, 601396,99 RD**

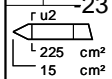
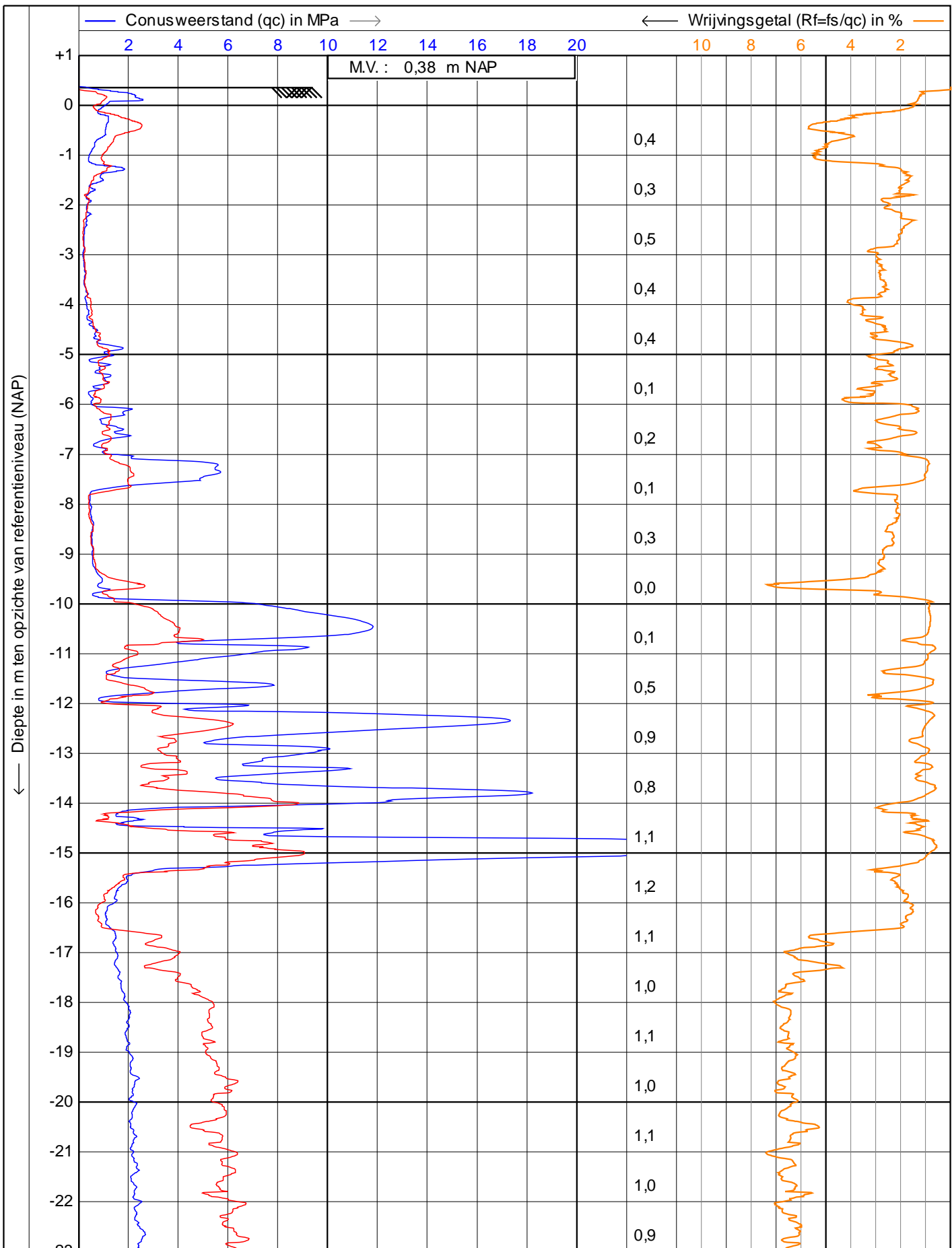
Datum : **19-8-2020**

Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**

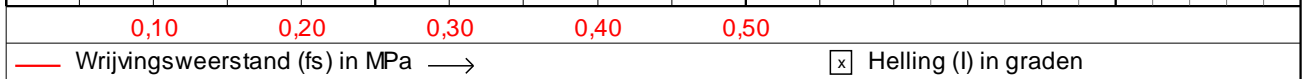
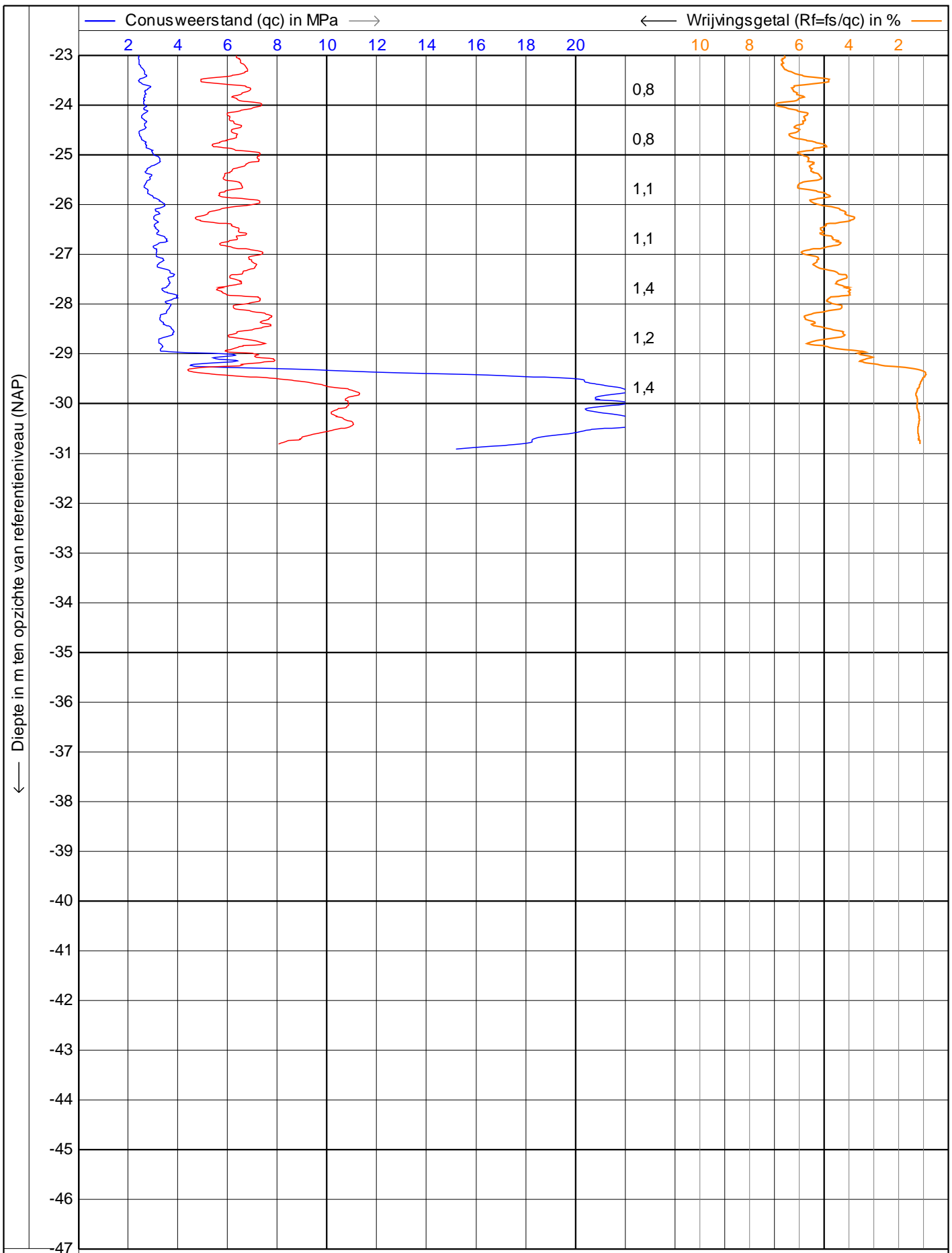
Projectnr. : **367825**

Sondeernr.: **GS4**

4/4

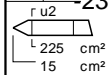
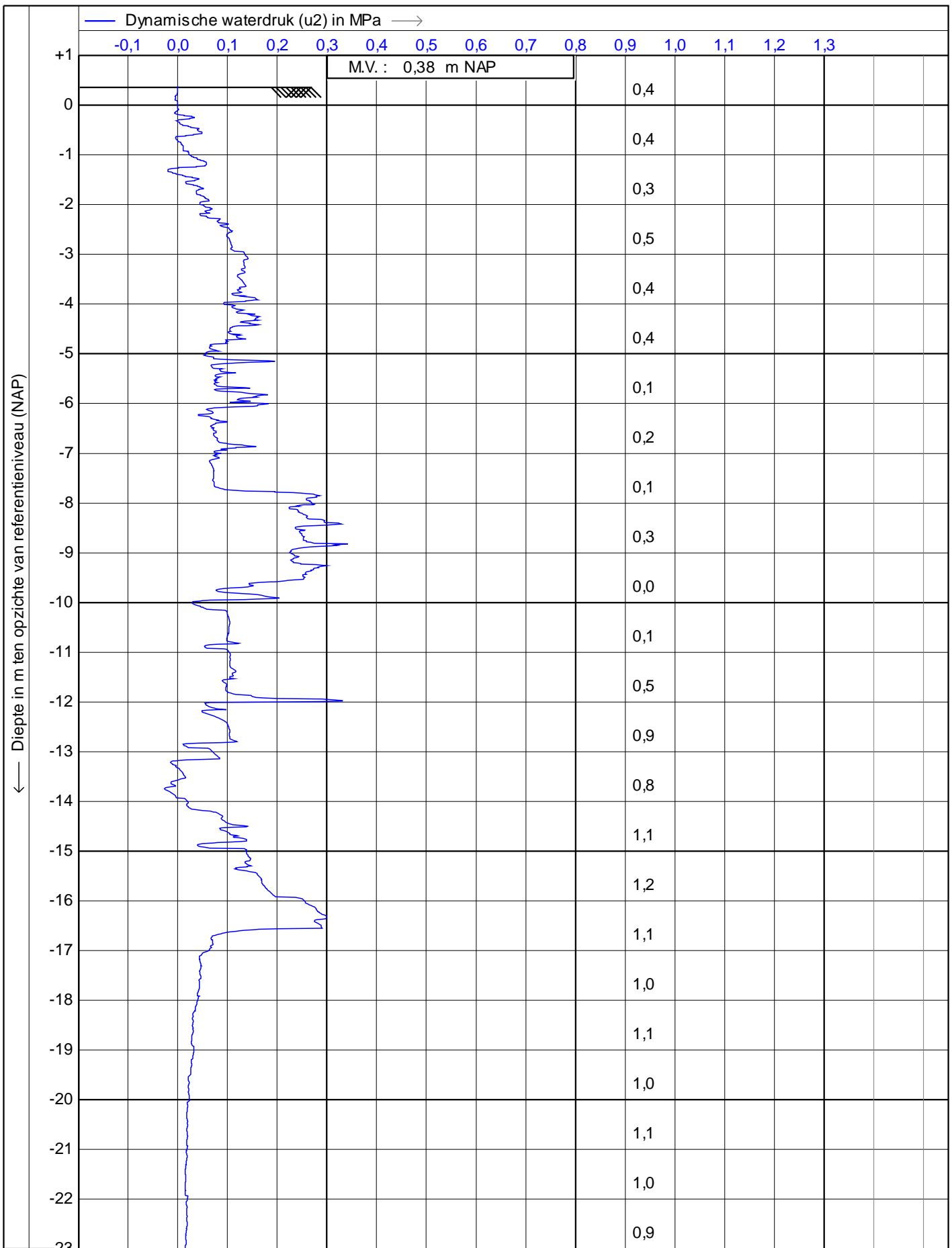


ISO 22476-1 Application class 3		Datum : 18-8-2020	
Project : Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling		Conusnr. : C15CFIP.S191007	
Locatie : Loppersum		Projectnr. : 367825	
Positie : 244300,91, 594421,52 RD		Sondeernr.: LS1	1/4



ISO 22476-1 Application class 3
 Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**
 Locatie : **Loppersum**
 Positie : **244300,91, 594421,52 RD**

Datum : **18-8-2020**
 Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**
 Projectnr. : **367825**
 Sondeernr.: **LS1** **2/4**



Helling (l) in graden



ISO 22476-1 Application class 3

Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**

Locatie : **Loppersum**

Positie : **244300,91, 594421,52 RD**

Datum : **18-8-2020**

Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**

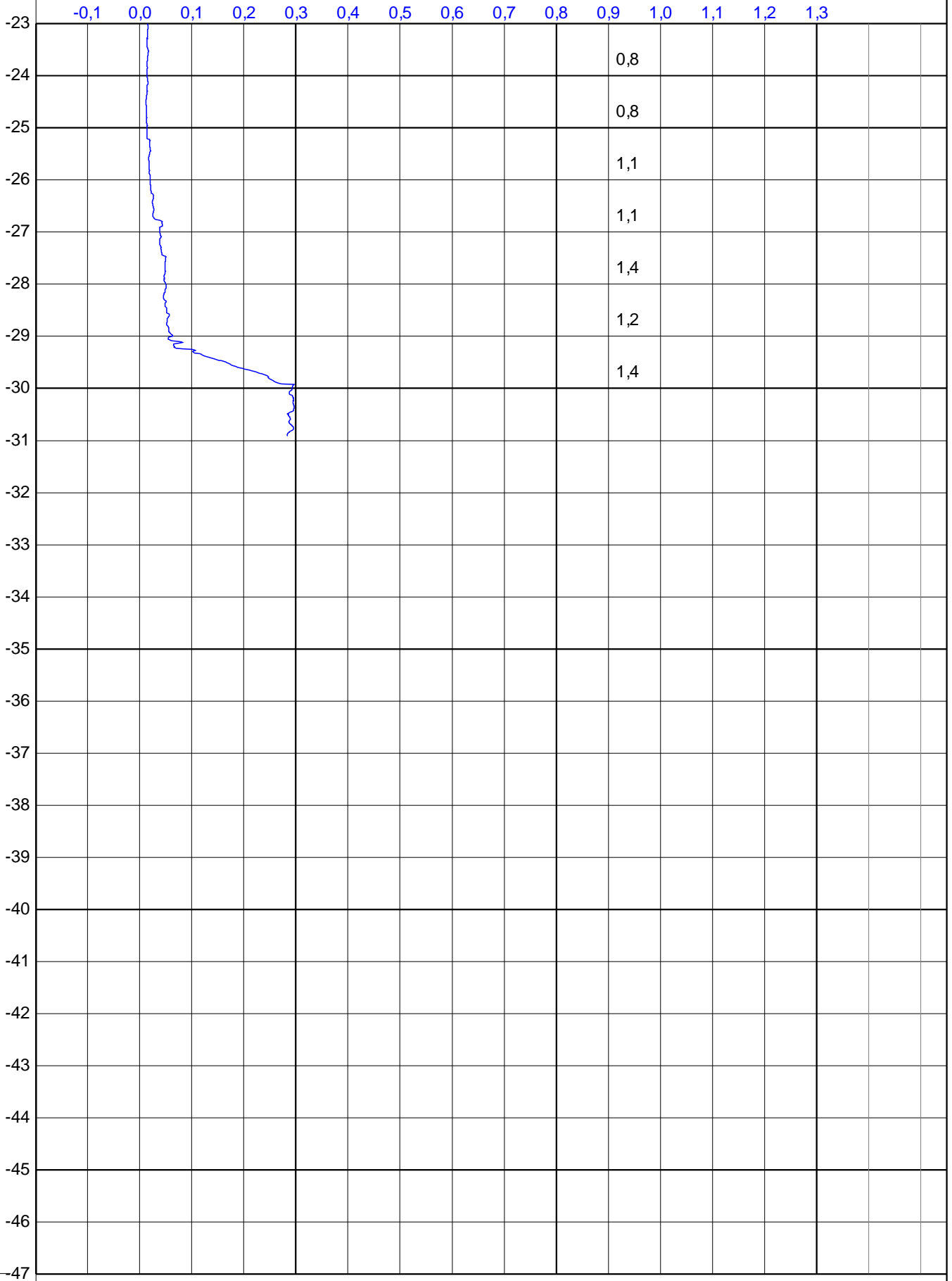
Projectnr. : **367825**

Sondeernr.: **LS1**

3/4

Diepte in m ten opzichte van referentieniveau (NAP)

— Dynamische waterdruk (u2) in MPa —>



Helling (l) in graden



ISO 22476-1 Application class 3

Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**

Locatie : **Loppersum**

Positie : **244300,91, 594421,52 RD**

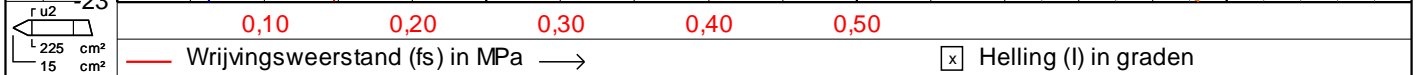
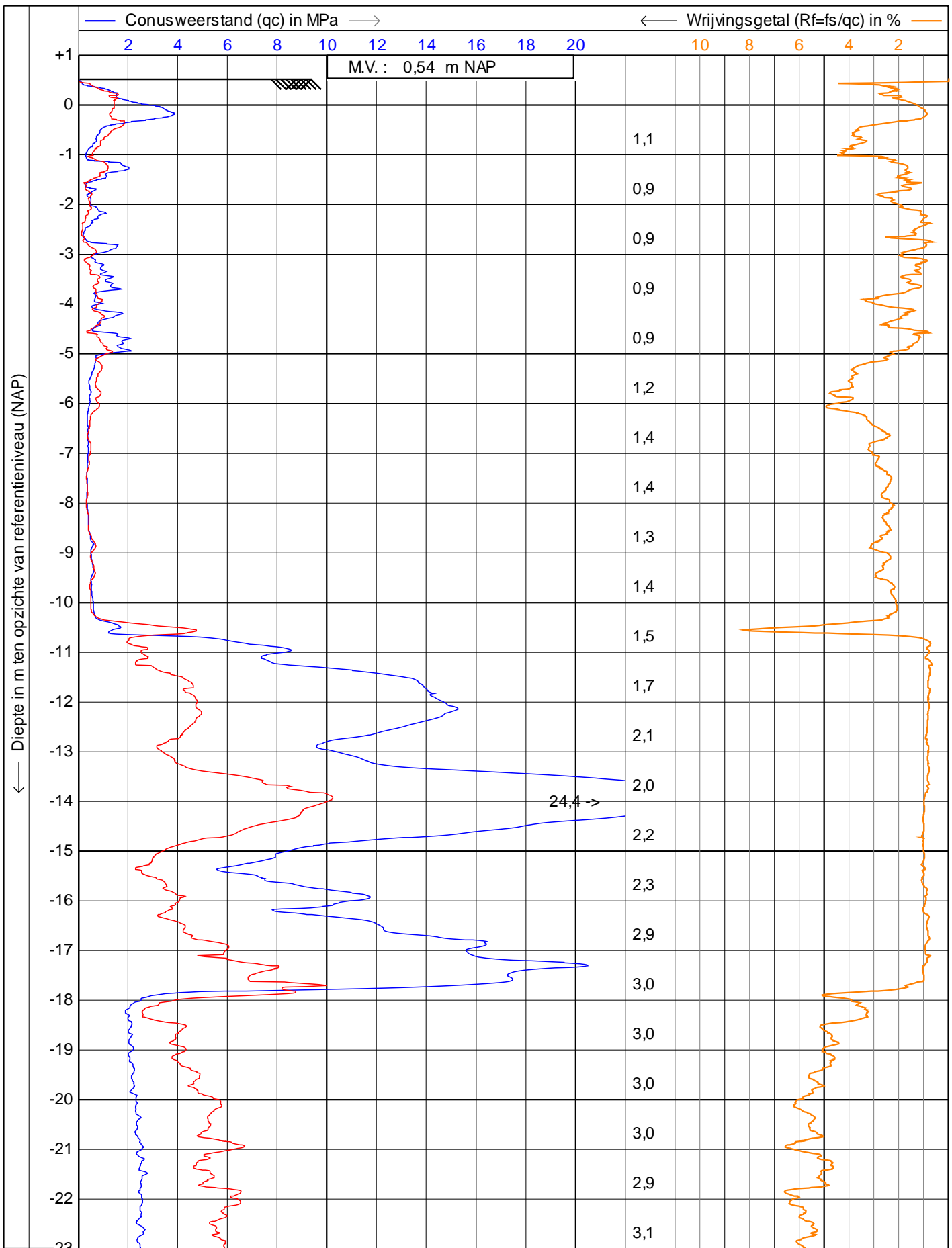
Datum : **18-8-2020**

Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**

Projectnr. : **367825**

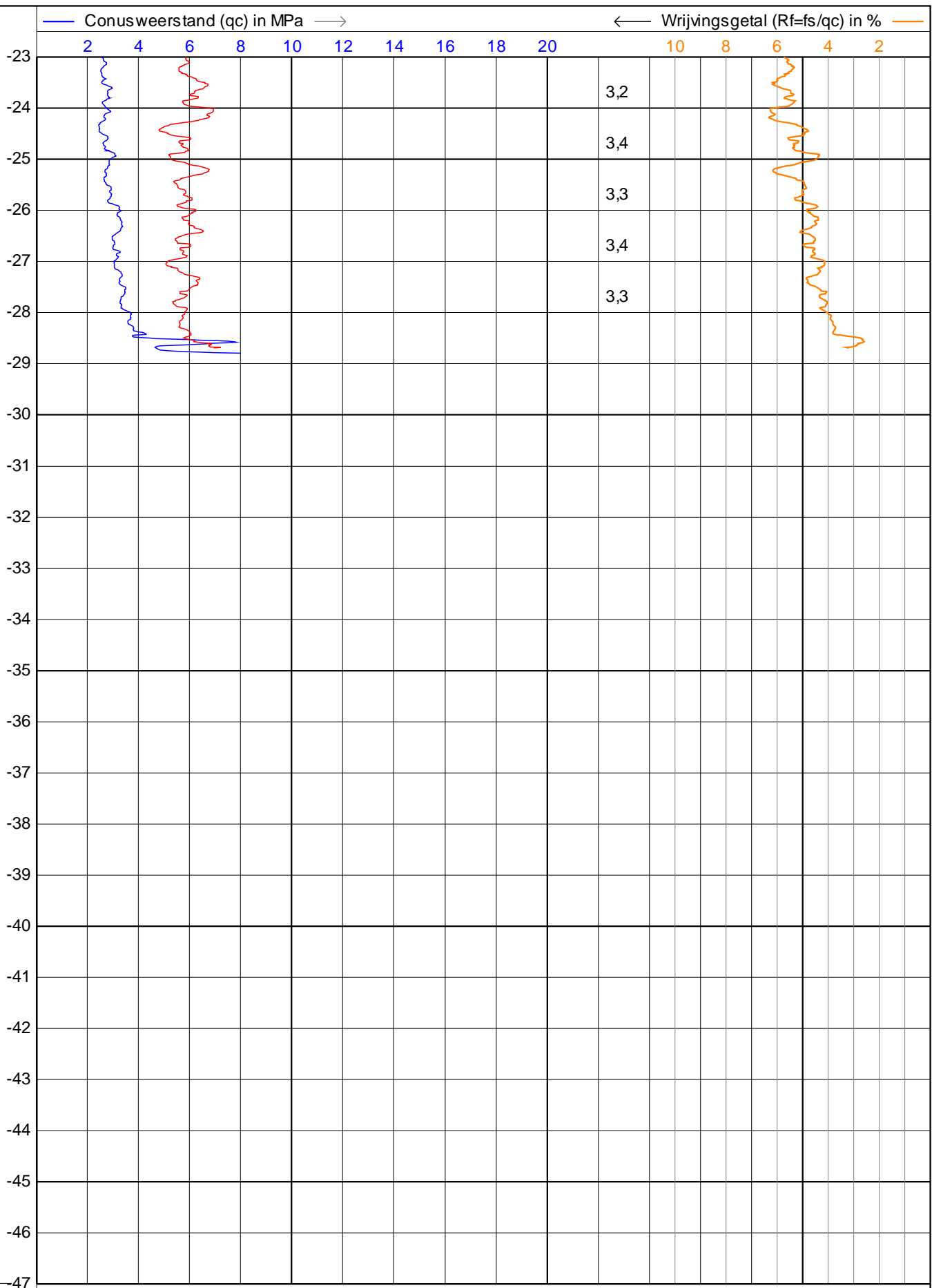
Sondeernr.: **LS1**

4/4



	ISO 22476-1 Application class 3	Datum : 18-8-2020
	Project : Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling	Conusnr. : C15CFIP.S191007
	Locatie : Loppersum	Projectnr. : 367825
	Positie : 244395,96, 594322,99 RD	Sondeernr.: LS2 1/4

Diepte in m ten opzichte van referentieniveau (NAP)



— Wrijvingsweerstand (fs) in MPa Helling (I) in graden



ISO 22476-1 Application class 3

Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**

Locatie : **Loppersum**

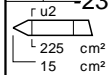
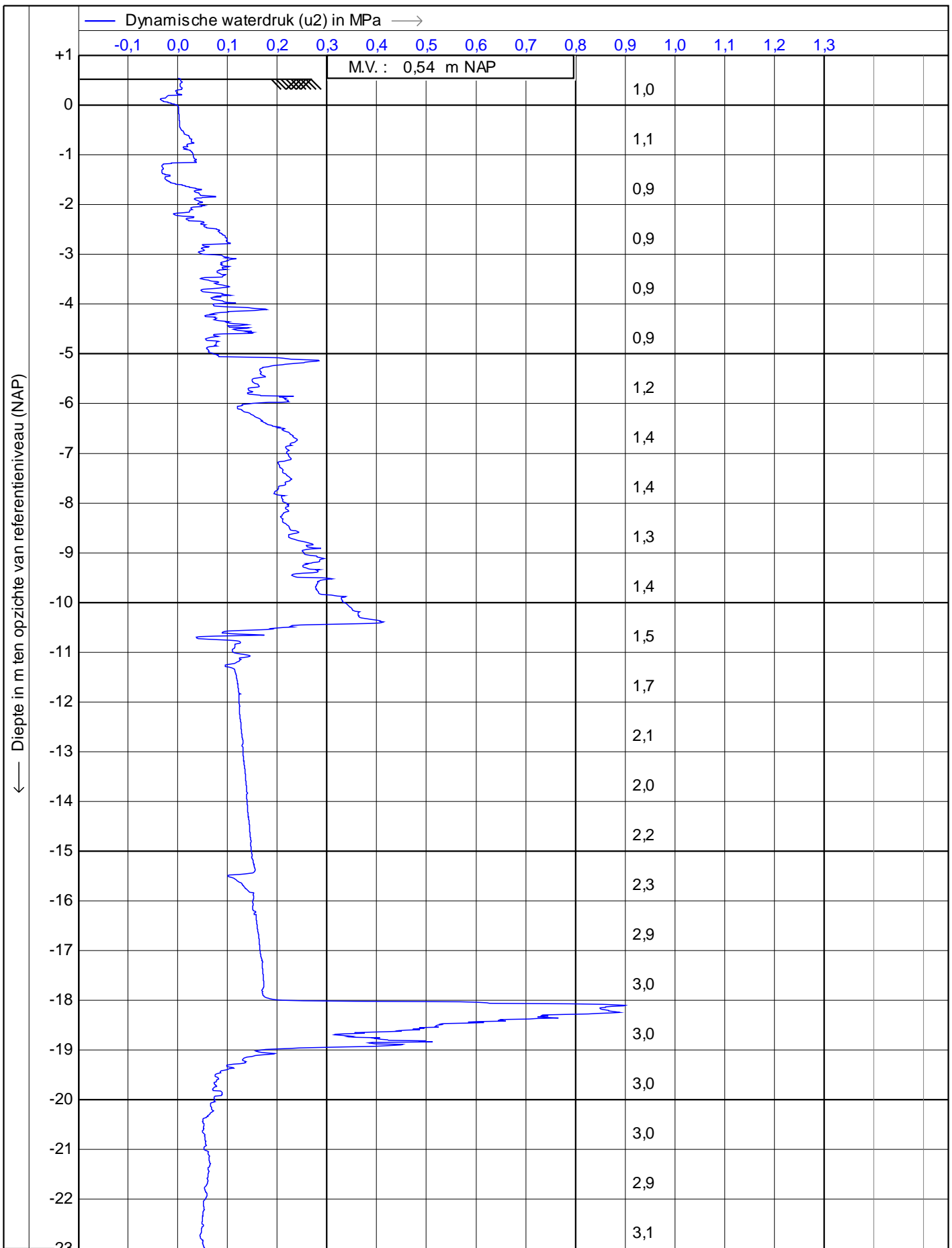
Positie : **244395,96, 594322,99 RD**

Datum : **18-8-2020**

Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**

Projectnr. : **367825**

Sondeernr.: **LS2** **2/4**



Helling (l) in graden



ISO 22476-1 Application class 3

Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**

Locatie : **Loppersum**

Positie : **244395,96, 594322,99 RD**

Datum : **18-8-2020**

Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**

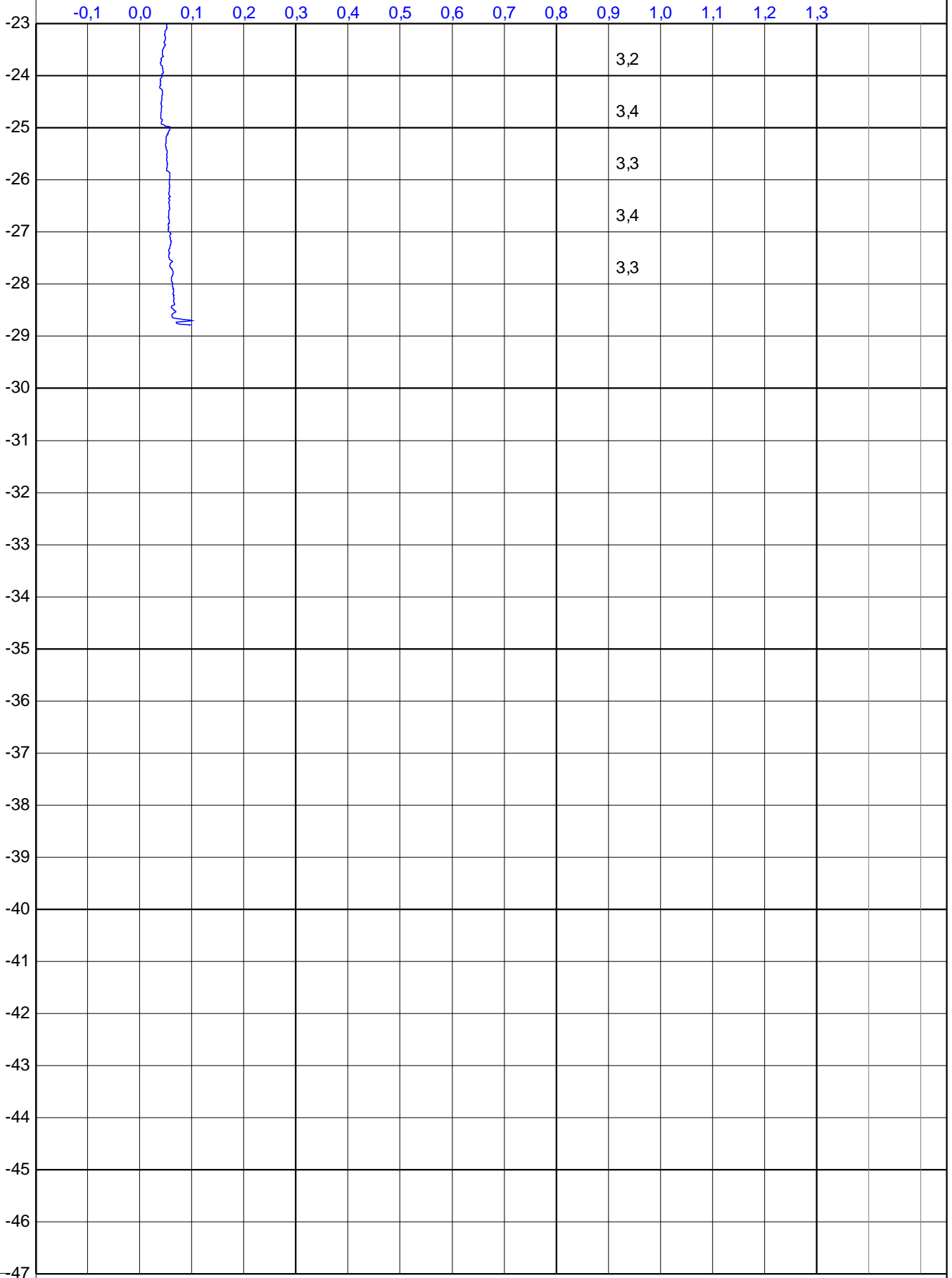
Projectnr. : **367825**

Sondeernr.: **LS2**

3/4

Diepte in m ten opzichte van referentieniveau (NAP)

— Dynamische waterdruk (u2) in MPa —>



Helling (l) in graden



ISO 22476-1 Application class 3

Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**

Locatie : **Loppersum**

Positie : **244395,96, 594322,99 RD**

Datum : **18-8-2020**

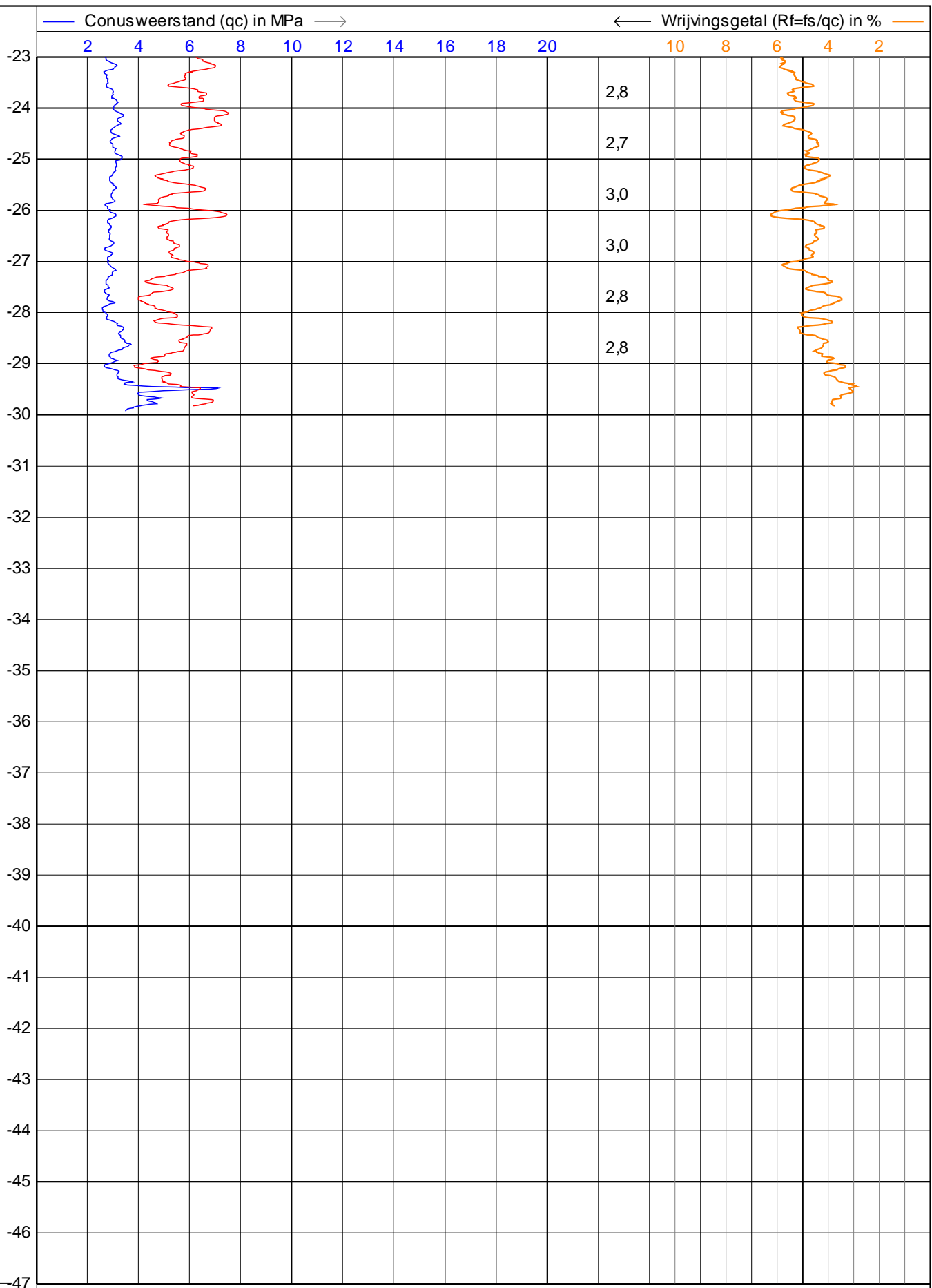
Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**

Projectnr. : **367825**

Sondeernr.: **LS2**

4/4

Diepte in m ten opzichte van referentieniveau (NAP)



— Wrijvingsweerstand (fs) in MPa \longrightarrow
 Helling (I) in graden



ISO 22476-1 Application class 3

Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**

Locatie : **Loppersum**

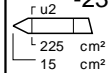
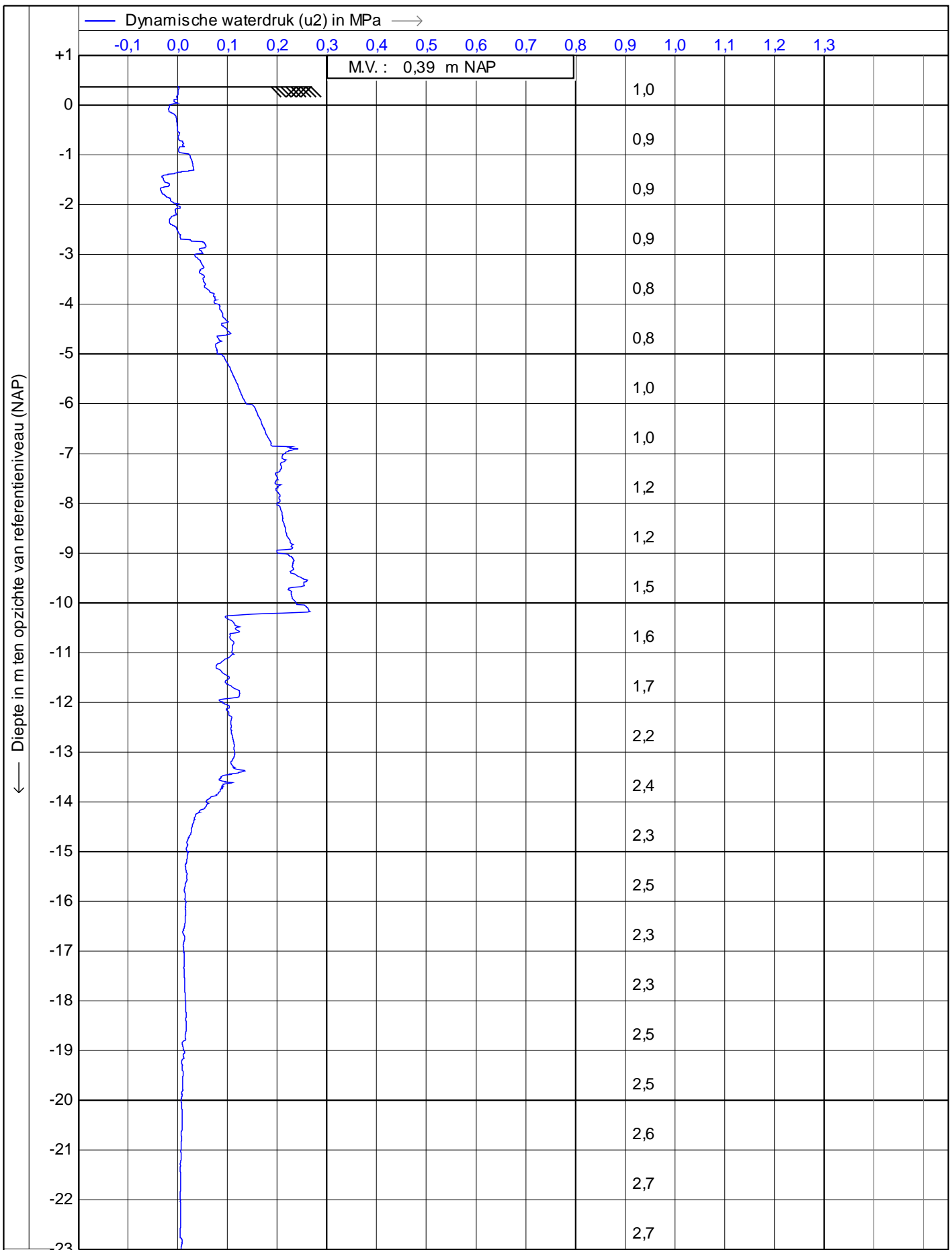
Positie : **244538,74, 594256,46 RD**

Datum : **17-8-2020**

Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**

Projectnr. : **367825**

Sondeernr.: **LS3** **2/4**



Helling (l) in graden



ISO 22476-1 Application class 3

Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**

Locatie : **Loppersum**

Positie : **244538,74, 594256,46 RD**

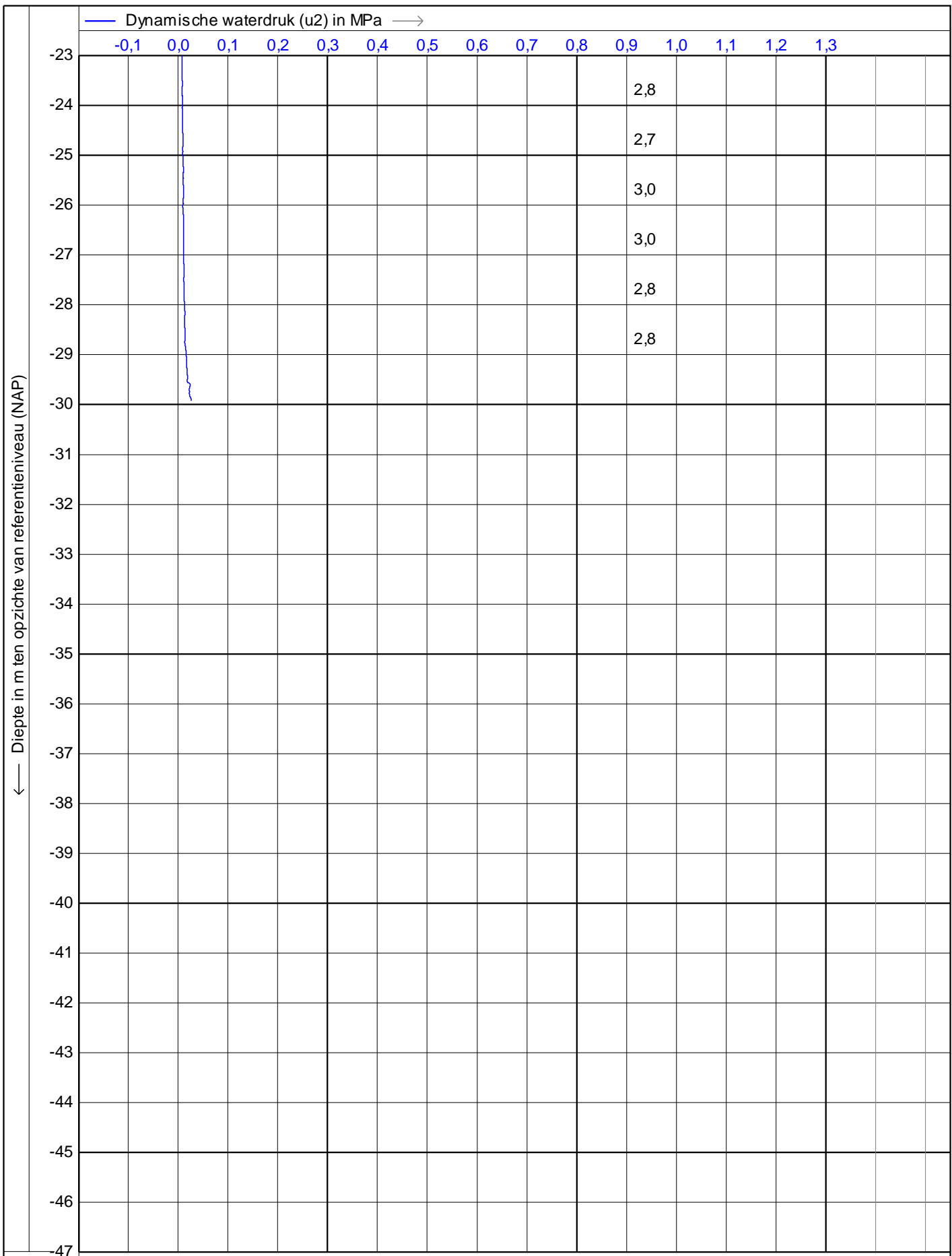
Datum : **17-8-2020**

Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**

Projectnr. : **367825**

Sondeernr.: **LS3**

3/4



Diepte in m ten opzichte van referentieniveau (NAP)

— Dynamische waterdruk (u2) in MPa —>

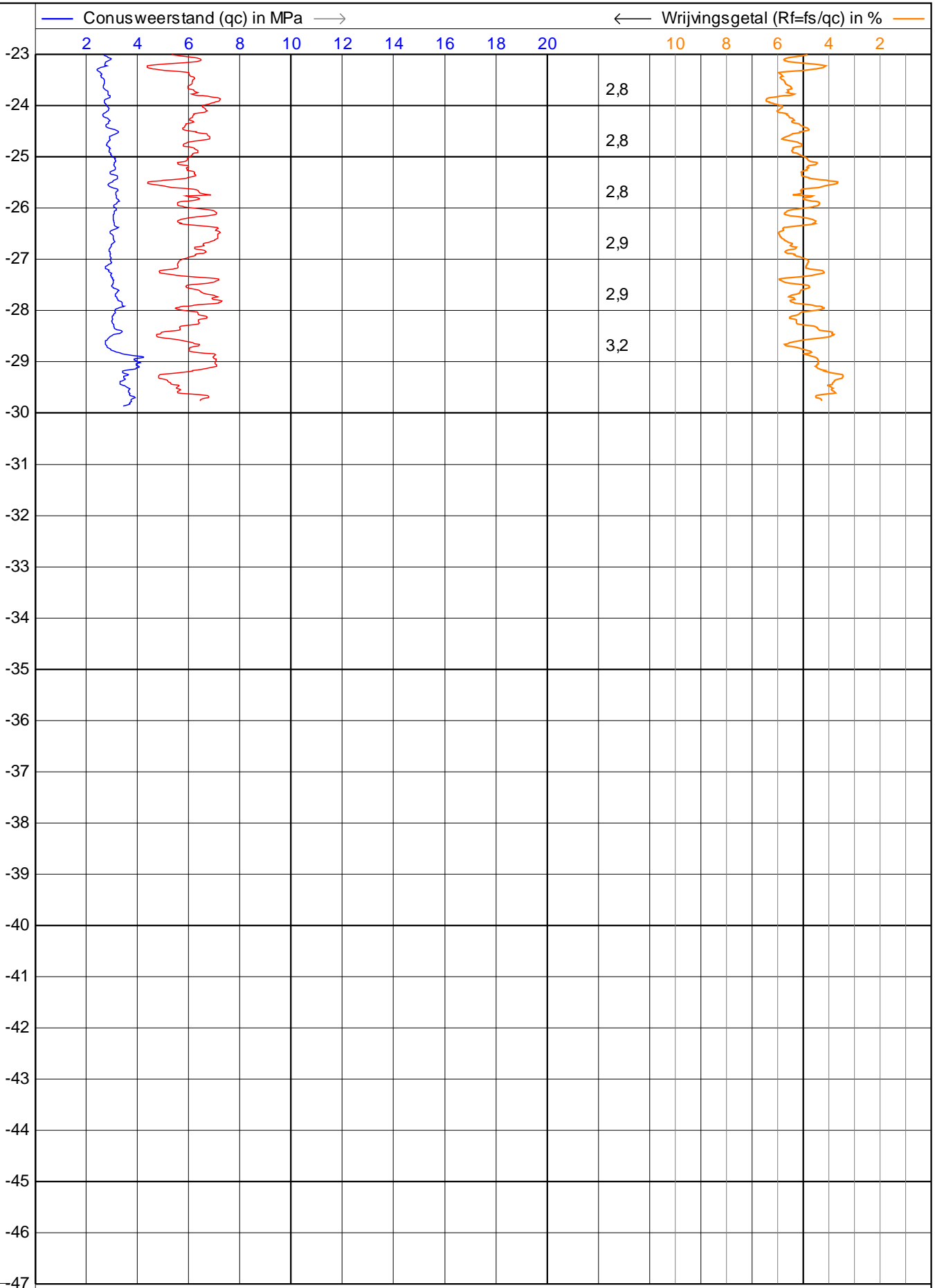
-0,1 0,0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1,0 1,1 1,2 1,3


Helling (l) in graden

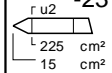
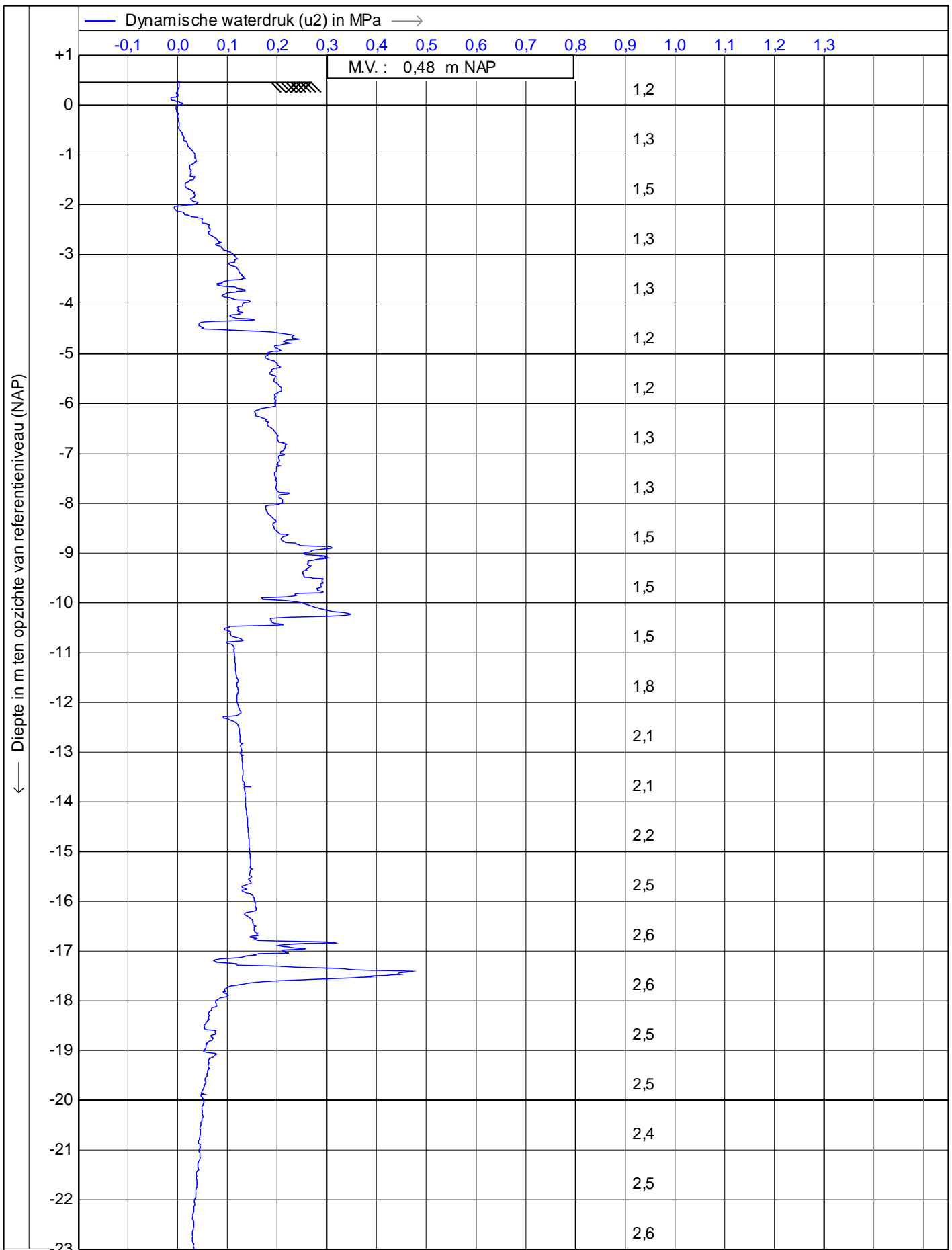


ISO 22476-1 Application class 3		Datum : 17-8-2020	
Project : Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling		Conusnr. : C15CFIIP.S191007	
Locatie : Loppersum		Projectnr. : 367825	
Positie : 244538,74, 594256,46 RD		Sondeernr.: LS3	4/4

Diepte in m ten opzichte van referentieniveau (NAP)



	ISO 22476-1 Application class 3		Datum : 17-8-2020	
	Project : Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling		Conusnr. : C15CFIIP.S191007	
	Locatie : Loppersum		Projectnr. : 367825	
	Positie : 244435,27, 594161,81 RD		Sondeernr.: LS4	2/4



Helling (l) in graden



ISO 22476-1 Application class 3

Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**

Locatie : **Loppersum**

Positie : **244435,27, 594161,81 RD**

Datum : **17-8-2020**

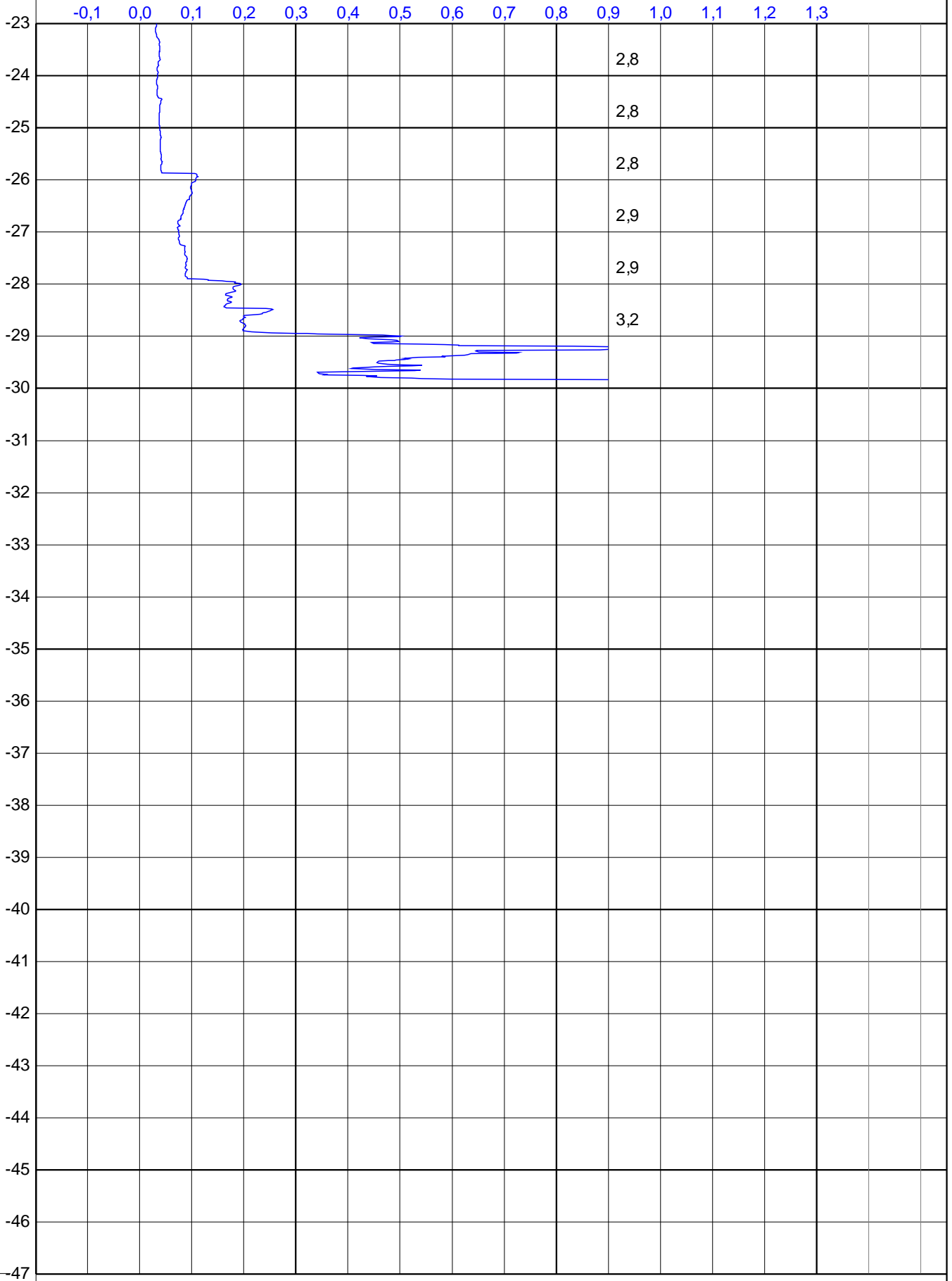
Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**

Projectnr. : **367825**

Sondeernr.: **LS4**

Diepte in m ten opzichte van referentieniveau (NAP)

— Dynamische waterdruk (u2) in MPa →



Helling (l) in graden



ISO 22476-1 Application class 3

Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**

Locatie : **Loppersum**

Positie : **244435,27, 594161,81 RD**

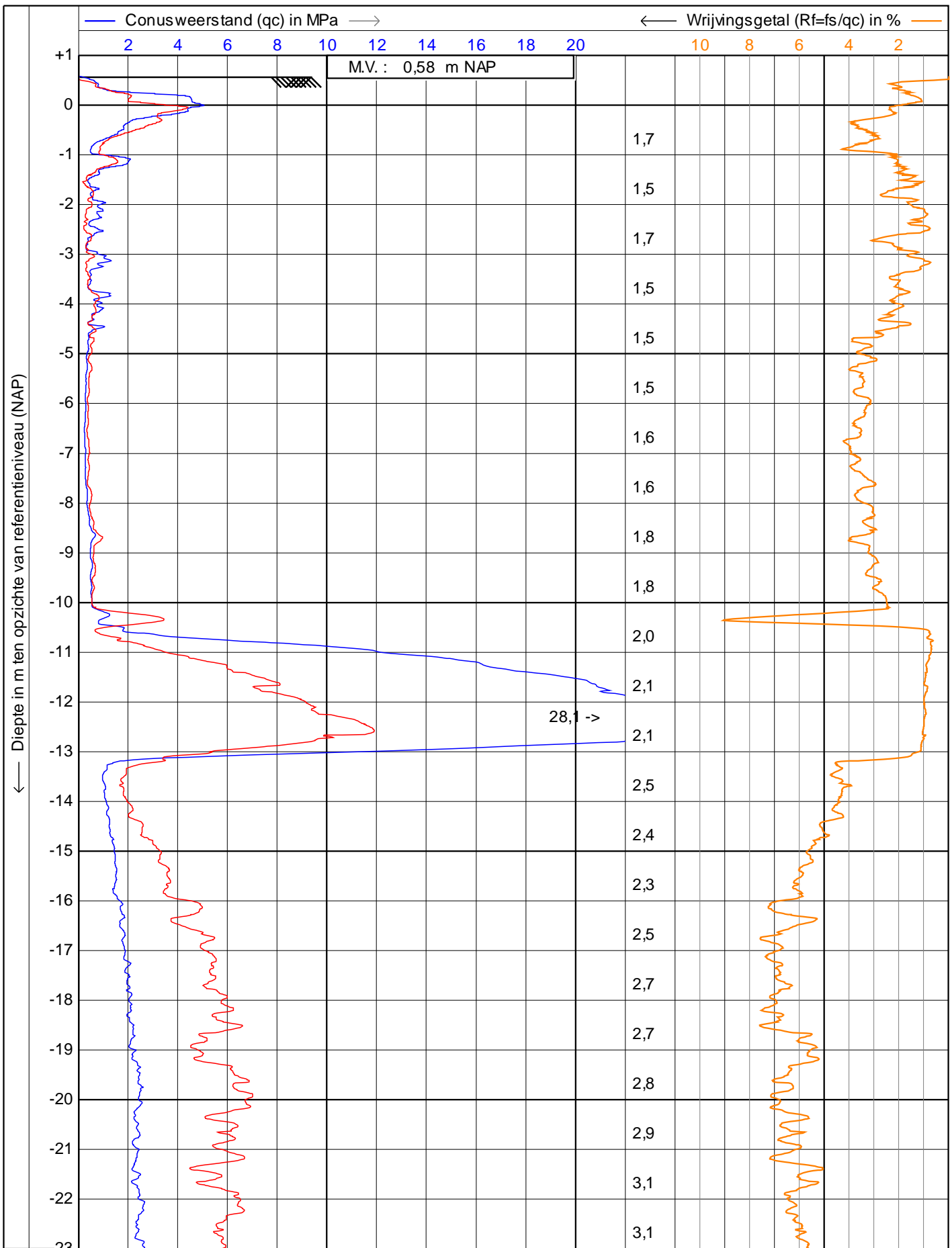
Datum : **17-8-2020**

Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**

Projectnr. : **367825**

Sondeernr.: **LS4**

4/4



r_{u2}
 L_{225} cm²
 15 cm²

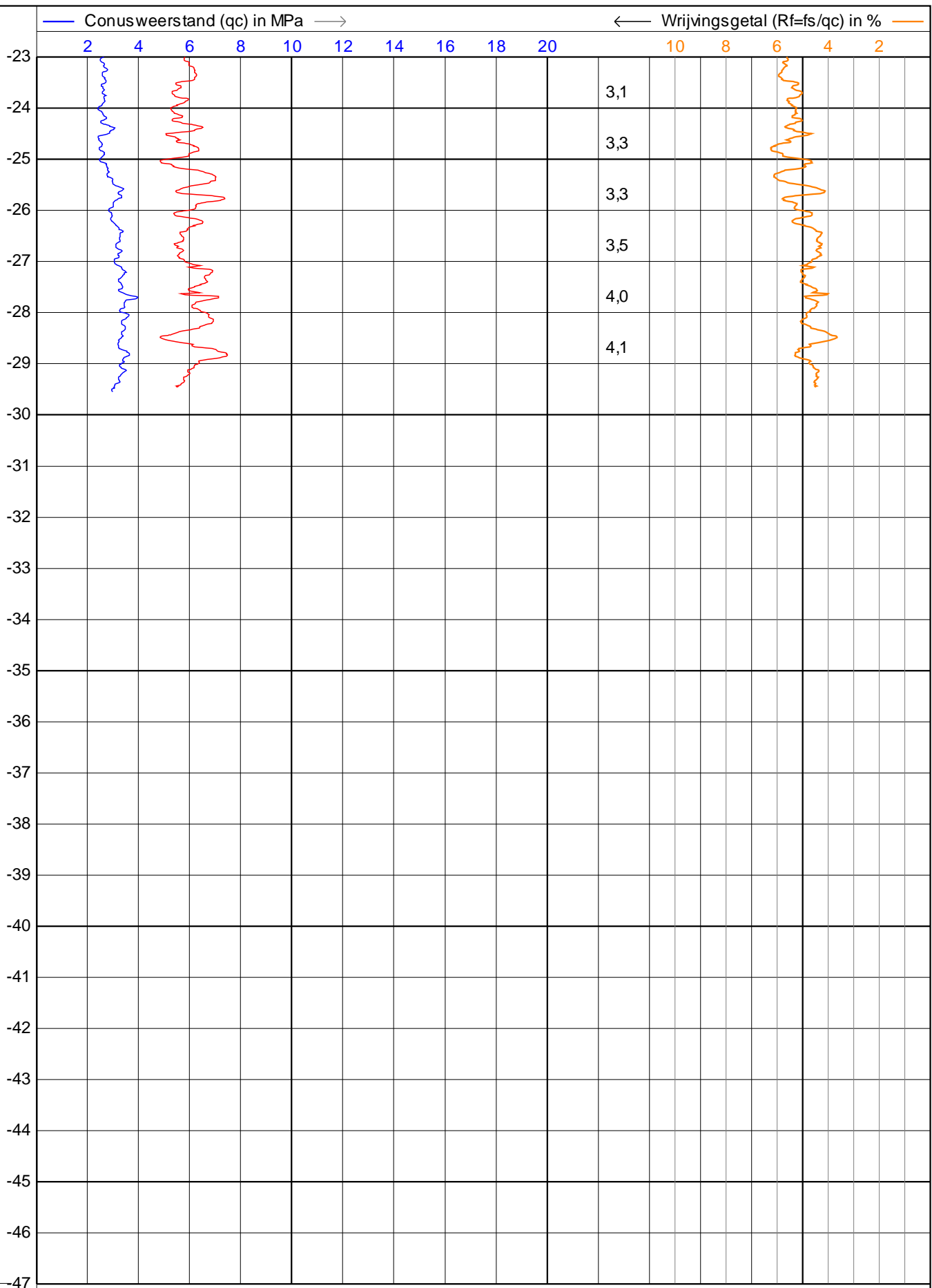


ISO 22476-1 Application class 3

Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**
 Locatie : **Loppersum**
 Positie : **244430,48, 594259,03 RD**

Datum : **18-8-2020**
 Conusnr. : **C15CFIP.S191007**
 Projectnr. : **367825**
 Sondeernr.: **LS5**

Diepte in m ten opzichte van referentieniveau (NAP)



— Wrijvingsweerstand (fs) in MPa \rightarrow
 Helling (I) in graden



ISO 22476-1 Application class 3

Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**

Locatie : **Loppersum**

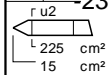
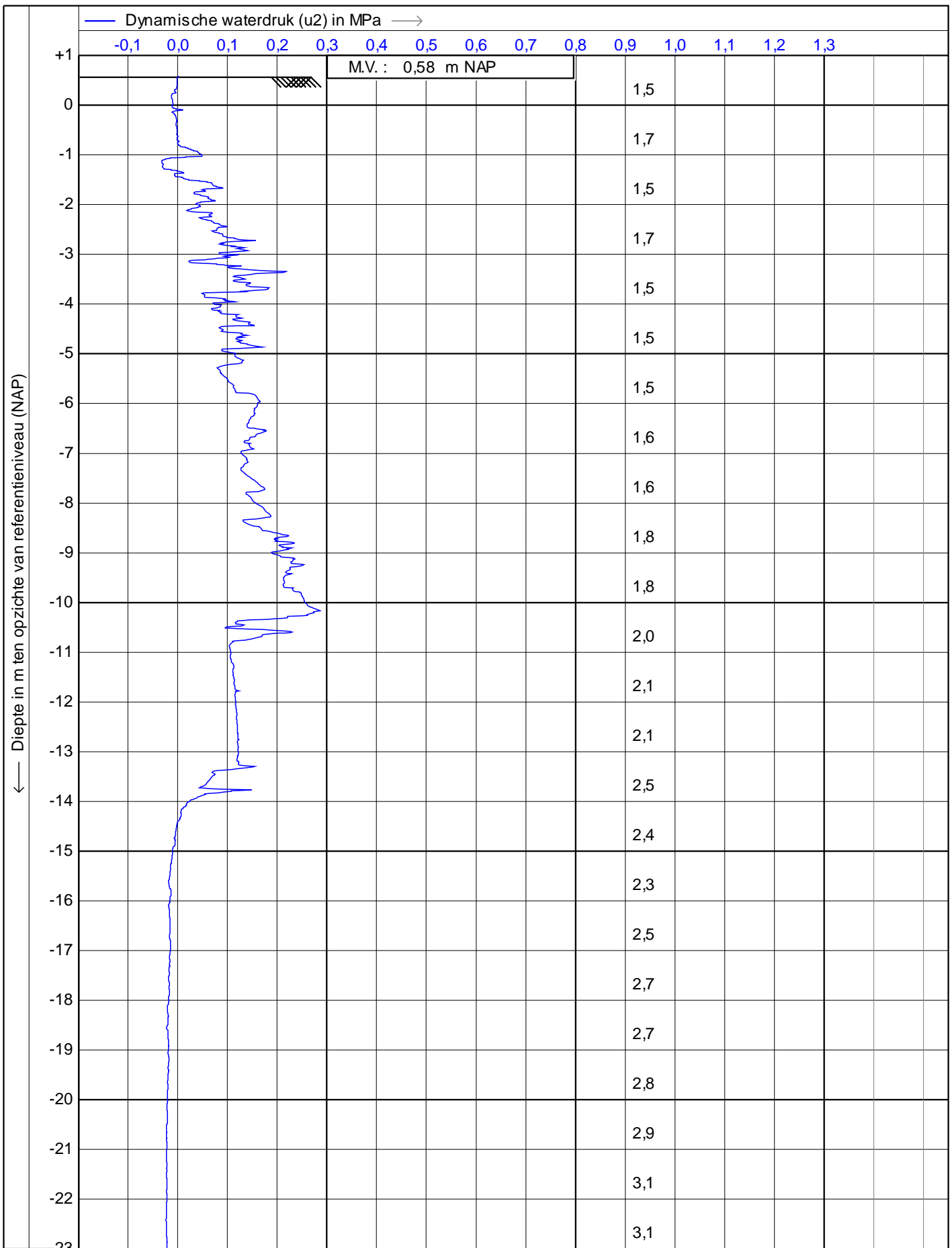
Positie : **244430,48, 594259,03 RD**

Datum : **18-8-2020**

Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**

Projectnr. : **367825**

Sondeernr.: **LS5** 2/4



Helling (l) in graden



ISO 22476-1 Application class 3

Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**

Locatie : **Loppersum**

Positie : **244430,48, 594259,03 RD**

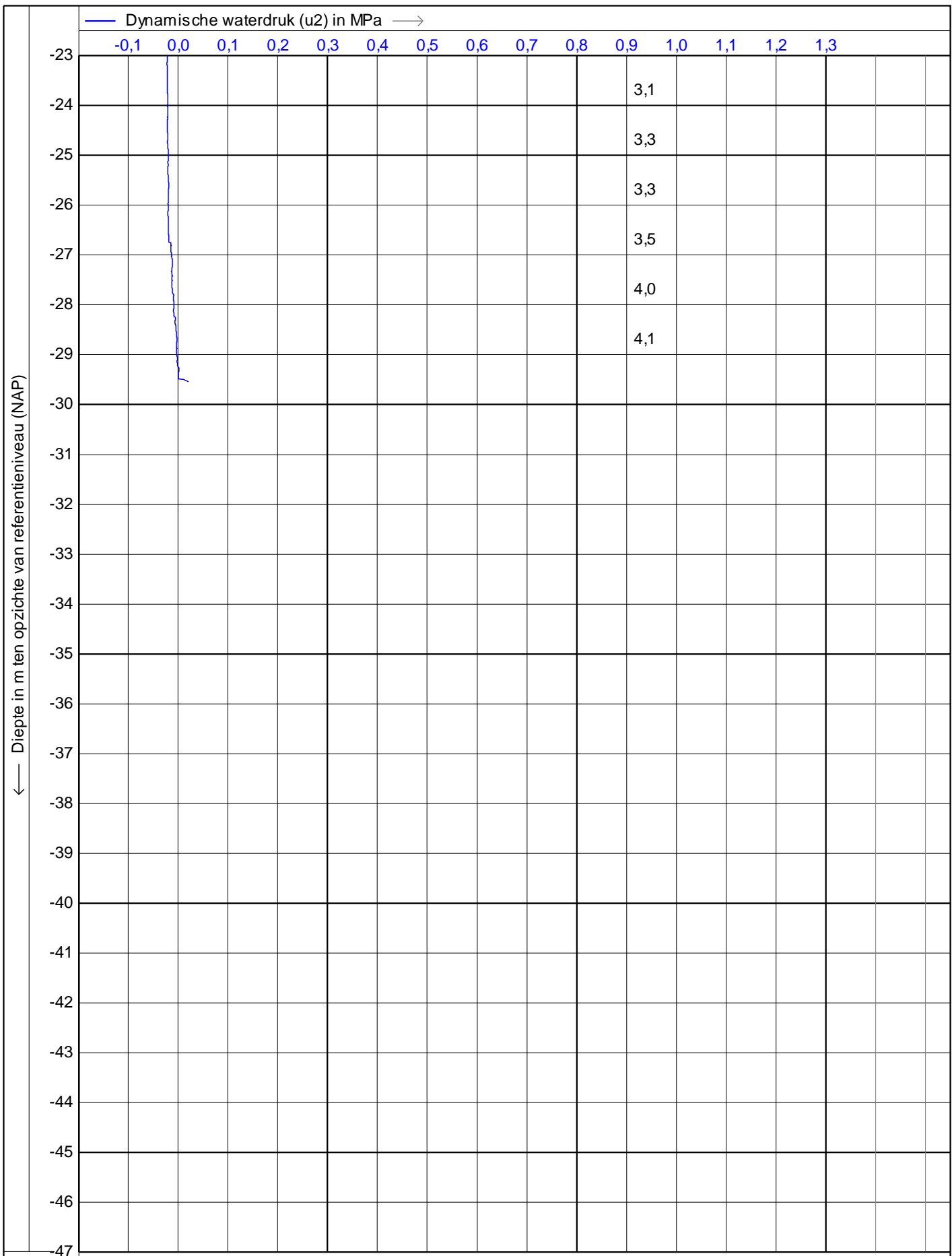
Datum : **18-8-2020**

Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**

Projectnr. : **367825**

Sondeernr.: **LS5**

3/4



Diepte in m ten opzichte van referentieniveau (NAP)

— Dynamische waterdruk (u2) in MPa —>

-0,1 0,0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1,0 1,1 1,2 1,3

-23
-24
-25
-26
-27
-28
-29
-30
-31
-32
-33
-34
-35
-36
-37
-38
-39
-40
-41
-42
-43
-44
-45
-46
-47

Helling (l) in graden



ISO 22476-1 Application class 3
 Project : **Sonderingen ongelijkmatige bodemdaling**
 Locatie : **Loppersum**
 Positie : **244430,48, 594259,03 RD**

Datum : **18-8-2020**
 Conusnr. : **C15CFIIP.S191007**
 Projectnr. : **367825**
 Sondeernr.: **LS5**

Bijlage 3

Boorstaten

Boring: GP01A

Datum: 21-9-2020
 GWS cm-mv: 170
 GHG cm-mv: 50

Maaiveldhoogte: 0,857
 in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege
 Opmerking: Peilbuis snijdend gezet, naast pb GP01 samen in 1 schutkoker

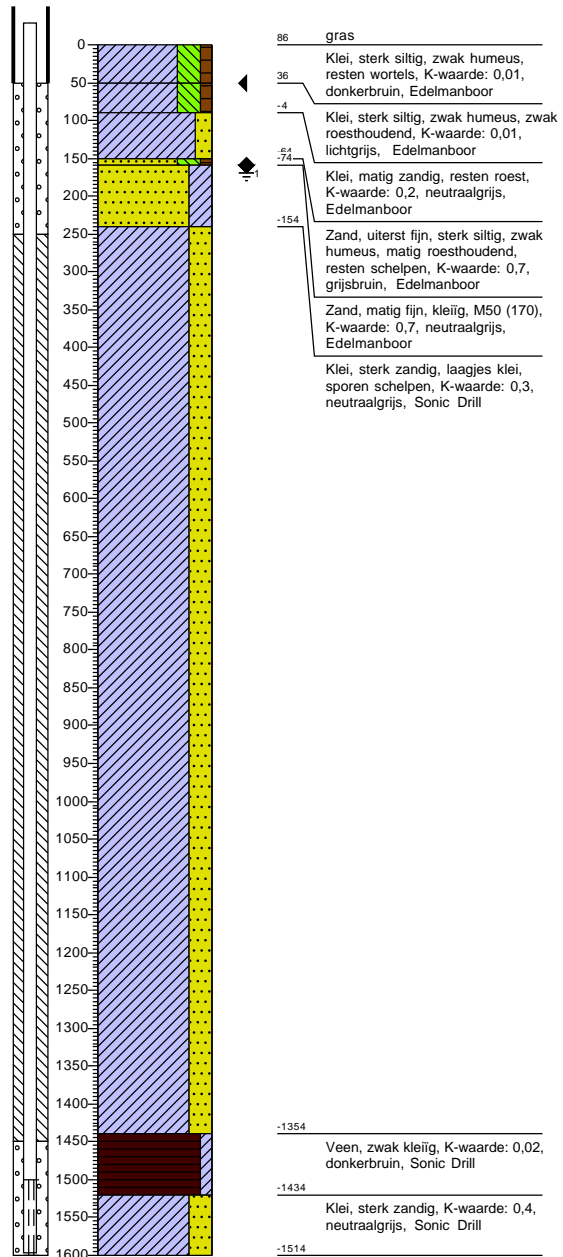
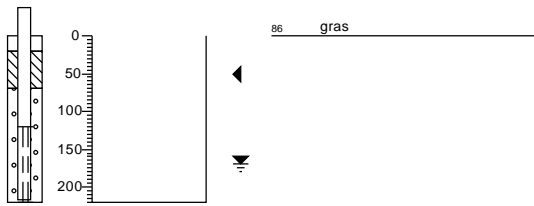
Boring: GP01

X: 248394,73
 Y: 601449,54
 Datum: 9-9-2020

GWS cm-mv: 170
 GHG cm-mv: 50
 GLG cm-mv: 160

Maaiveldhoogte: 0,857
 in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: LP01A

Datum: 21-9-2020
GWS cm-mv: 210

Maaiveldhoogte: 0,542
in meters t.o.v. NAP

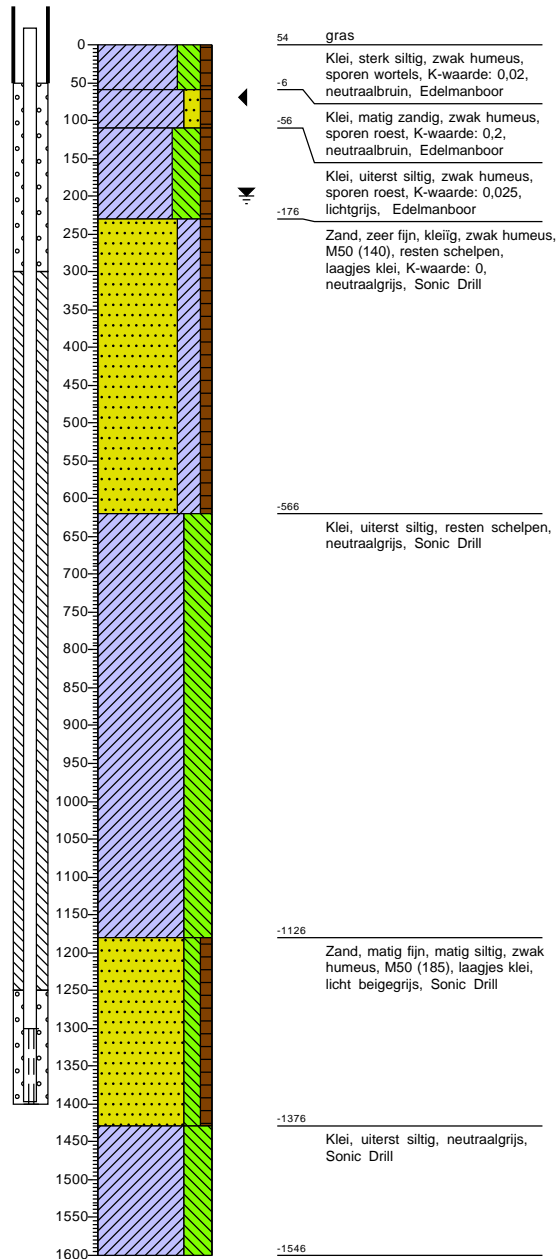
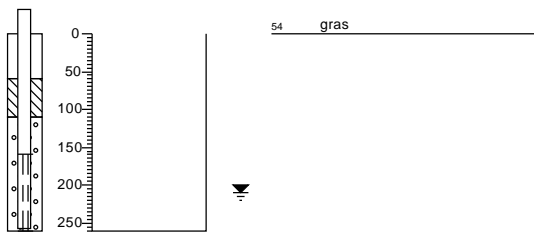
Boormeester Radboud Tiel Groenestege
Opmerking: Peilbuis snijgend gezet, naast pb LP01 samen in 1 schutkoker

Boring: LP01

X: 244539,52
Y: 594417,02
Datum: 9-9-2020
GWS cm-mv: 200
GHG cm-mv: 70

Maaiveldhoogte: 0,542
in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: GB01

X: 248105,42
 Y: 601756,00
 Datum: 26-8-2020
 GWS cm-mv: 140
 GHG cm-mv: 50
 GLG cm-mv: 150

in meters t.o.v. NAP

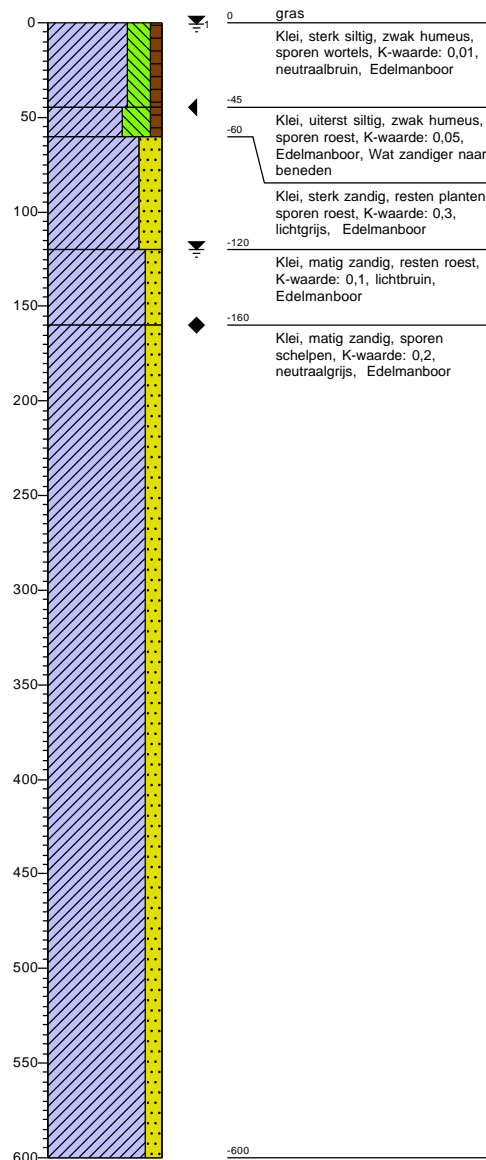
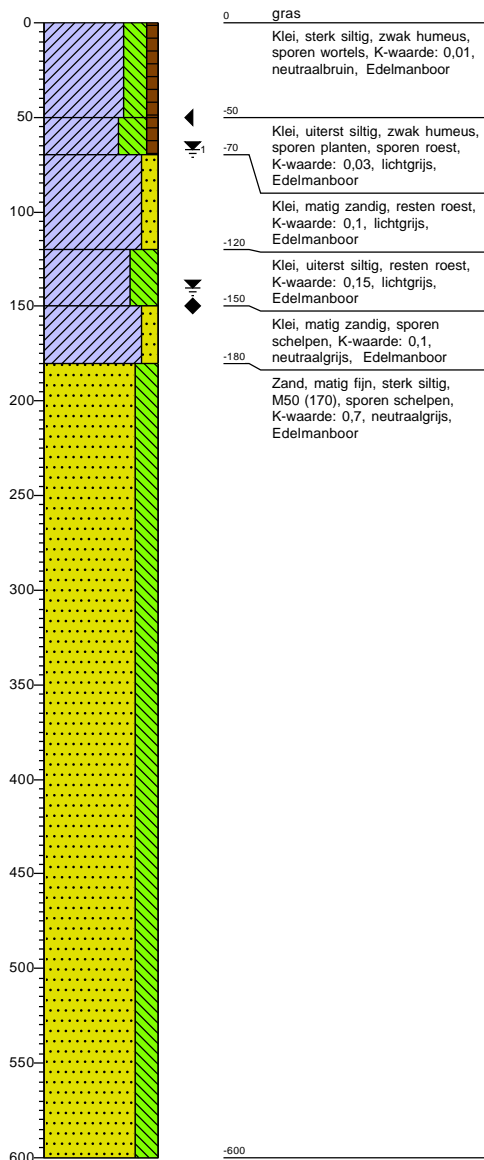
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: GB02

X: 248044,42
 Y: 601721,17
 Datum: 26-8-2020
 GWS cm-mv: 120
 GHG cm-mv: 45
 GLG cm-mv: 160

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: GB03

X: 248187,43
 Y: 601723,47
 Datum: 25-8-2020
 GWS cm-mv: 170
 GHG cm-mv: 45
 GLG cm-mv: 250

in meters t.o.v. NAP

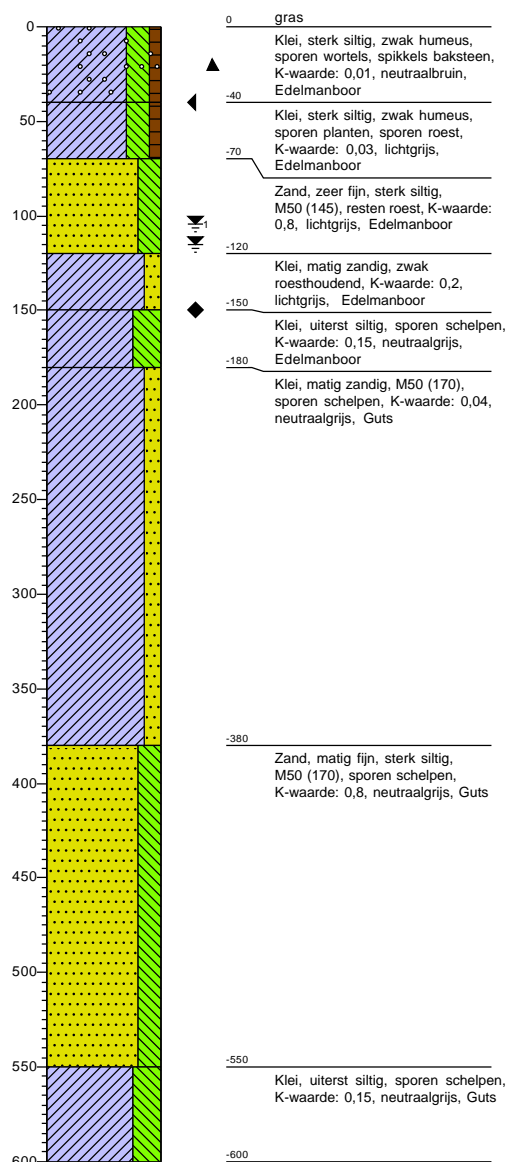
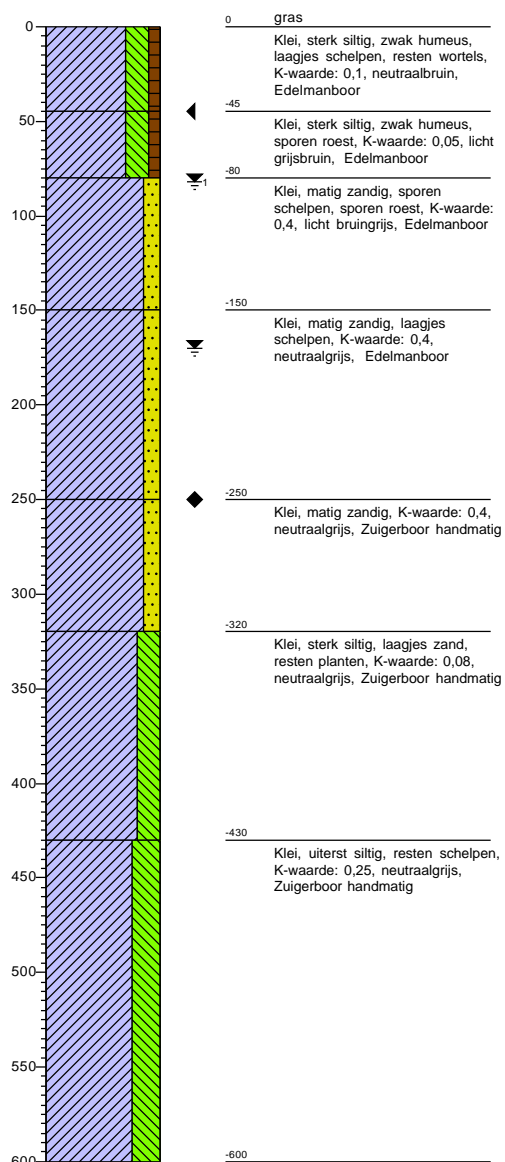
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: GB04

X: 248092,72
 Y: 601654,00
 Datum: 26-8-2020
 GWS cm-mv: 115
 GHG cm-mv: 40
 GLG cm-mv: 150

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: GB06

X: 248084,25
 Y: 601598,13
 Datum: 25-8-2020
 GWS cm-mv: 170
 GHG cm-mv: 50
 GLG cm-mv: 250

in meters t.o.v. NAP

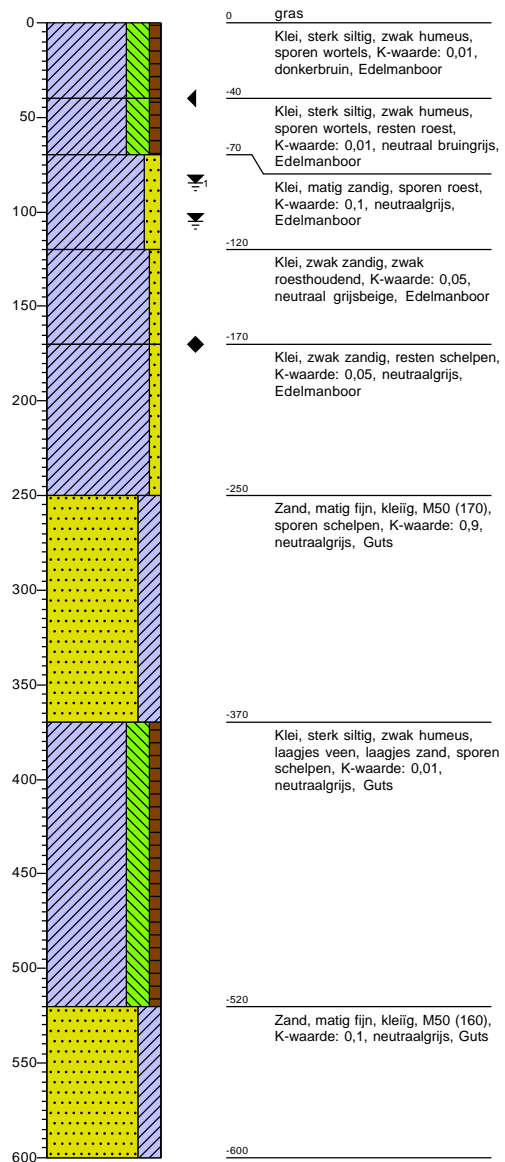
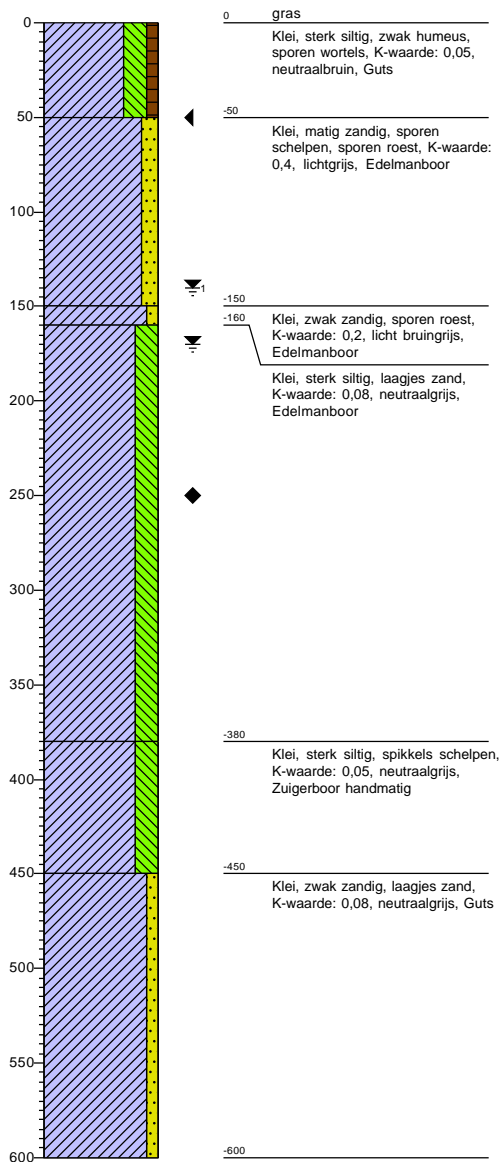
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: GB07

X: 248198,96
 Y: 601589,23
 Datum: 26-8-2020
 GWS cm-mv: 105
 GHG cm-mv: 40
 GLG cm-mv: 170

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Kevin Vaassen



Boring: GB05

X: 248169,01
 Y: 601663,35
 Datum: 26-8-2020
 GWS cm-mv: 100
 GHG cm-mv: 45
 GLG cm-mv: 170

in meters t.o.v. NAP

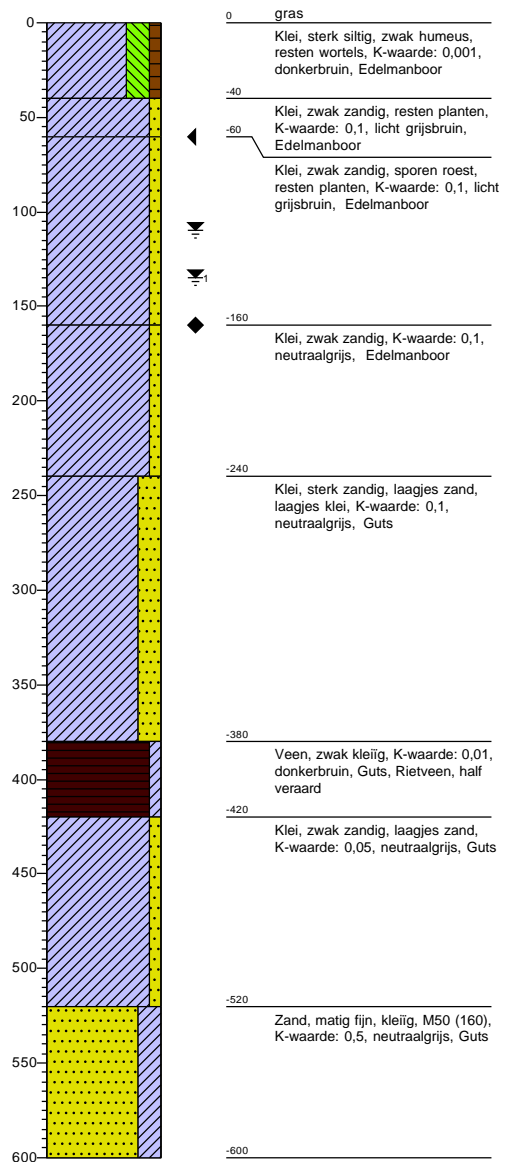
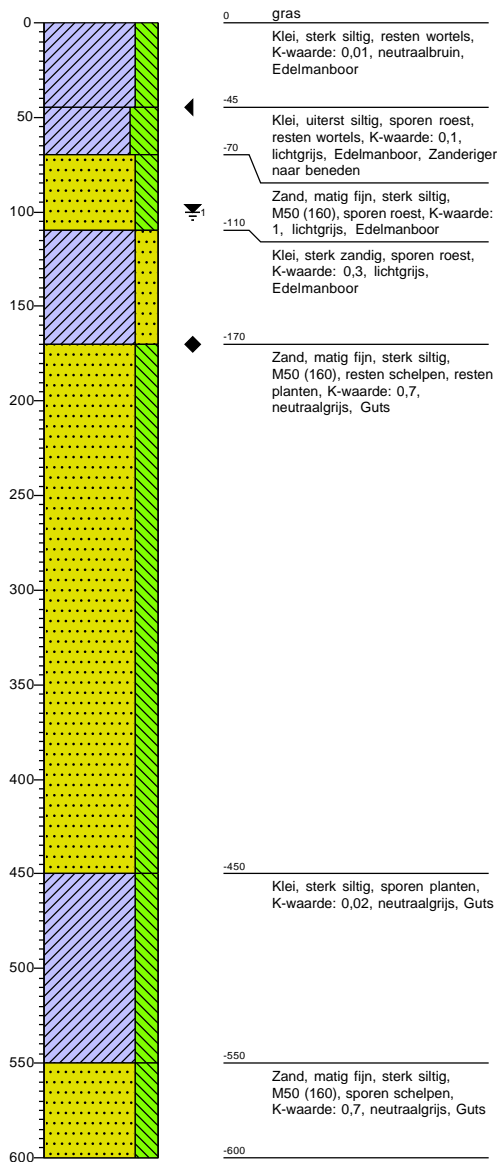
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: GB10

X: 248237,10
 Y: 601485,07
 Datum: 27-8-2020
 GWS cm-mv: 110
 GHG cm-mv: 60
 GLG cm-mv: 160

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Projectnaam: Ongelijke bodemdaling
Projectcode : 367825

Boring: GB08

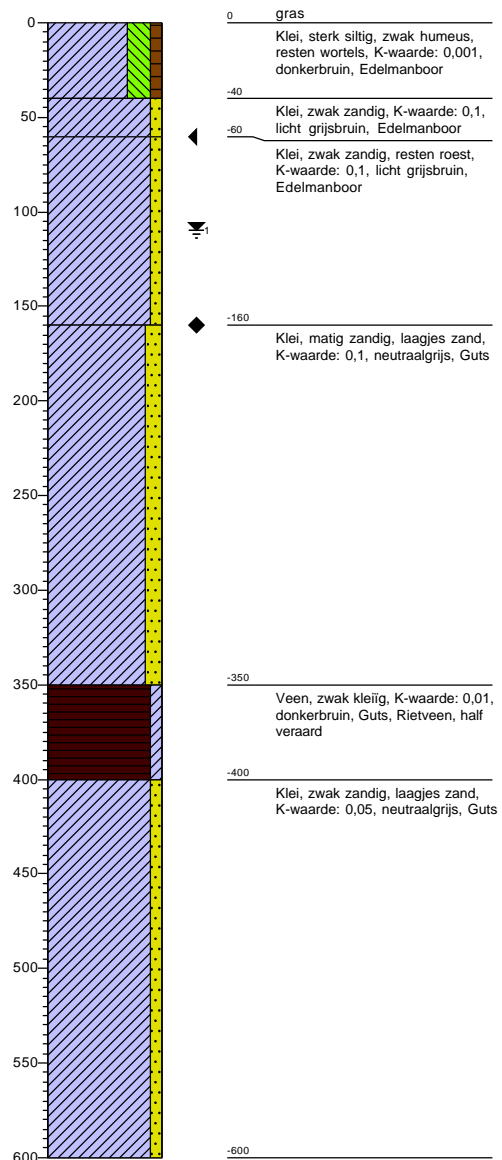
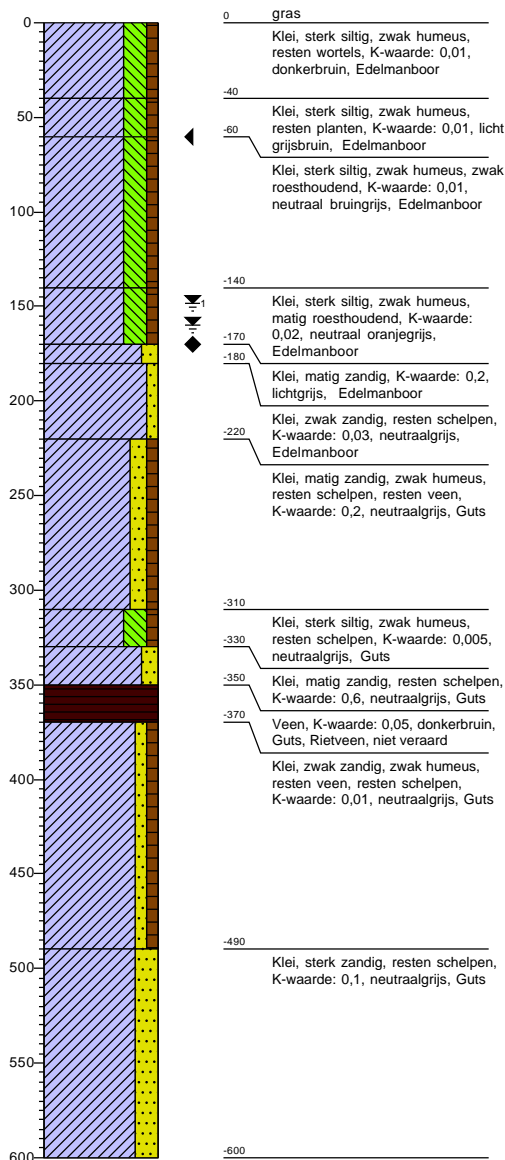
X: 248147,80
 Y: 601494,95
 Datum: 26-8-2020
 GWS cm-mv: 160
 GHG cm-mv: 60
 GLG cm-mv: 170

in meters t.o.v. NAP
 Boormeester Kevin Vaassen

Boring: GB09

X: 248287,36
 Y: 601531,54
 Datum: 27-8-2020
 GWS cm-mv: 110
 GHG cm-mv: 60
 GLG cm-mv: 160

in meters t.o.v. NAP
 Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: GB11

X: 248336,69
 Y: 601438,86
 Datum: 27-8-2020
 GWS cm-mv: 140
 GHG cm-mv: 40
 GLG cm-mv: 160

in meters t.o.v. NAP

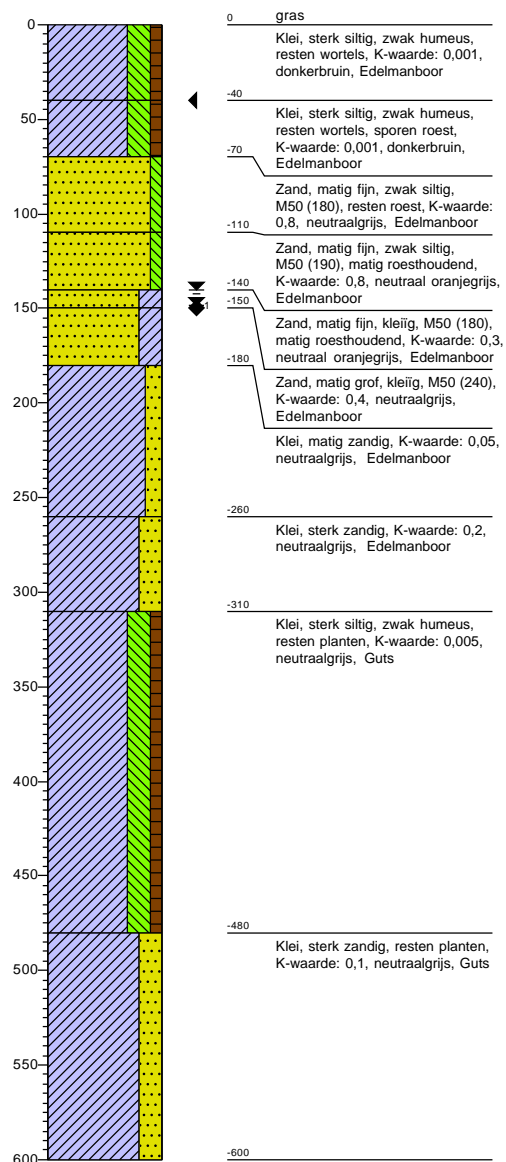
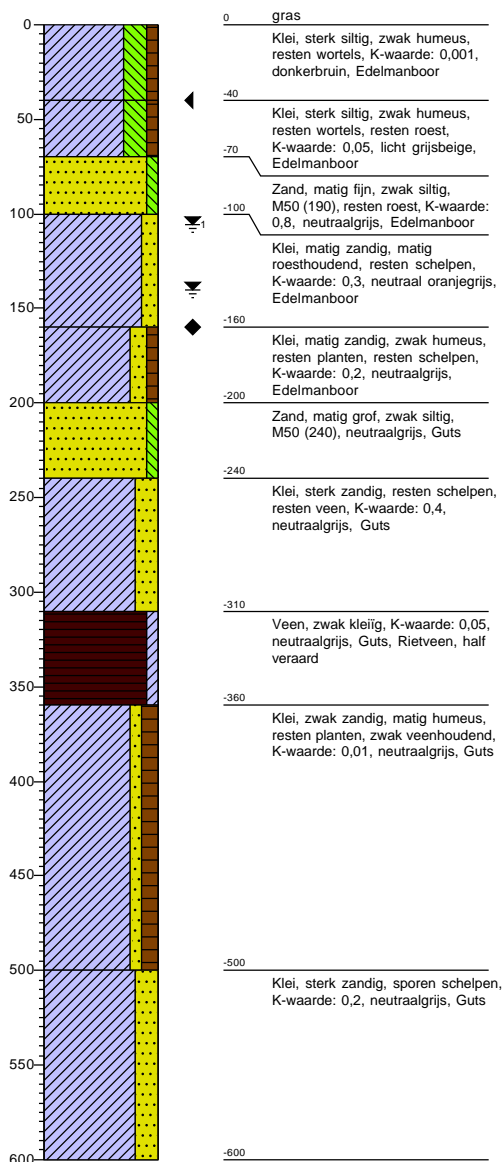
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: GB12

X: 248267,39
 Y: 601387,26
 Datum: 27-8-2020
 GWS cm-mv: 140
 GHG cm-mv: 40
 GLG cm-mv: 150

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: GB13

X: 248385,93
 Y: 601368,88
 Datum: 25-8-2020
 GWS cm-mv: 170
 GHG cm-mv: 45
 GLG cm-mv: 250

in meters t.o.v. NAP

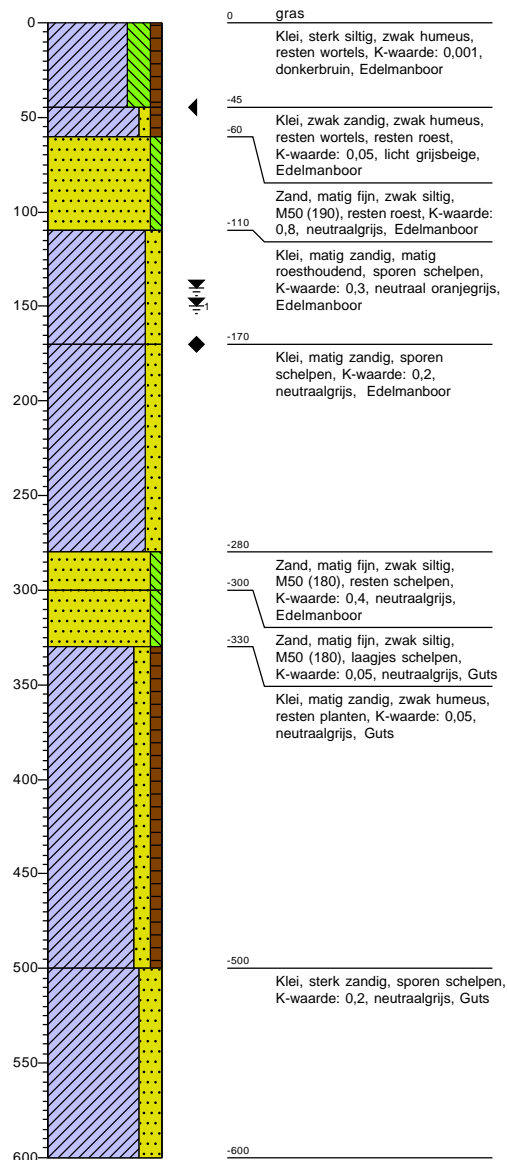
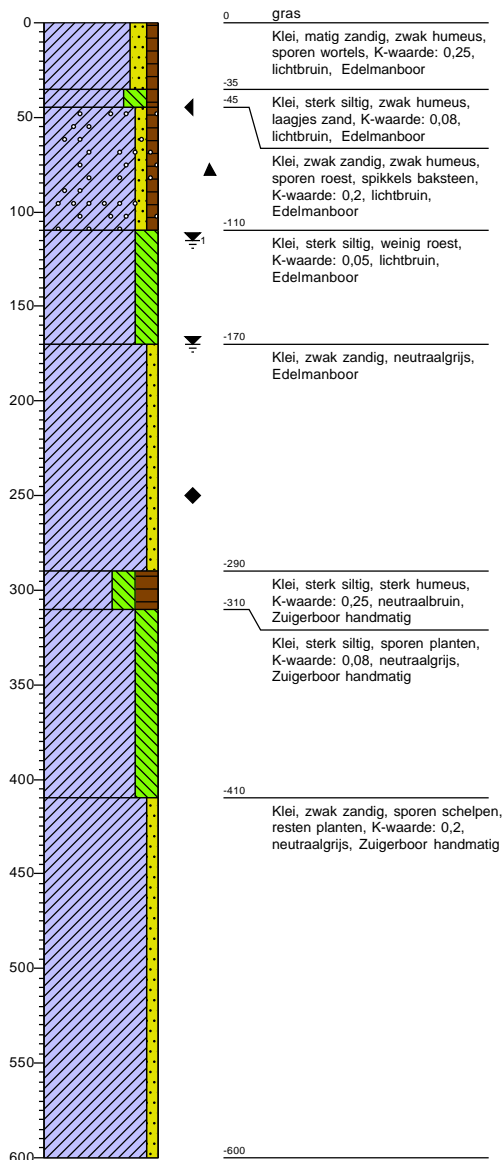
Boormeester Radboud Tiel Groenestege
 Opmerking: GLG lastig te zien

Boring: GB14

X: 248293,28
 Y: 601309,54
 Datum: 27-8-2020
 GWS cm-mv: 140
 GHG cm-mv: 45
 GLG cm-mv: 170

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Projectnaam: Ongelijke bodemdaling
 Projectcode : 367825

Boring: GB15

X: 248468,68
 Y: 601321,20
 Datum: 25-8-2020
 GWS cm-mv: 140
 GHG cm-mv: 45
 GLG cm-mv: 250

in meters t.o.v. NAP

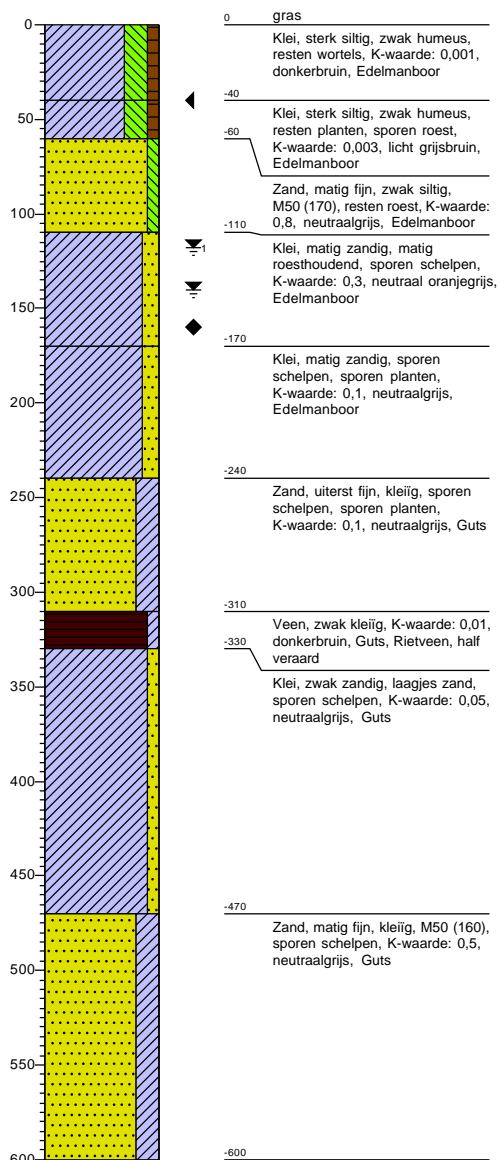
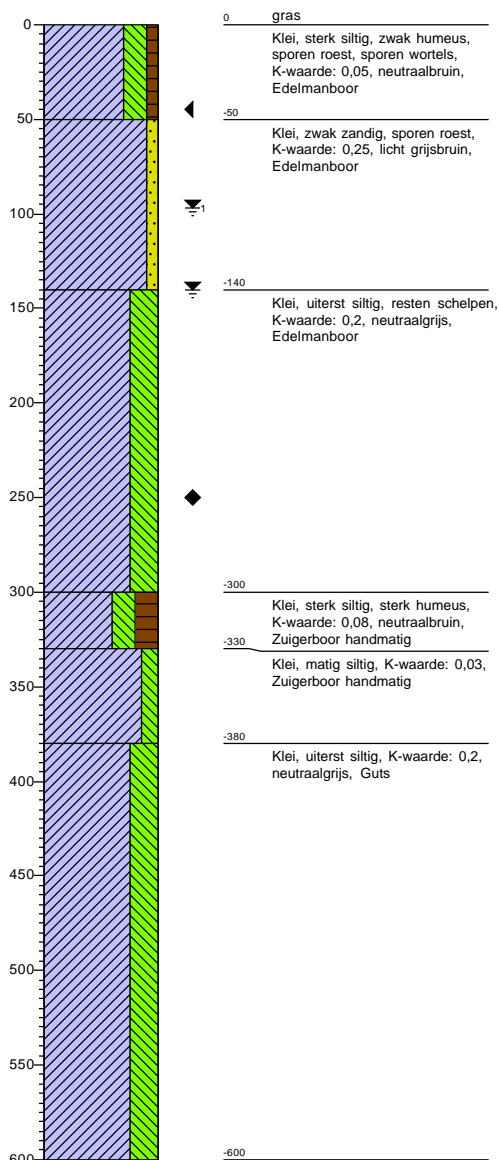
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: GB16

X: 248326,81
 Y: 601224,97
 Datum: 27-8-2020
 GWS cm-mv: 140
 GHG cm-mv: 40
 GLG cm-mv: 160

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: GB17

X: 248132,60
 Y: 601705,64
 Datum: 26-8-2020
 GWS cm-mv: 150
 GHG cm-mv: 100
 GLG cm-mv: 150

in meters t.o.v. NAP

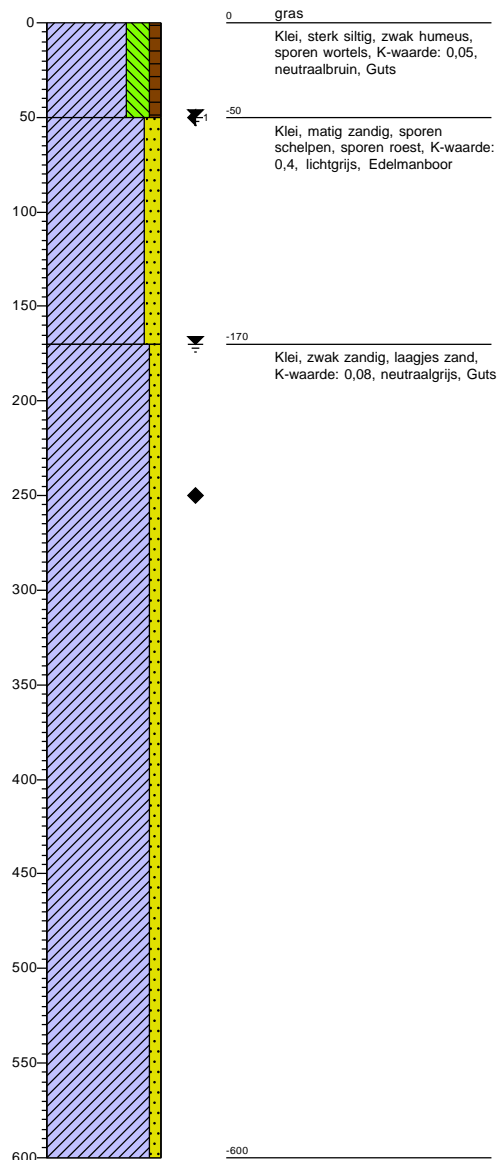
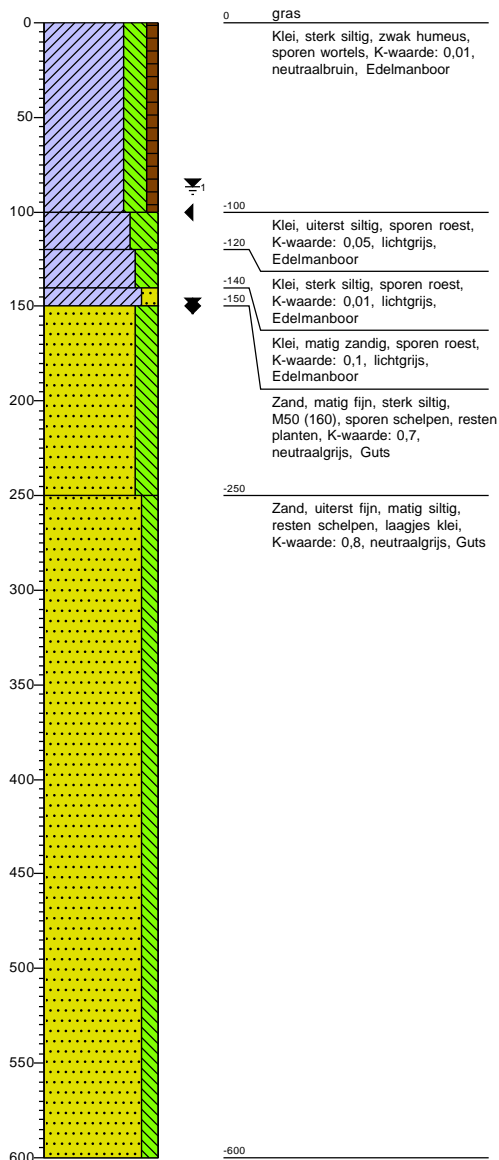
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: GB18

X: 248131,02
 Y: 601643,65
 Datum: 25-8-2020
 GWS cm-mv: 170
 GHG cm-mv: 50
 GLG cm-mv: 250

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: GB19

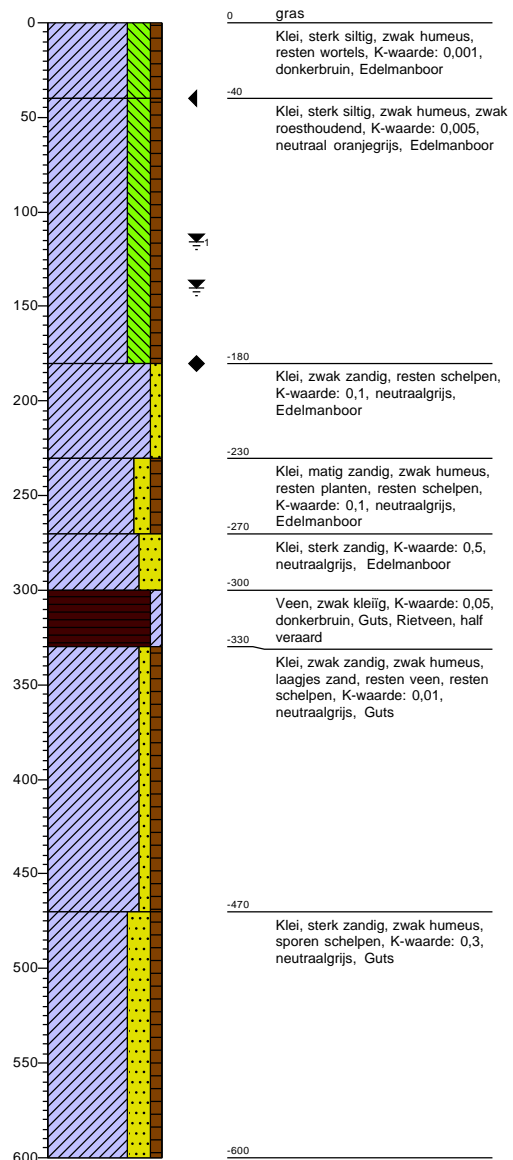
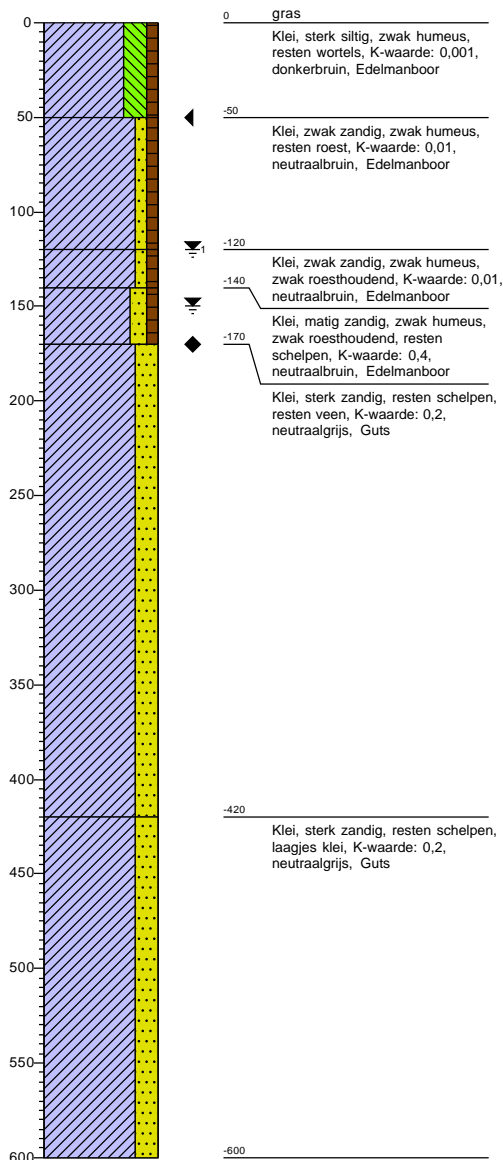
X: 248230,69
 Y: 601513,68
 Datum: 26-8-2020
 GWS cm-mv: 150
 GHG cm-mv: 50
 GLG cm-mv: 170

in meters t.o.v. NAP
 Boormeester Kevin Vaassen

Boring: GB20

X: 248282,51
 Y: 601424,08
 Datum: 27-8-2020
 GWS cm-mv: 140
 GHG cm-mv: 40
 GLG cm-mv: 180

in meters t.o.v. NAP
 Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: GB21

X: 248333,23
 Y: 601392,50
 Datum: 27-8-2020
 GWS cm-mv: 140
 GHG cm-mv: 45
 GLG cm-mv: 170

in meters t.o.v. NAP

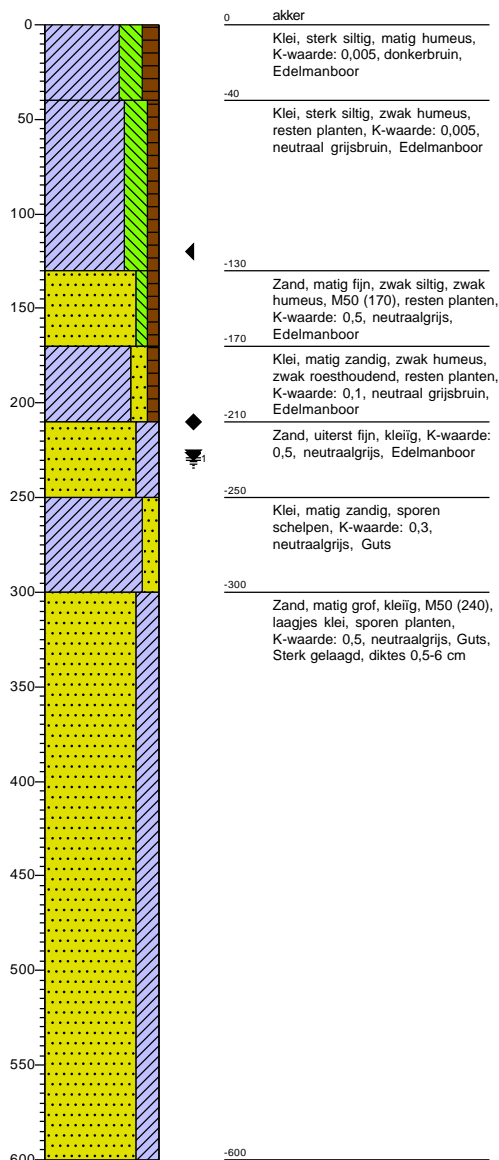
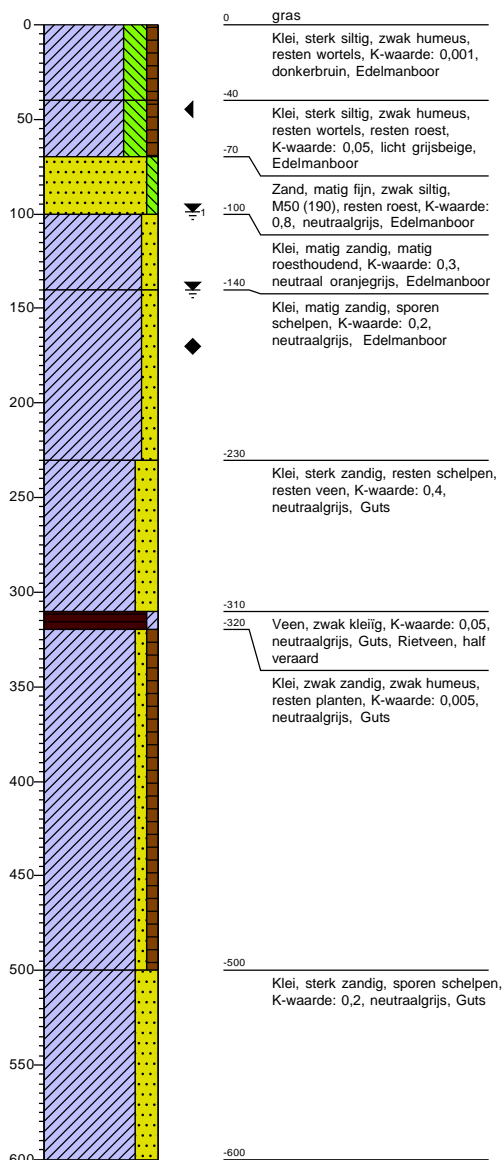
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: LB01

X: 244409,92
 Y: 594450,41
 Datum: 27-8-2020
 GWS cm-mv: 230
 GHG cm-mv: 120
 GLG cm-mv: 210

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: LB02

X: 244284,99
 Y: 594382,28
 Datum: 28-8-2020
 GWS cm-mv: 182
 GHG cm-mv: 130
 GLG cm-mv: 215

in meters t.o.v. NAP

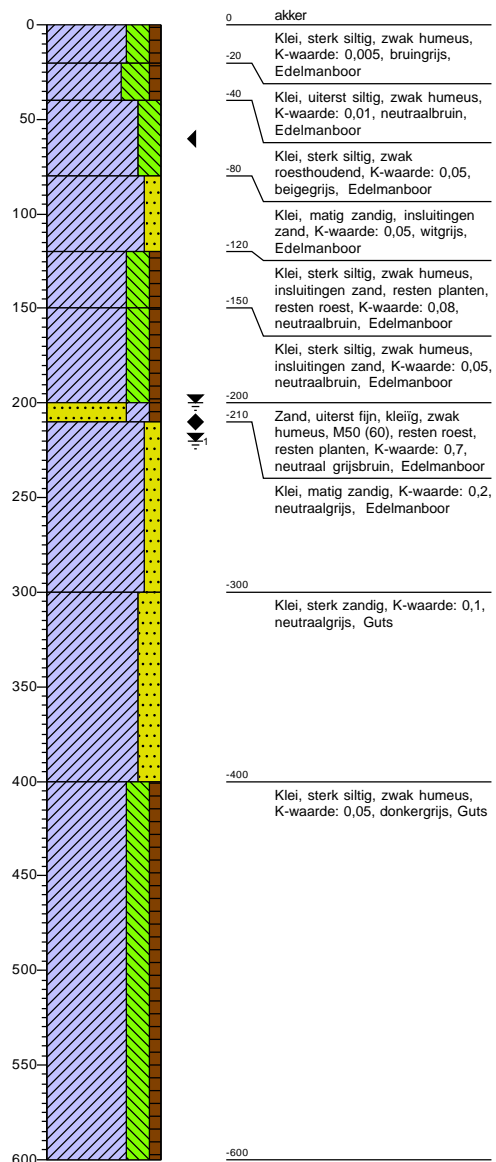
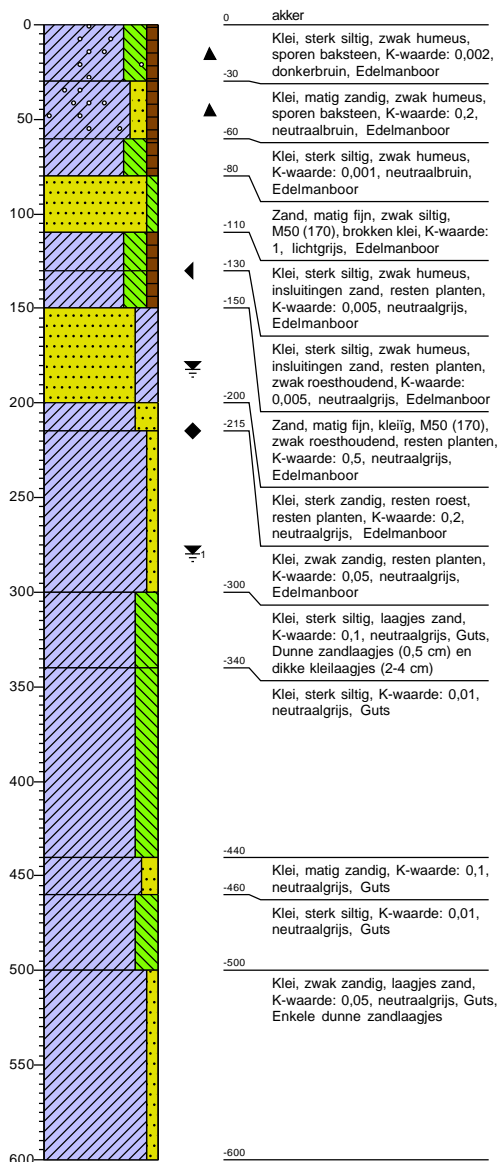
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: LB03

X: 244379,88
 Y: 594369,14
 Datum: 28-8-2020
 GWS cm-mv: 200
 GHG cm-mv: 60
 GLG cm-mv: 210

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: LB04

X: 244298,97
 Y: 594282,63
 Datum: 28-8-2020
 GWS cm-mv: 230
 GHG cm-mv: 60
 GLG cm-mv: 210

in meters t.o.v. NAP

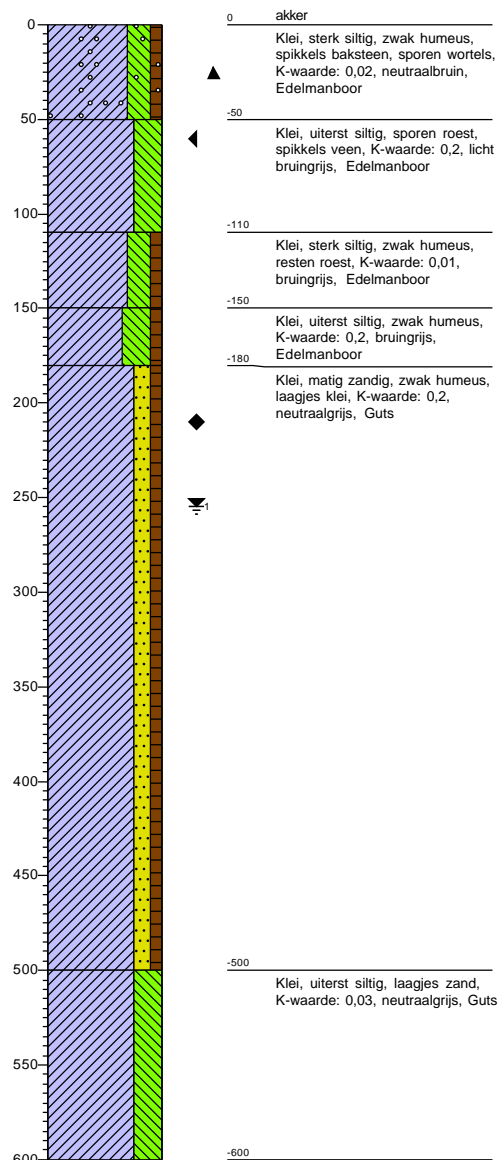
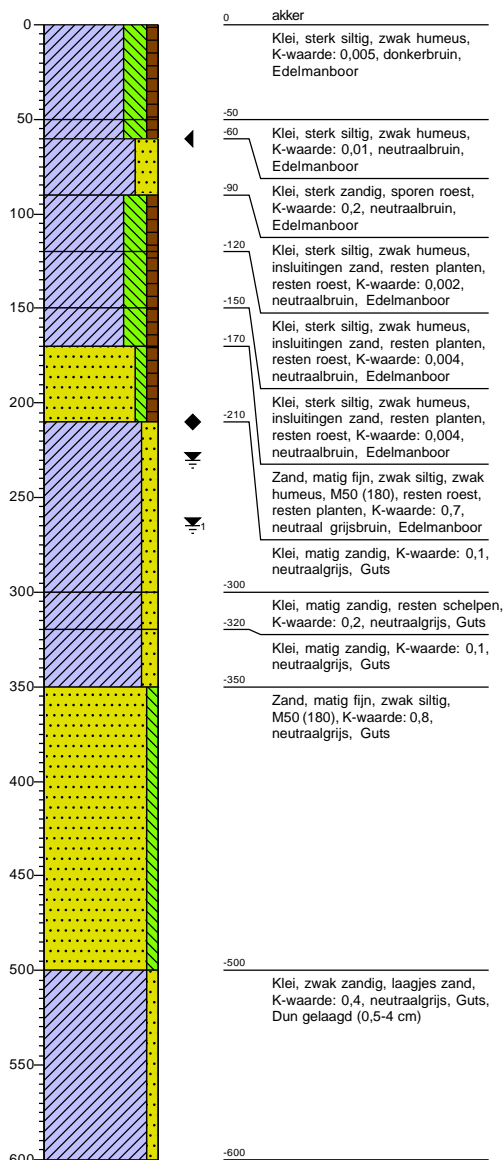
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: LB05

X: 244442,78
 Y: 594277,78
 Datum: 31-8-2020
 GWS cm-mv: 255
 GHG cm-mv: 60
 GLG cm-mv: 210

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Projectnaam: Ongelijke bodemdaling
 Projectcode : 367825

Boring: LB06

X: 244351,51
 Y: 594183,53
 Datum: 1-9-2020
 GWS cm-mv: 240
 GHG cm-mv: 70
 GLG cm-mv: 210

in meters t.o.v. NAP

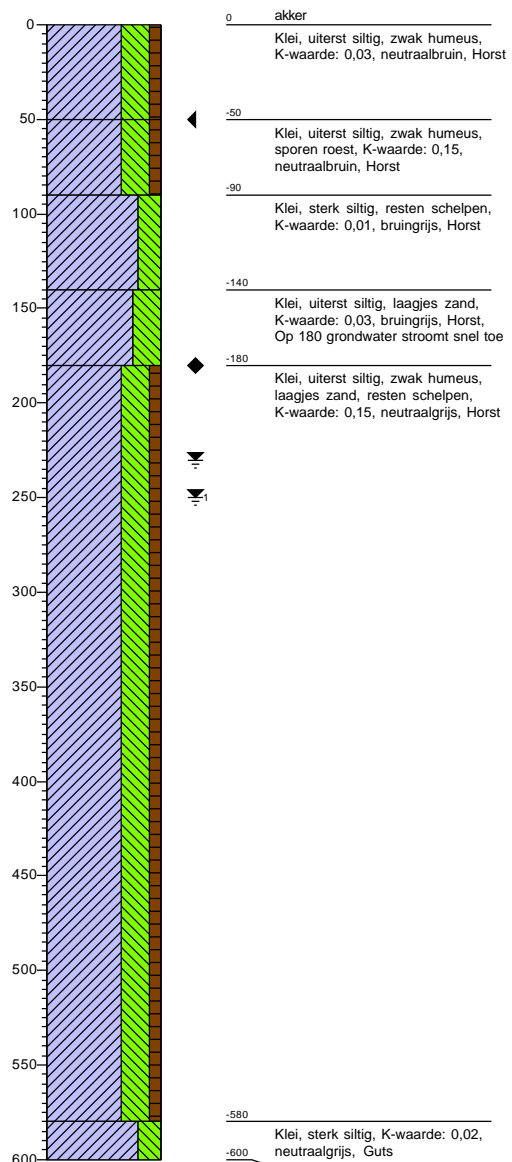
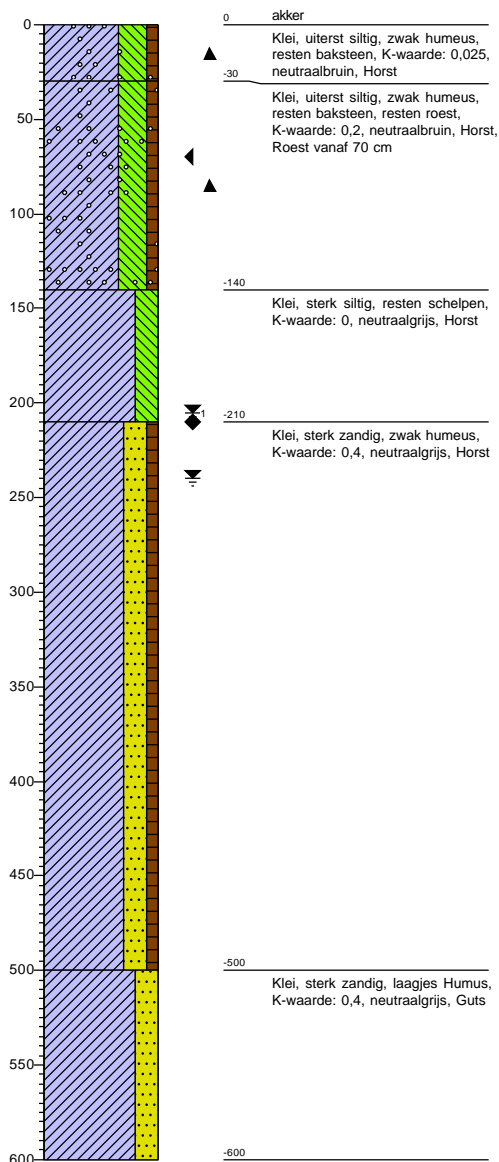
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: LB07

X: 244423,48
 Y: 594192,16
 Datum: 1-9-2020
 GWS cm-mv: 230
 GHG cm-mv: 50
 GLG cm-mv: 180

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: LB08

X: 244586,26
 Y: 594264,41
 Datum: 2-9-2020
 GWS cm-mv: 300
 GHG cm-mv: 40
 GLG cm-mv: 220

in meters t.o.v. NAP

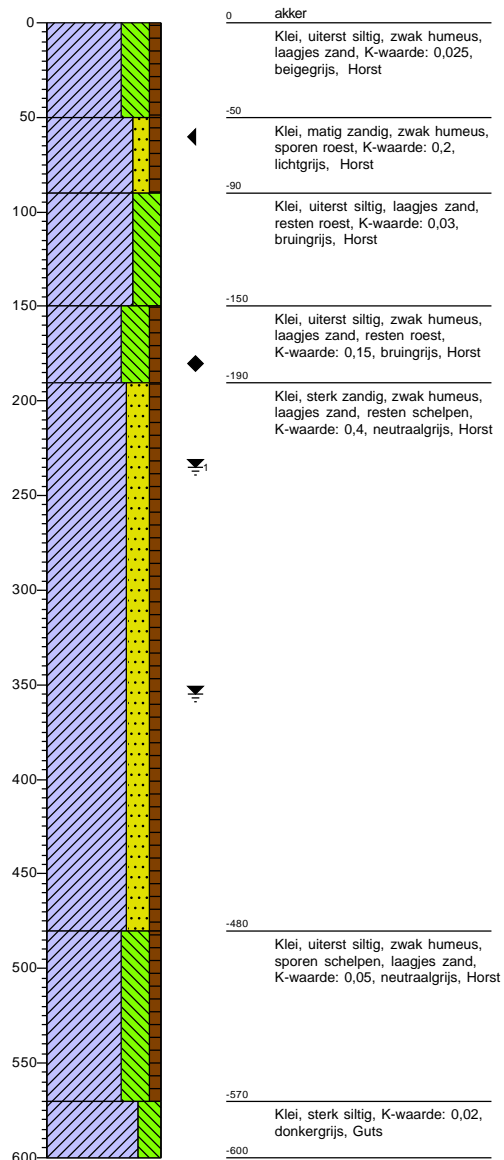
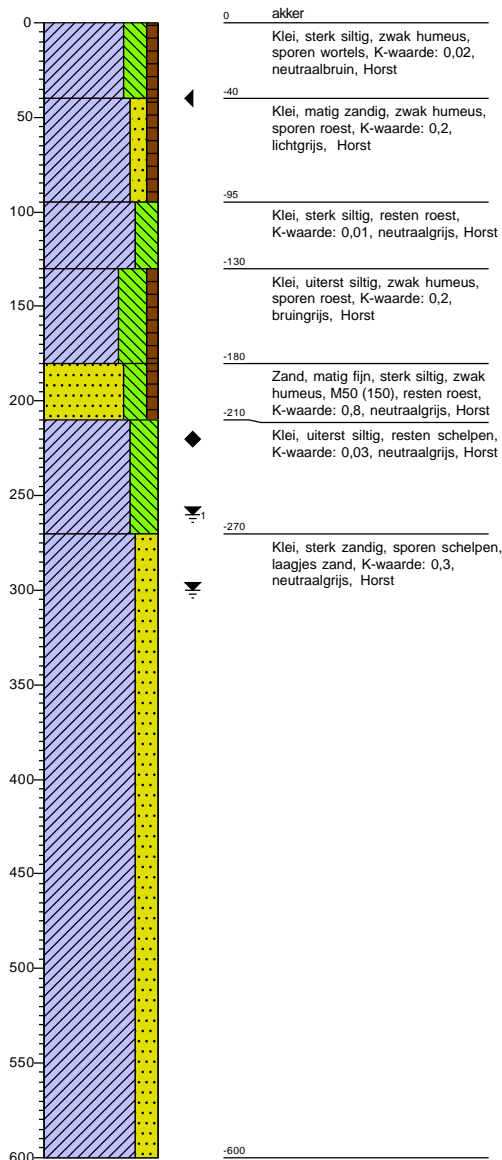
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: LB09

X: 244500,94
 Y: 594150,70
 Datum: 1-9-2020
 GWS cm-mv: 355
 GHG cm-mv: 60
 GLG cm-mv: 180

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: LB10

X: 244602,06
 Y: 594172,16
 Datum: 1-9-2020
 GWS cm-mv: 300
 GHG cm-mv: 40
 GLG cm-mv: 200

in meters t.o.v. NAP

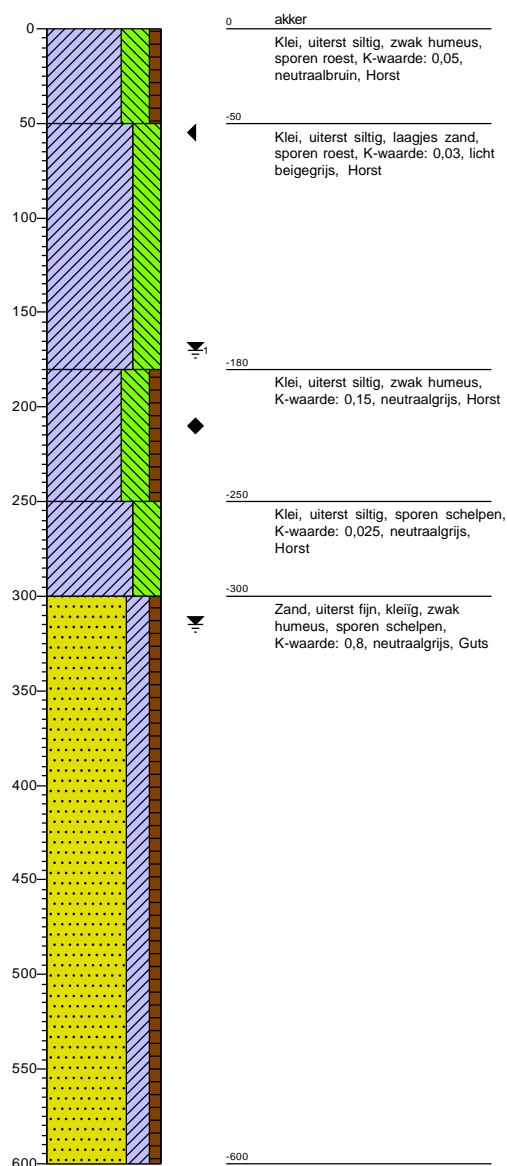
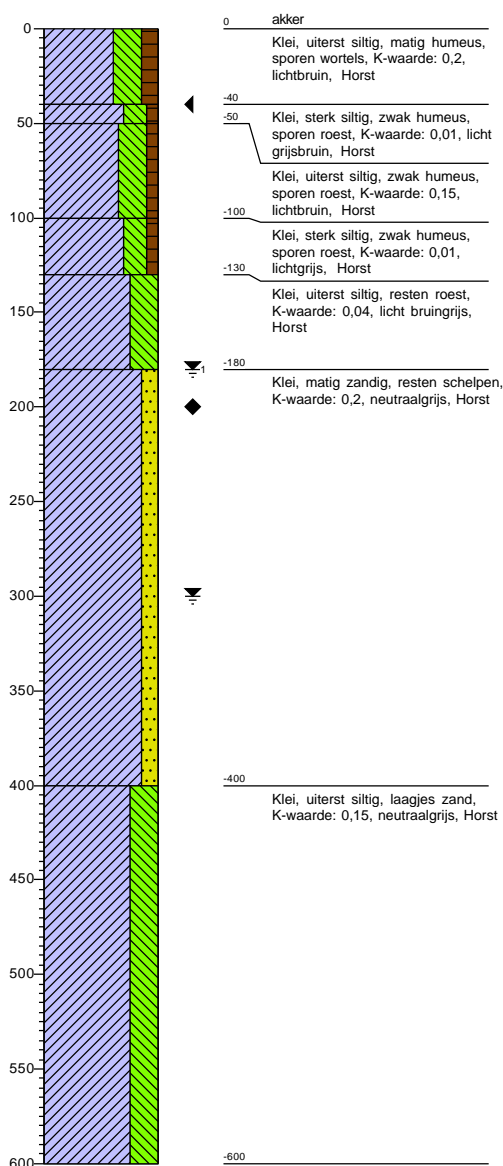
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: LB11

X: 244446,51
 Y: 594055,11
 Datum: 1-9-2020
 GWS cm-mv: 315
 GHG cm-mv: 55
 GLG cm-mv: 210

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: LB12

X: 244525,27
 Y: 594016,40
 Datum: 1-9-2020
 GWS cm-mv: 315
 GHG cm-mv: 40
 GLG cm-mv: 210

in meters t.o.v. NAP

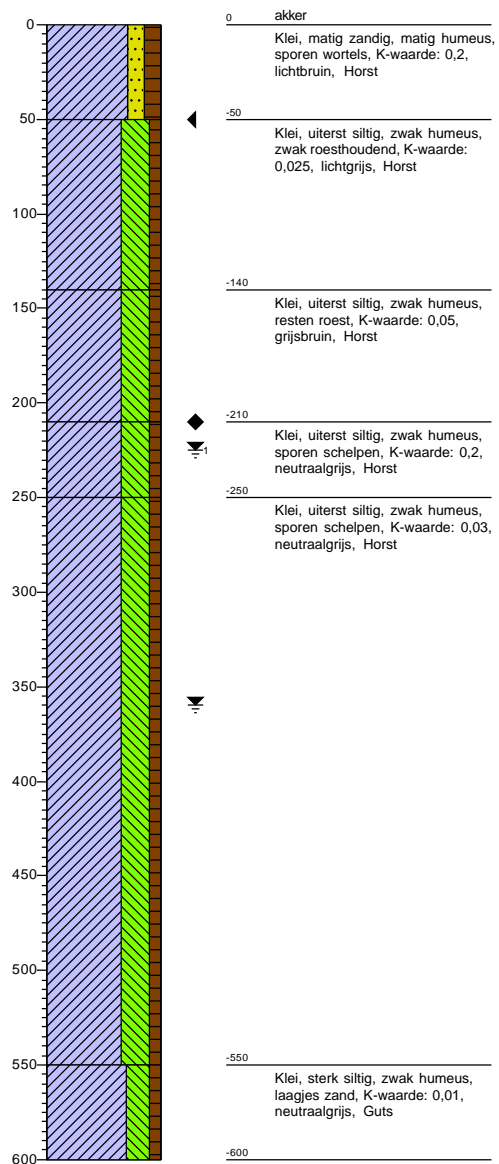
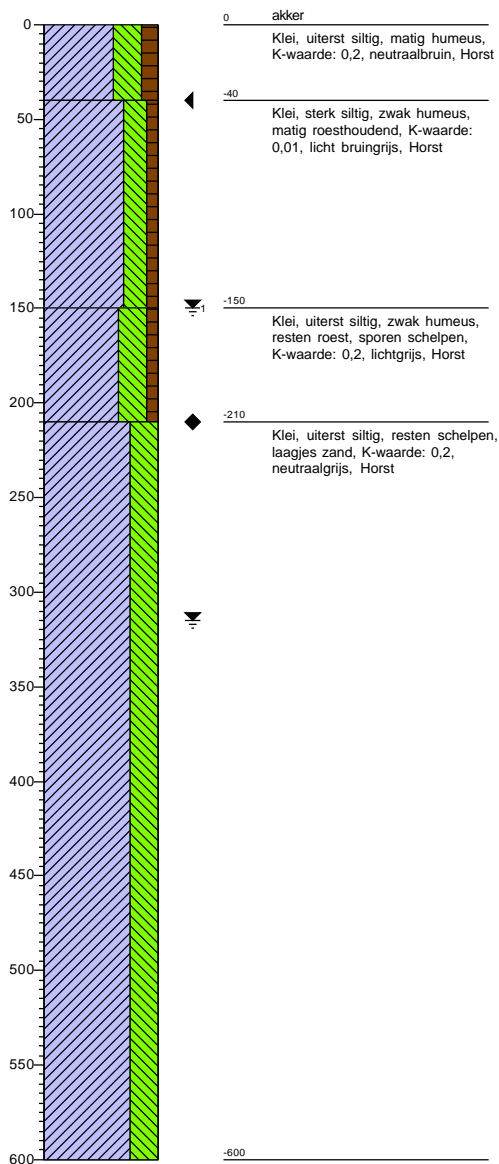
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: LB13

X: 244711,17
 Y: 594200,18
 Datum: 2-9-2020
 GWS cm-mv: 360
 GHG cm-mv: 50
 GLG cm-mv: 210

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: LB14

X: 244682,44
 Y: 594112,30
 Datum: 2-9-2020
 GWS cm-mv: 320
 GHG cm-mv: 40

in meters t.o.v. NAP

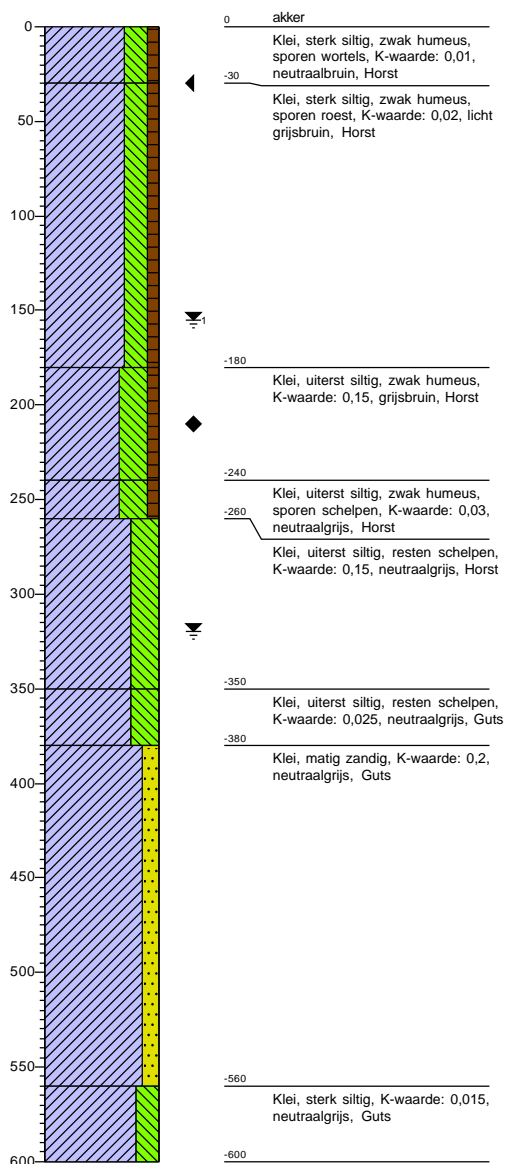
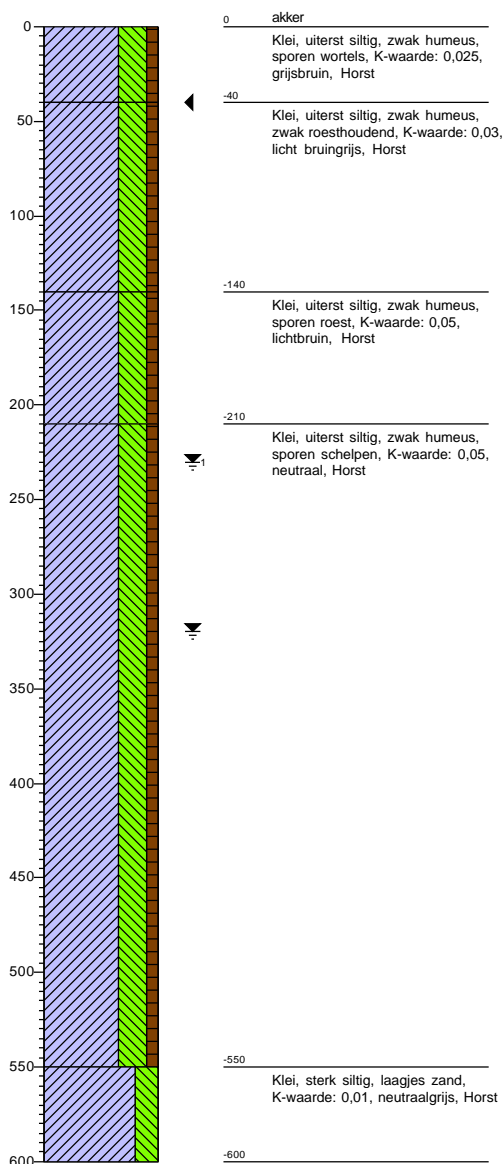
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: LB15

X: 244601,72
 Y: 594047,72
 Datum: 1-9-2020
 GWS cm-mv: 320
 GHG cm-mv: 30
 GLG cm-mv: 210

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: LB16

X: 244692,64
 Y: 594032,19
 Datum: 2-9-2020
 GWS cm-mv: 315
 GHG cm-mv: 80
 GLG cm-mv: 200

in meters t.o.v. NAP

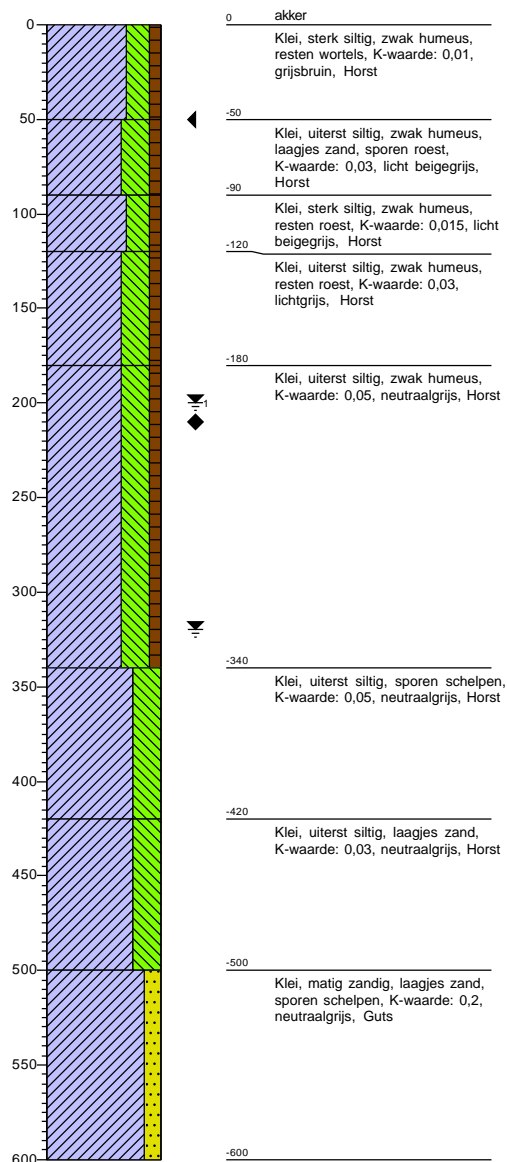
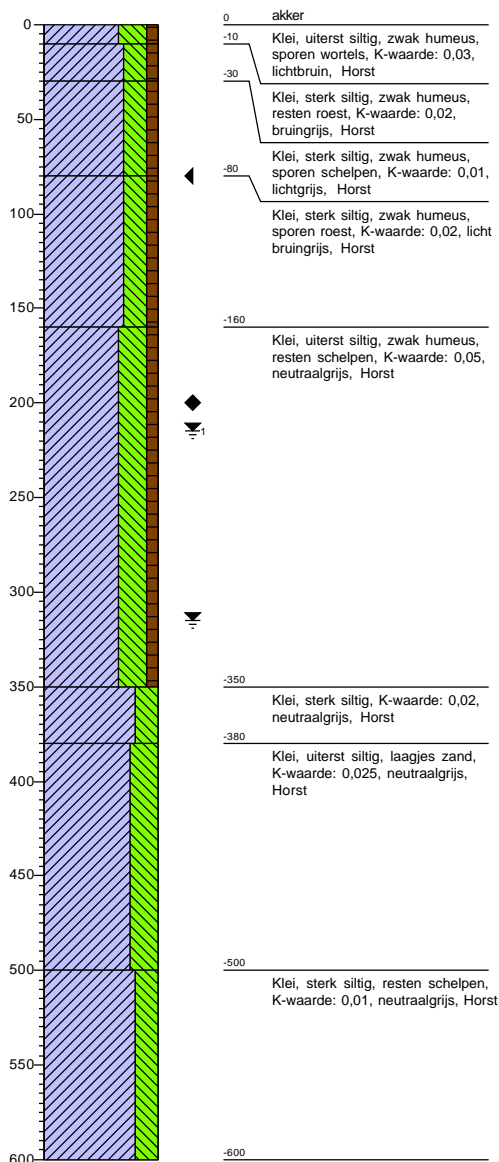
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: LB17

X: 244598,38
 Y: 593975,98
 Datum: 1-9-2020
 GWS cm-mv: 320
 GHG cm-mv: 50
 GLG cm-mv: 210

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: LB18

X: 244486,32
 Y: 594487,26
 Datum: 27-8-2020
 GWS cm-mv: 230
 GHG cm-mv: 100
 GLG cm-mv: 200

in meters t.o.v. NAP

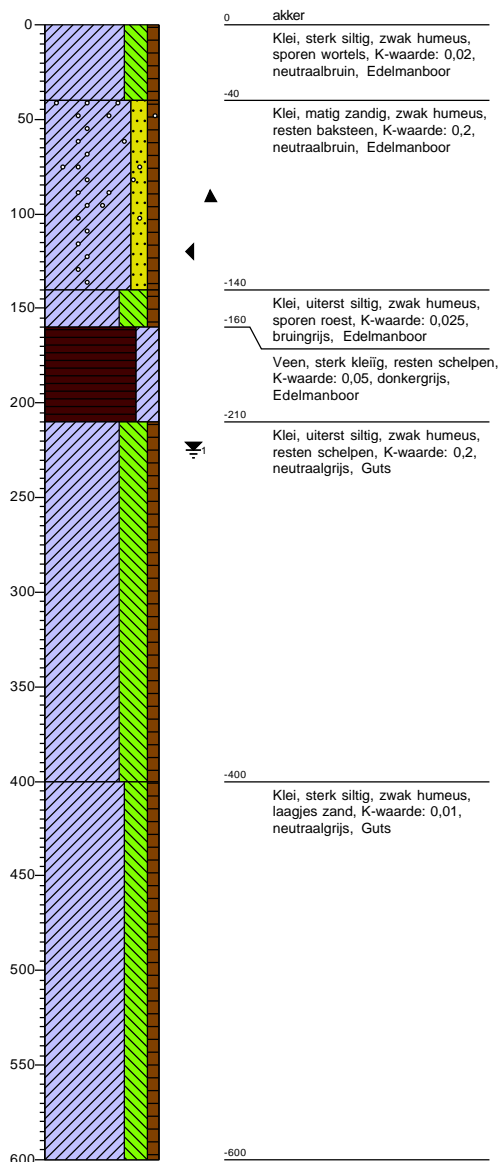
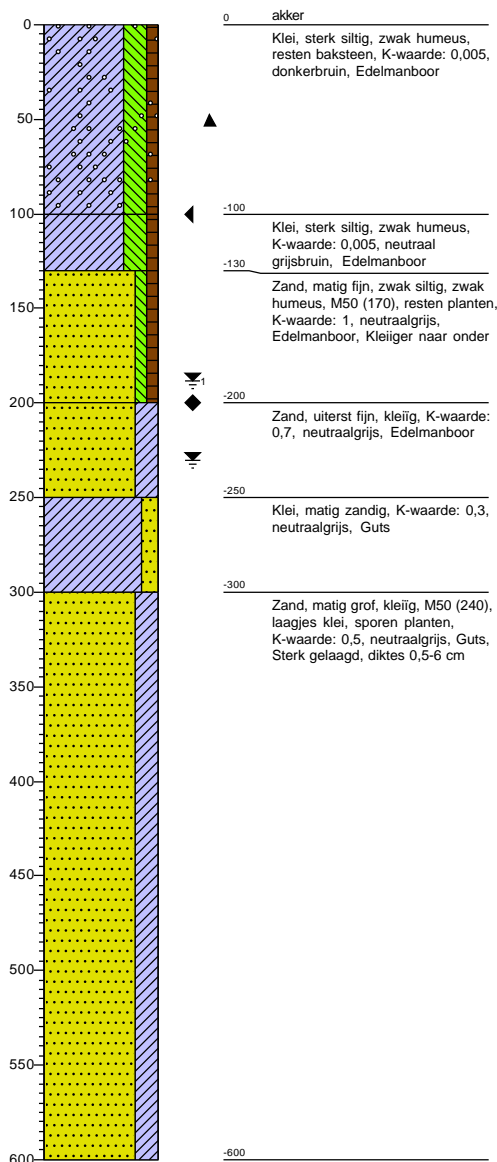
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: LB19

X: 244500,33
 Y: 594356,81
 Datum: 31-8-2020
 GWS cm-mv: 225
 GHG cm-mv: 120

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: LB20

X: 244371,48
 Y: 594465,92
 Datum: 28-8-2020
 GWS cm-mv: 225
 GHG cm-mv: 120
 GLG cm-mv: 200

in meters t.o.v. NAP

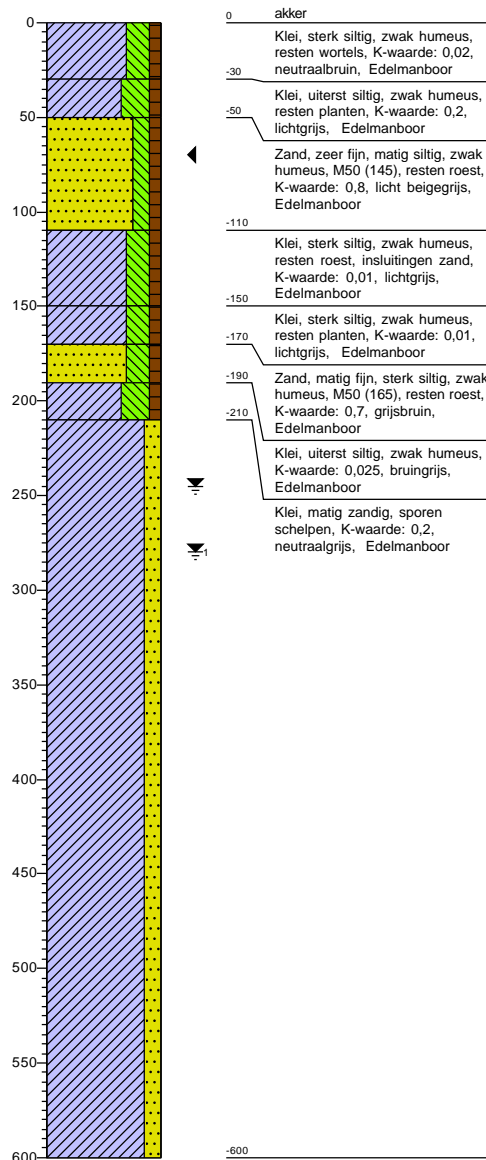
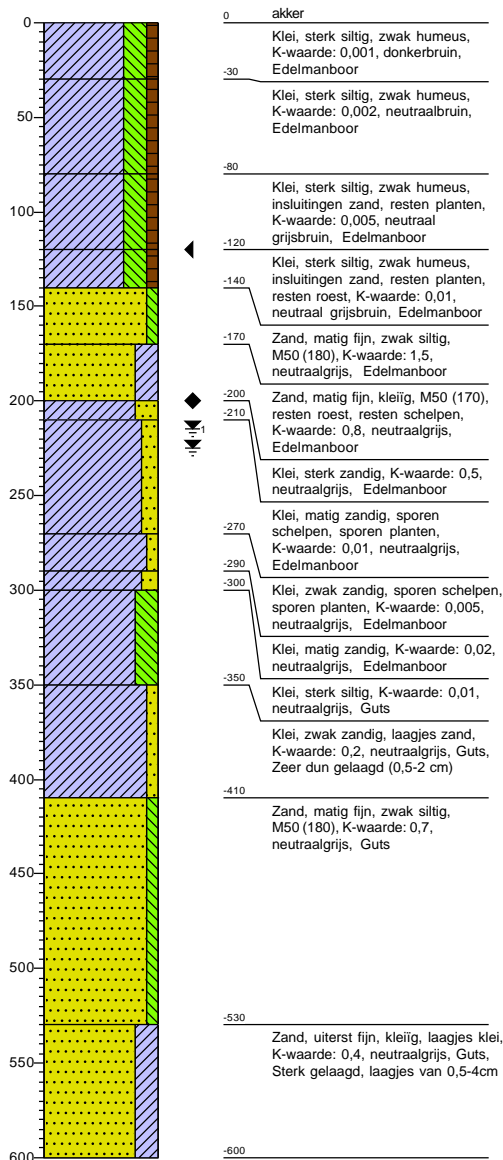
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: LB21

X: 244385,69
 Y: 594333,97
 Datum: 31-8-2020
 GWS cm-mv: 245
 GHG cm-mv: 70

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: LB22

X: 244552,82
 Y: 594272,00
 Datum: 2-9-2020
 GWS cm-mv: 280
 GHG cm-mv: 30
 GLG cm-mv: 190

in meters t.o.v. NAP

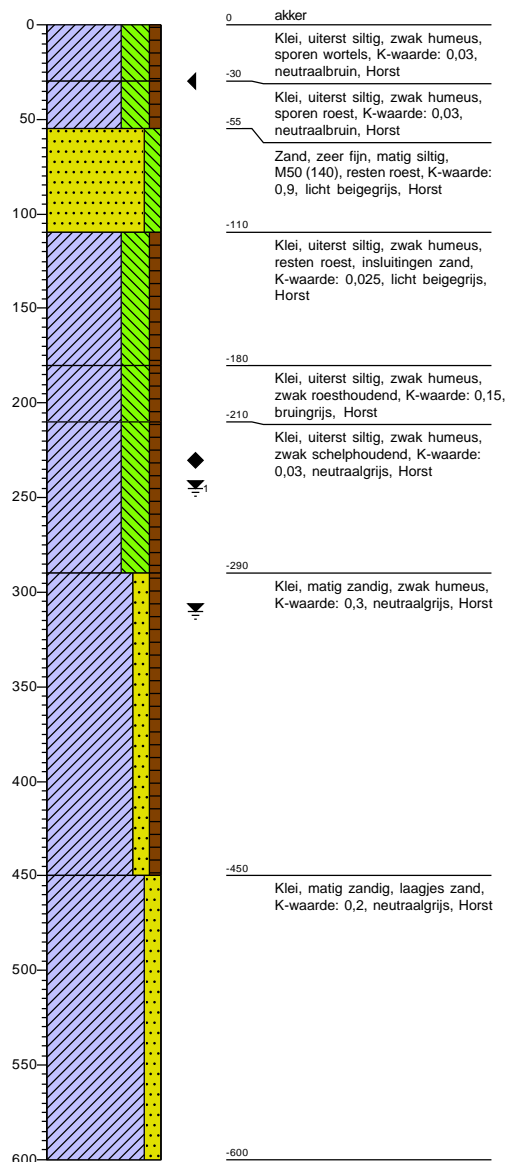
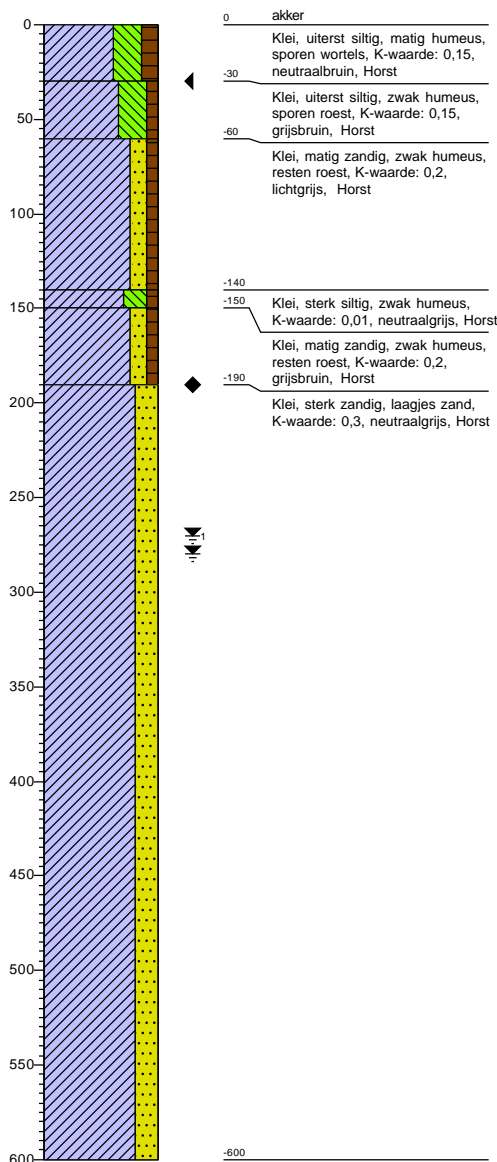
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: LB23

X: 244603,86
 Y: 594307,77
 Datum: 2-9-2020
 GWS cm-mv: 310
 GHG cm-mv: 30
 GLG cm-mv: 230

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: LB24

X: 244471,97
 Y: 594181,71
 Datum: 1-9-2020
 GWS cm-mv: 390
 GHG cm-mv: 30
 GLG cm-mv: 210

in meters t.o.v. NAP

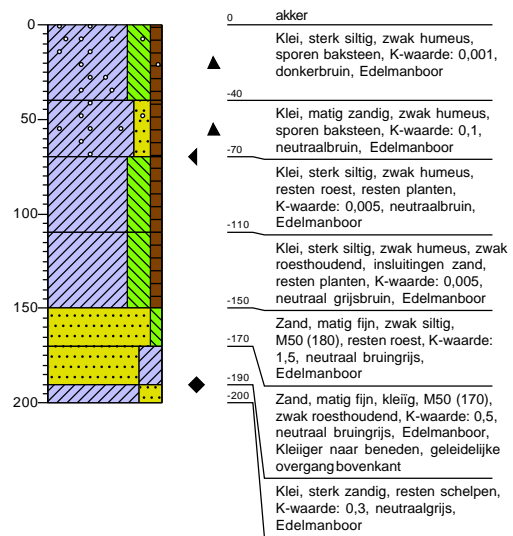
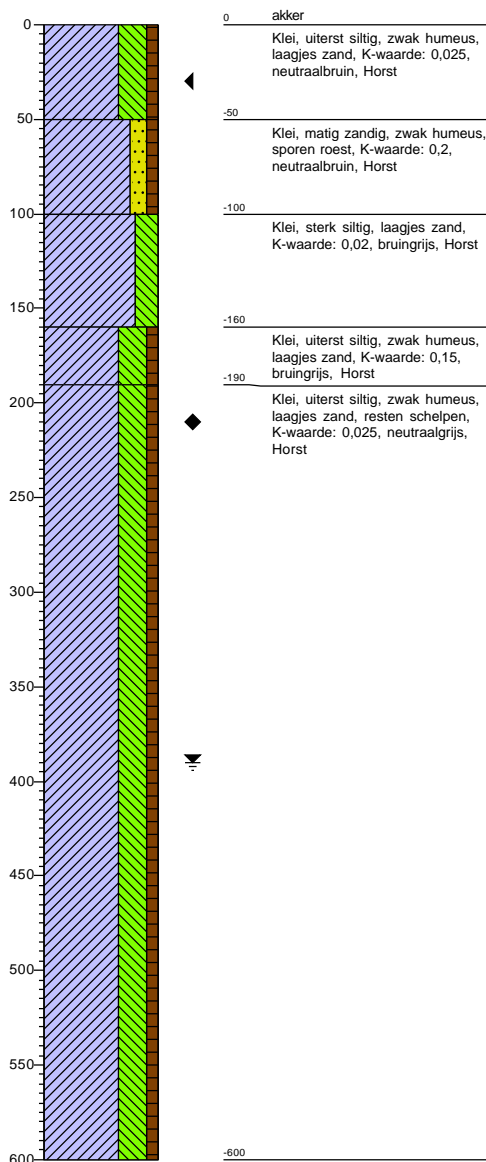
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: LB25

X: 244408,23
 Y: 594463,08
 Datum: 28-8-2020
 GHG cm-mv: 70
 GLG cm-mv: 190

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: LB26

X: 244348,99
 Y: 594260,94
 Datum: 31-8-2020

GHG cm-mv: 70

in meters t.o.v. NAP

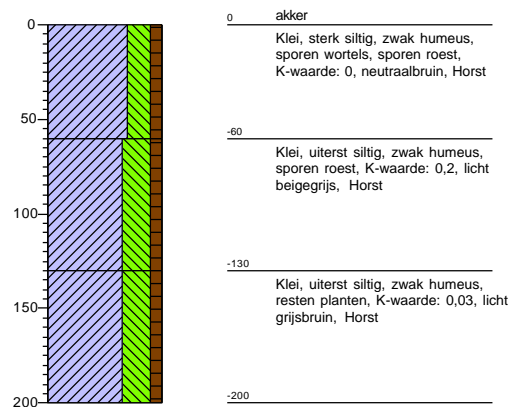
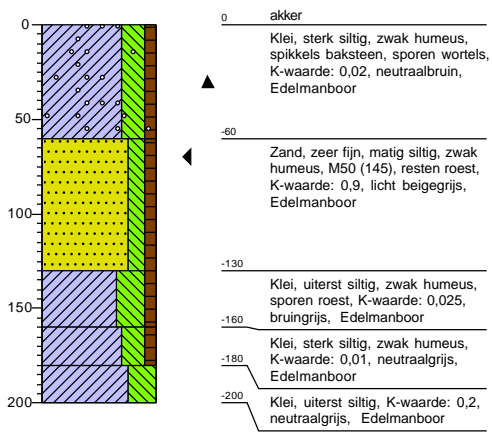
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: LB28

X: 244453,76
 Y: 594140,29
 Datum: 1-9-2020

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



Boring: LB29

X: 244648,52
 Y: 594170,94
 Datum: 2-9-2020

in meters t.o.v. NAP

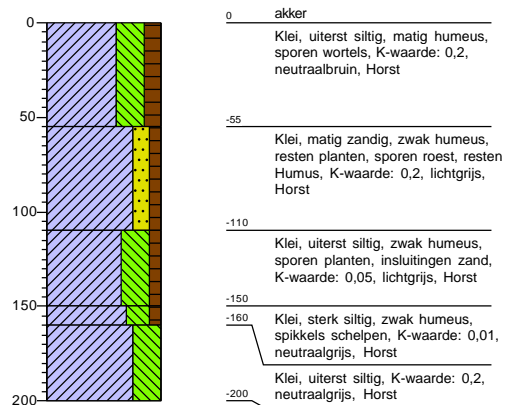
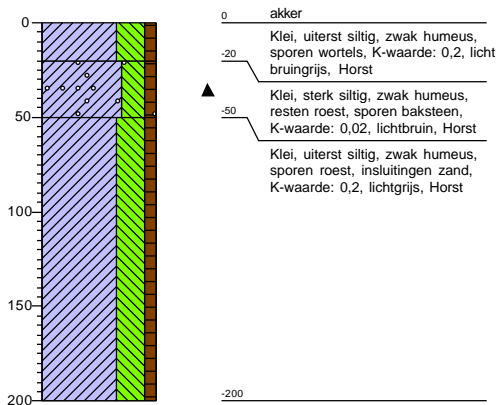
Boormeester Radboud Tiel Groenestege

Boring: LB27

X: 244534,18
 Y: 594320,19
 Datum: 2-9-2020

in meters t.o.v. NAP

Boormeester Radboud Tiel Groenestege



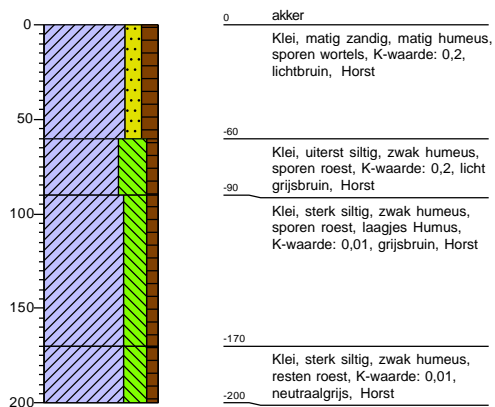


Boring: LB30

X: 244572,24
Y: 594058,80
Datum: 1-9-2020

in meters t.o.v. NAP

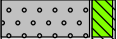




Boormeester Radboud Tiel Groenestege




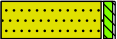



Projectnaam: Ongelijke bodemdaling
Projectcode : 367825

Legenda (conform NEN 5104)


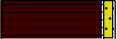
grind

-  Grind, siltig
-  Grind, zwak zandig
-  Grind, matig zandig
-  Grind, sterk zandig
-  Grind, uiterst zandig

zand

-  Zand, kleïg
-  Zand, zwak siltig
-  Zand, matig siltig
-  Zand, sterk siltig
-  Zand, uiterst siltig



veen

-  Veen, mineraalarm
-  Veen, zwak kleïg
-  Veen, sterk kleïg
-  Veen, zwak zandig
-  Veen, sterk zandig



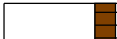

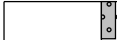

klei

-  Klei, zwak siltig
-  Klei, matig siltig
-  Klei, sterk siltig
-  Klei, uiterst siltig
-  Klei, zwak zandig
-  Klei, matig zandig
-  Klei, sterk zandig

leem

-  Leem, zwak zandig
-  Leem, sterk zandig






overige toevoegingen

-  zwak humeus
-  matig humeus
-  sterk humeus
-  zwak grindig
-  matig grindig
-  sterk grindig







geur

-  geen geur
-  zwakke geur
-  matige geur
-  sterke geur
-  uiterste geur




olie

-  geen olie-water reactie
-  zwakke olie-water reactie
-  matige olie-water reactie
-  sterke olie-water reactie
-  uiterste olie-water reactie

p.i.d.-waarde



-  > 0
-  > 1
-  > 10
-  > 100
-  > 1000
-  > 10000

monsters

-  geroerd monster
-  ongeroerd monster
-  volumering

overig

-  bijzonder bestanddeel
-  Gemiddeld hoogste grondwaterstand
-  grondwaterstand
-  Gemiddeld laagste grondwaterstand

-  slib
-  water

Bijlage 4

Tabel X, Y en Z (RD)

Meetpunt	X	Y	Z
-----------------	----------	----------	----------

Godlinze

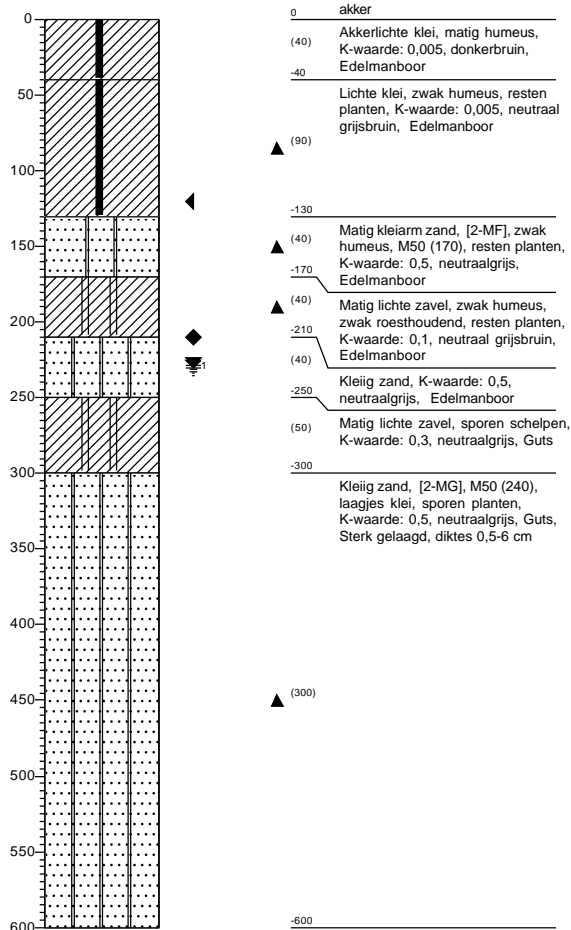
GS1	248097.14	601688.50	0.56
GS2	248104.47	601813.85	0.85
GS3	248289.24	601491.82	0.69
GS4	248305.35	601396.99	0.52

Loppersum

LS1	244300.91	594421.52	0.38
LS2	244395.96	594322.99	0.54
LS3	244538.74	594256.46	0.39
LS4	244435.27	594161.81	0.48
LS5	244430.48	594259.03	0.58

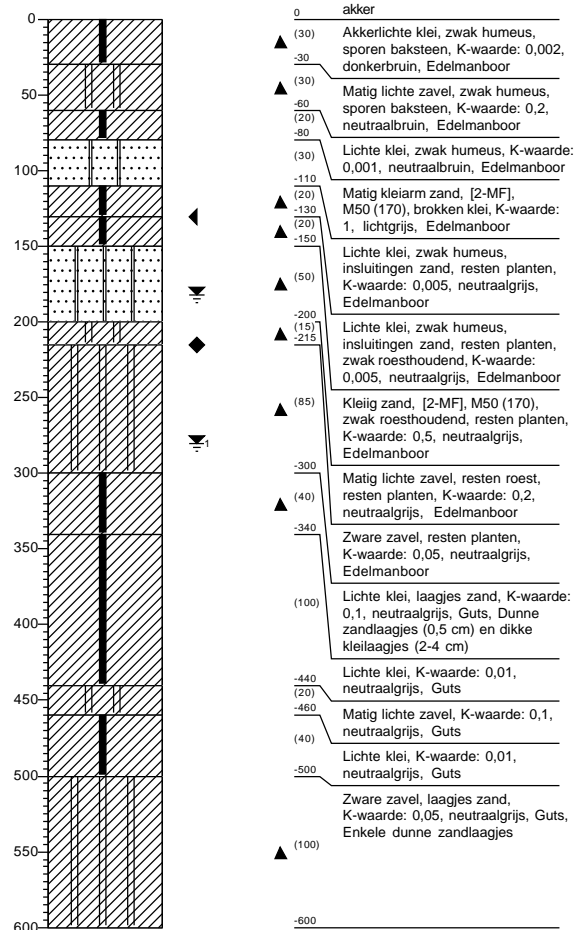
Boring: LB01

Datum: 27-8-2020
 GWS: 230
 GHG: 120
 GLG: 210



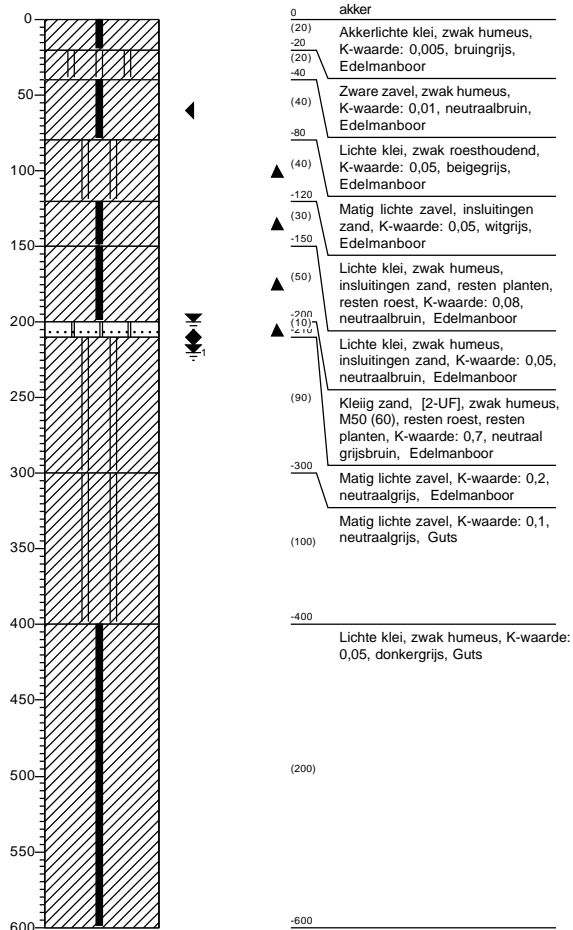
Boring: LB02

Datum: 28-8-2020
 GWS: 182
 GHG: 130
 GLG: 215



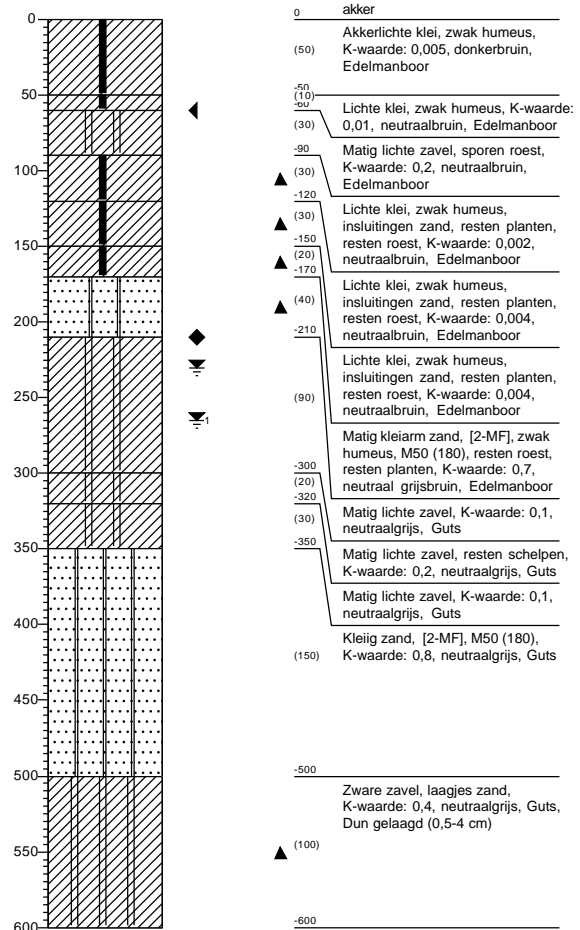
Boring: LB03

Datum: 28-8-2020
 GWS: 200
 GHG: 60
 GLG: 210



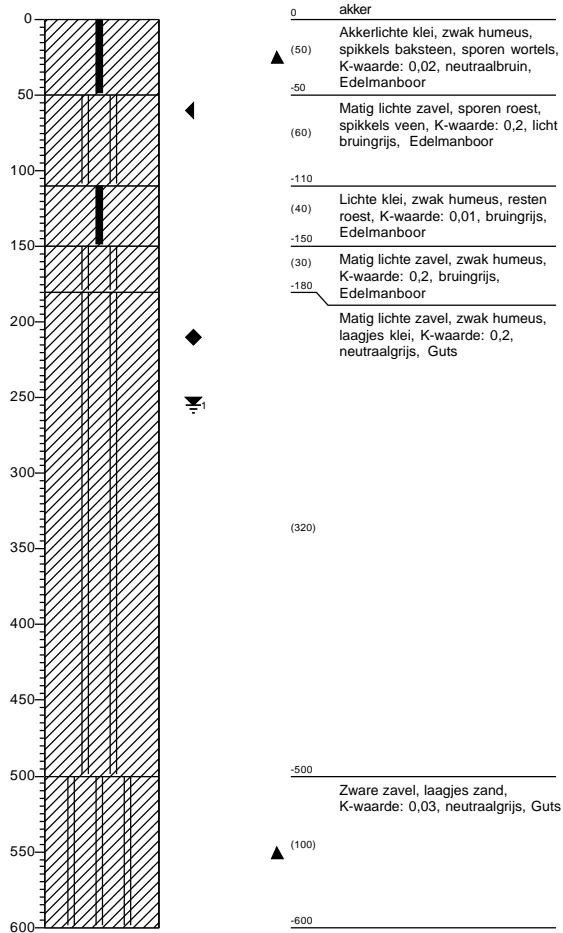
Boring: LB04

Datum: 28-8-2020
 GWS: 230
 GHG: 60
 GLG: 210



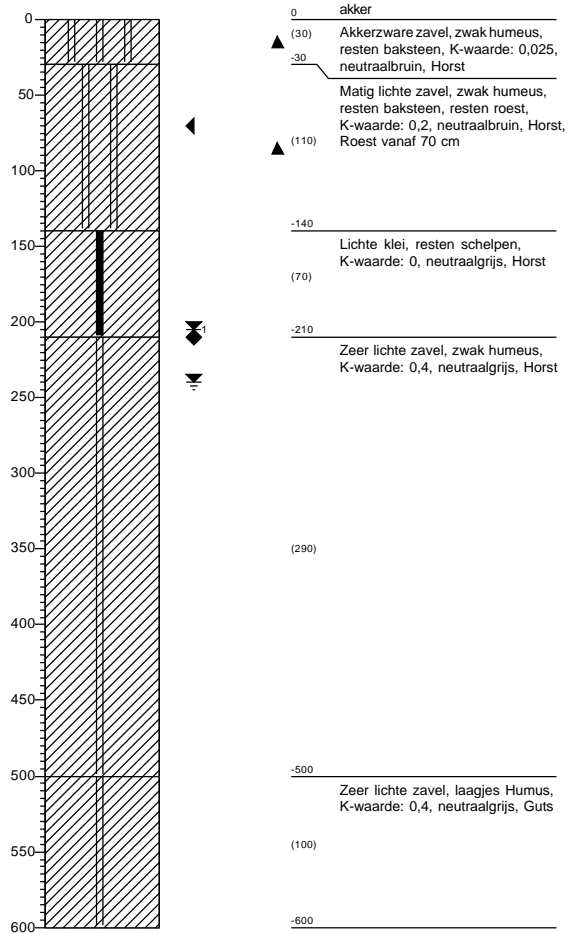
Boring: LB05

Datum: 31-8-2020
 GWS: 255
 GHG: 60
 GLG: 210



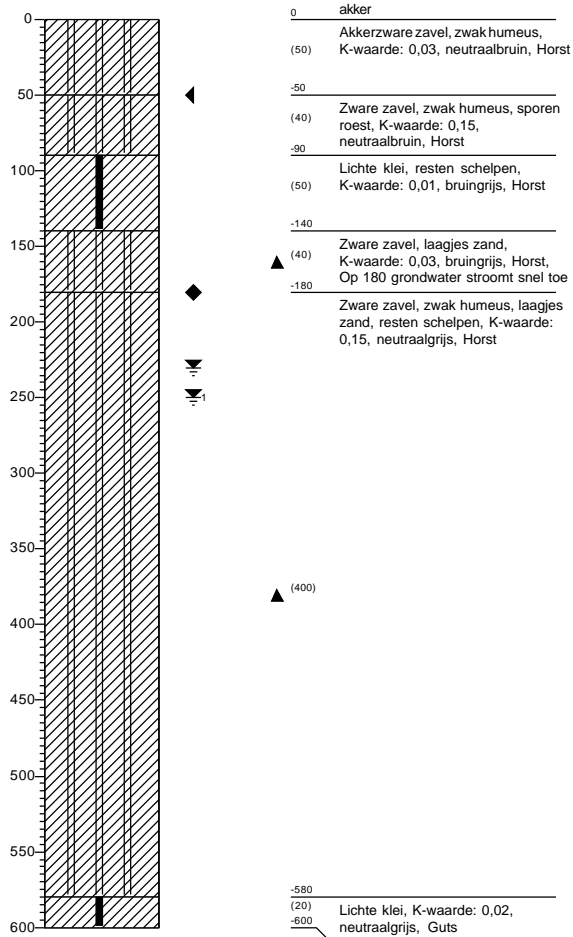
Boring: LB06

Datum: 1-9-2020
 GWS: 240
 GHG: 70
 GLG: 210



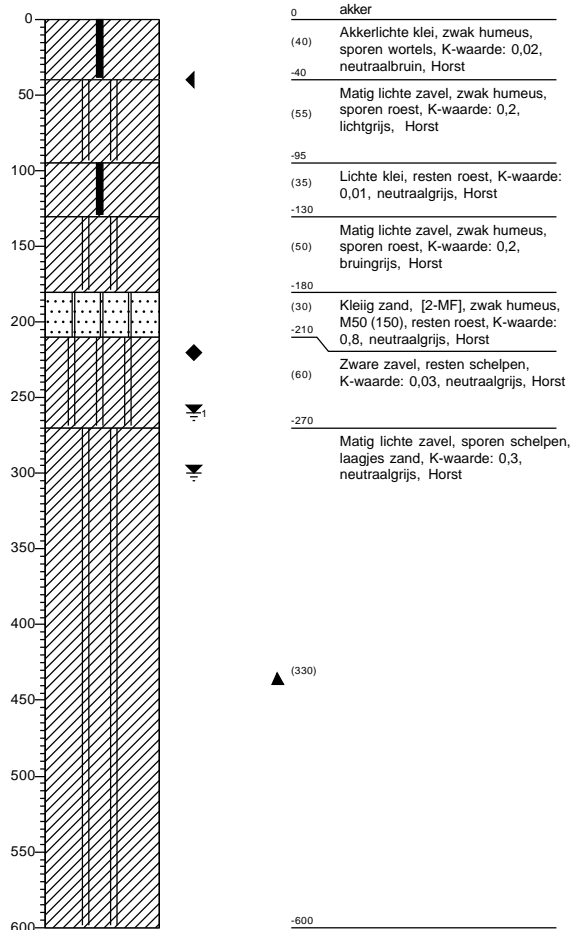
Boring: LB07

Datum: 1-9-2020
 GWS: 230
 GHG: 50
 GLG: 180



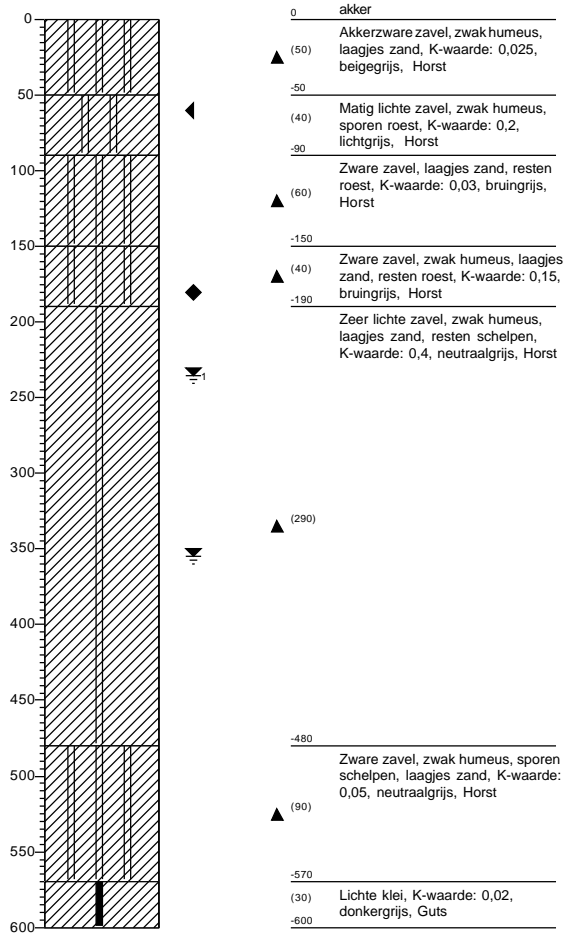
Boring: LB08

Datum: 2-9-2020
 GWS: 300
 GHG: 40
 GLG: 220



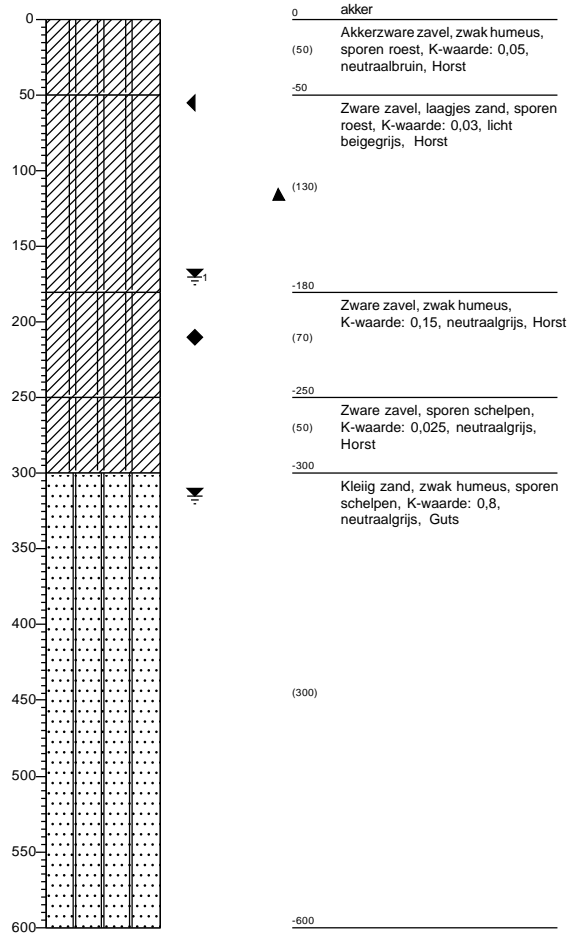
Boring: LB09

Datum: 1-9-2020
 GWS: 355
 GHG: 60
 GLG: 180



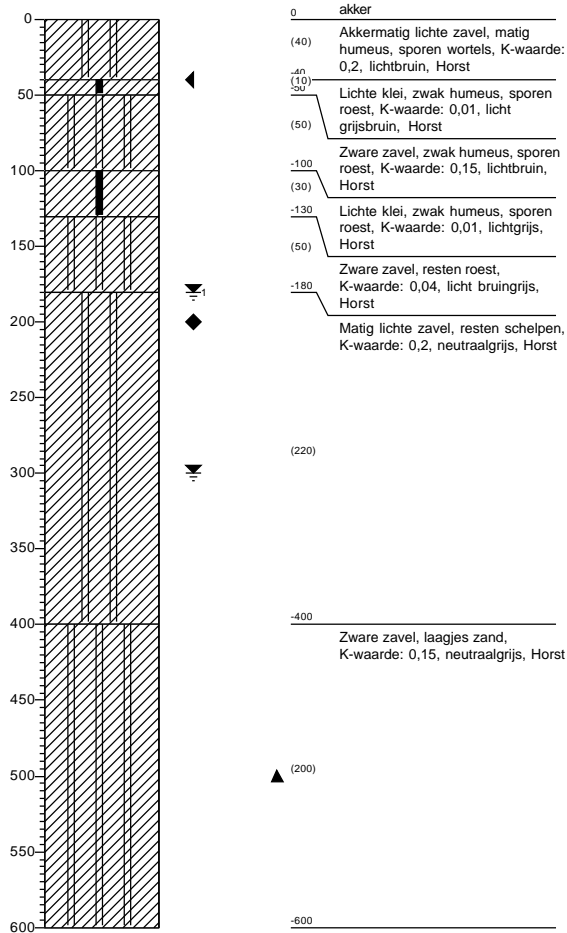
Boring: LB11

Datum: 1-9-2020
 GWS: 315
 GHG: 55
 GLG: 210



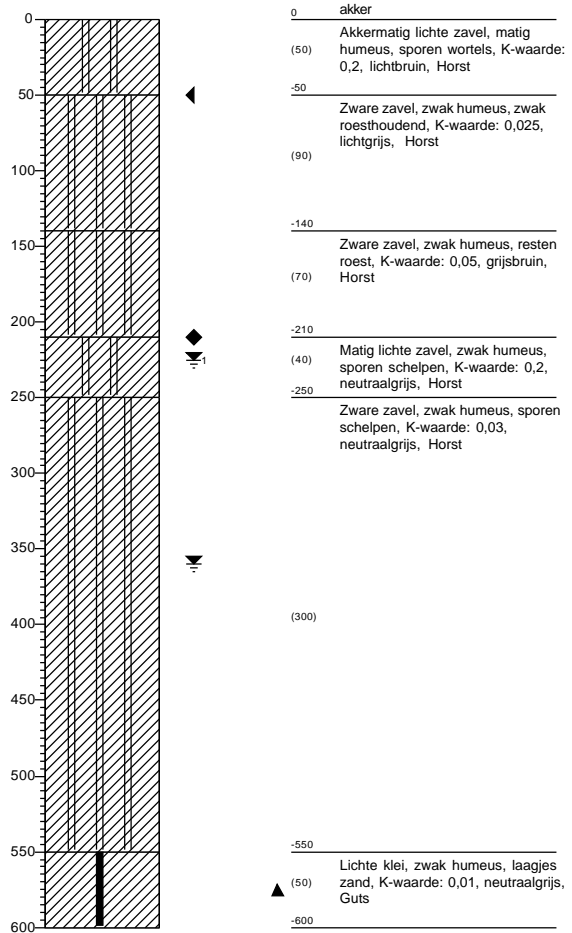
Boring: LB10

Datum: 1-9-2020
 GWS: 300
 GHG: 40
 GLG: 200



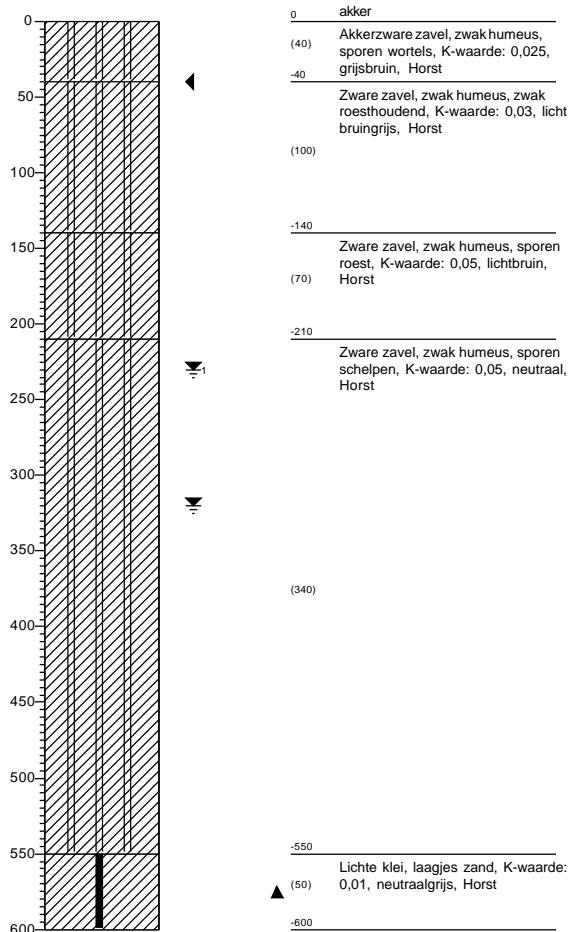
Boring: LB13

Datum: 2-9-2020
 GWS: 360
 GHG: 50
 GLG: 210



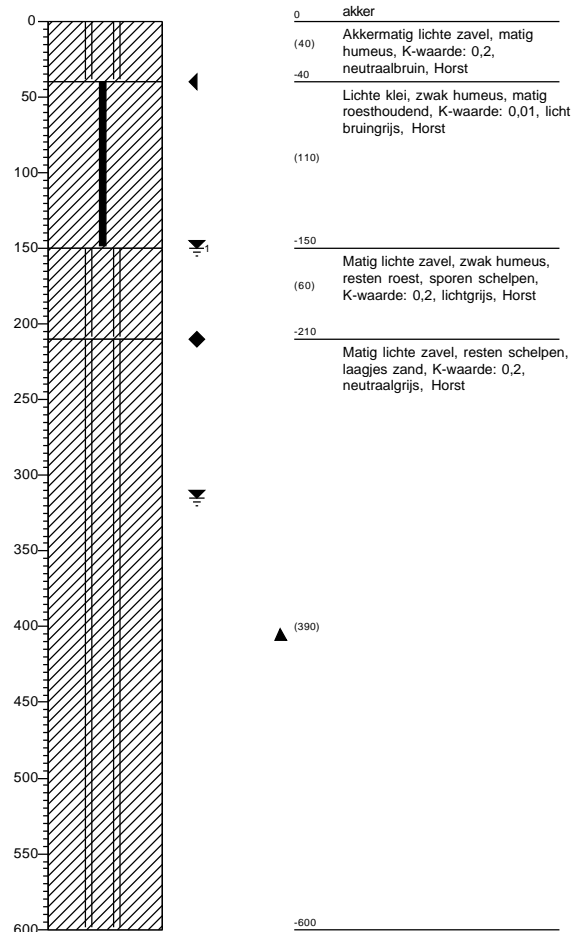
Boring: LB14

Datum: 2-9-2020
 GWS: 320
 GHG: 40



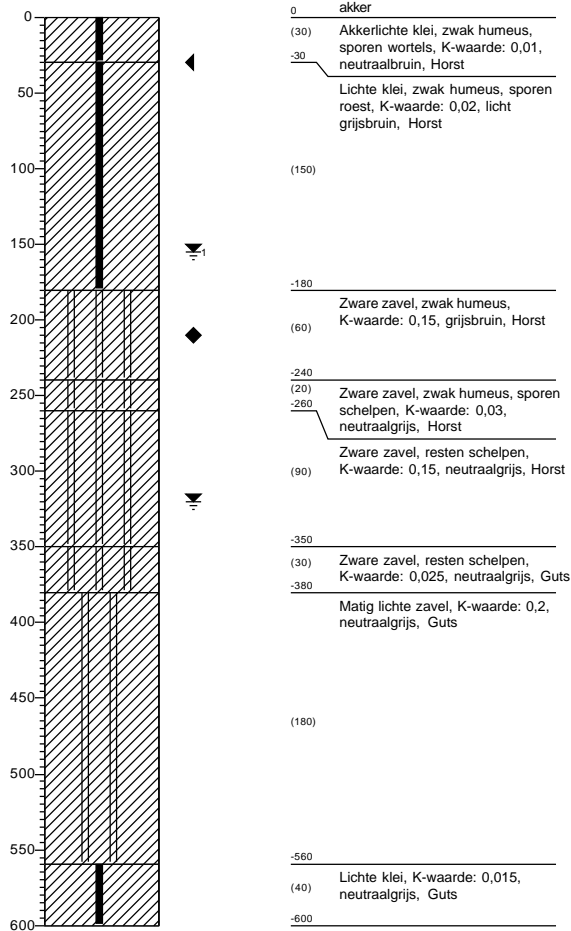
Boring: LB12

Datum: 1-9-2020
 GWS: 315
 GHG: 40
 GLG: 210



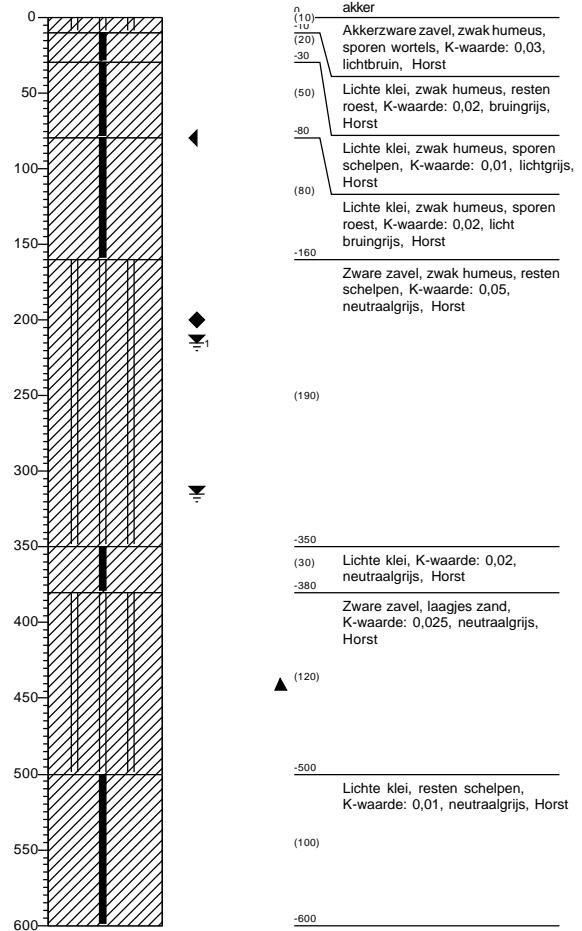
Boring: LB15

Datum: 1-9-2020
 GWS: 320
 GHG: 30
 GLG: 210



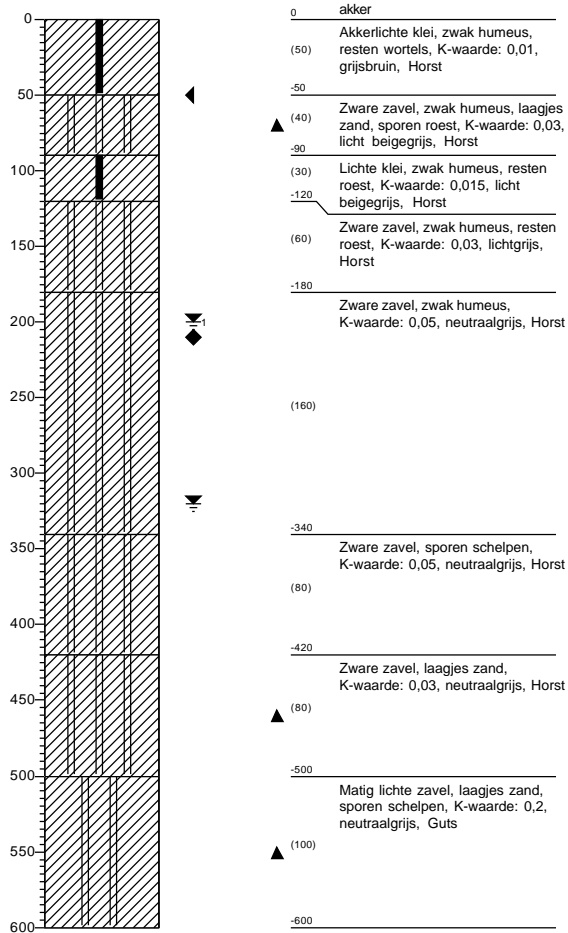
Boring: LB16

Datum: 2-9-2020
 GWS: 315
 GHG: 80
 GLG: 200



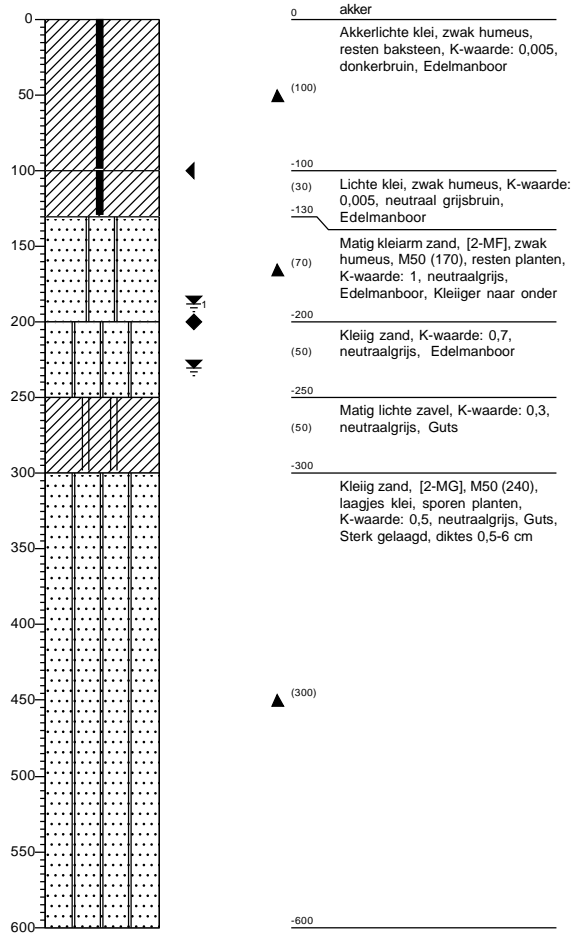
Boring: LB17

Datum: 1-9-2020
 GWS: 320
 GHG: 50
 GLG: 210



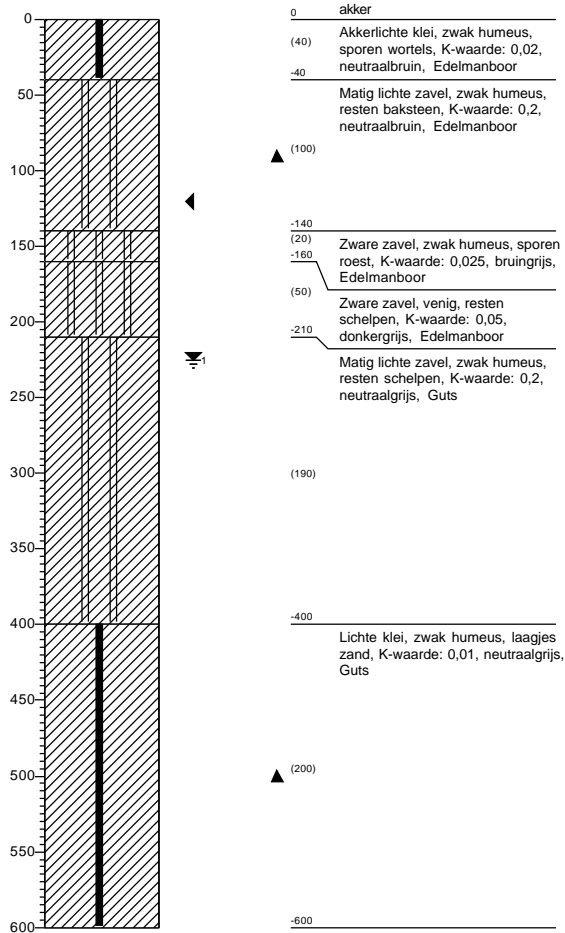
Boring: LB18

Datum: 27-8-2020
 GWS: 230
 GHG: 100
 GLG: 200



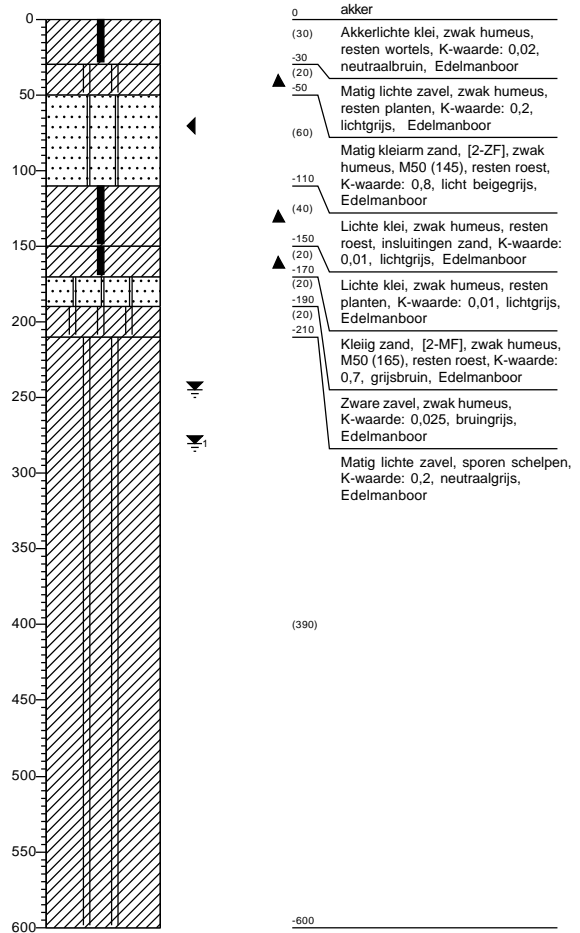
Boring: LB19

Datum: 31-8-2020
 GWS: 225
 GHG: 120



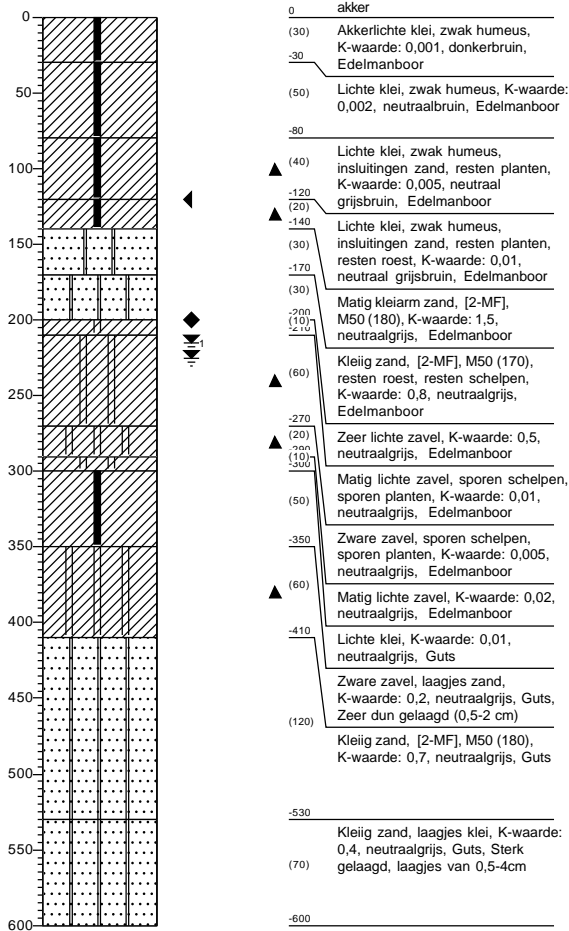
Boring: LB21

Datum: 31-8-2020
 GWS: 245
 GHG: 70



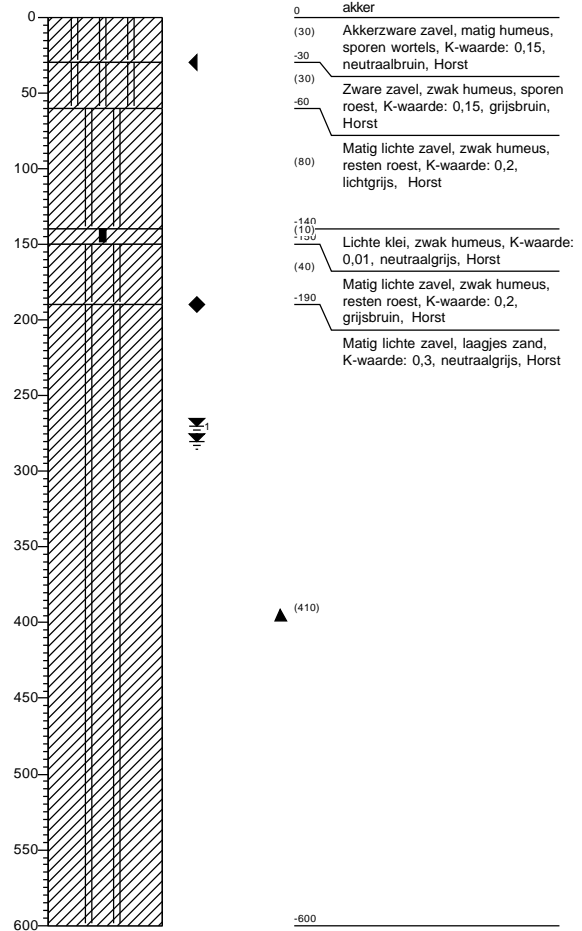
Boring: LB20

Datum: 28-8-2020
 GWS: 225
 GHG: 120
 GLG: 200



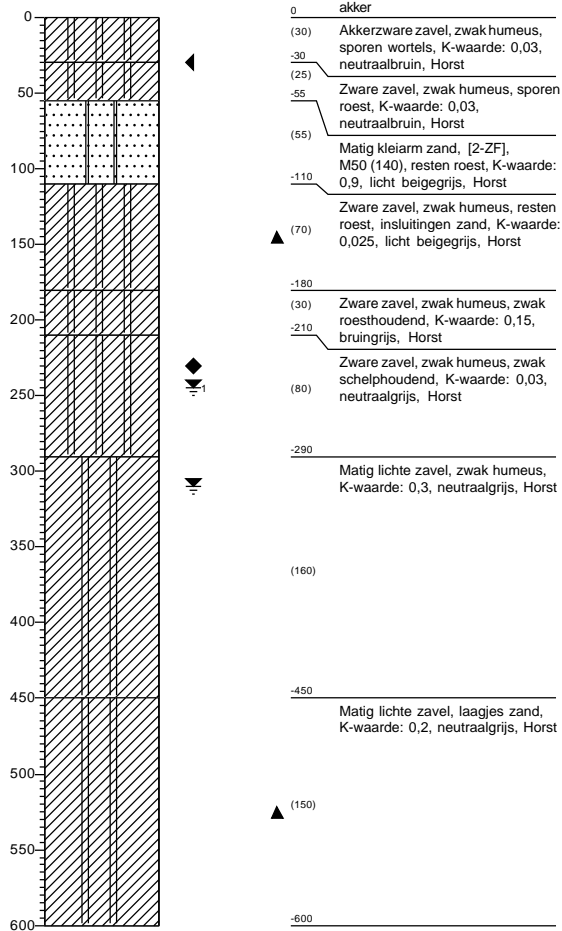
Boring: LB22

Datum: 2-9-2020
 GWS: 280
 GHG: 30
 GLG: 190



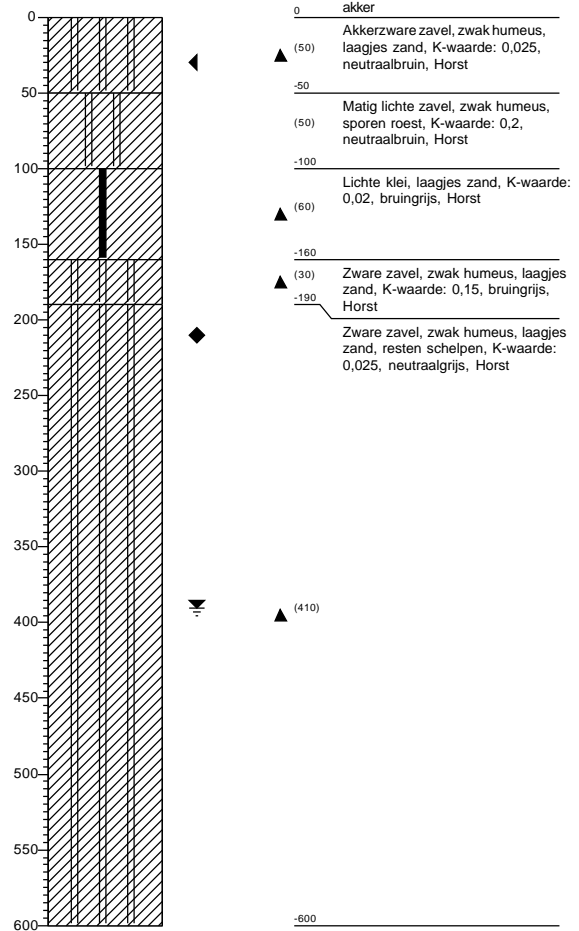
Boring: LB23

Datum: 2-9-2020
 GWS: 310
 GHG: 30
 GLG: 230



Boring: LB24

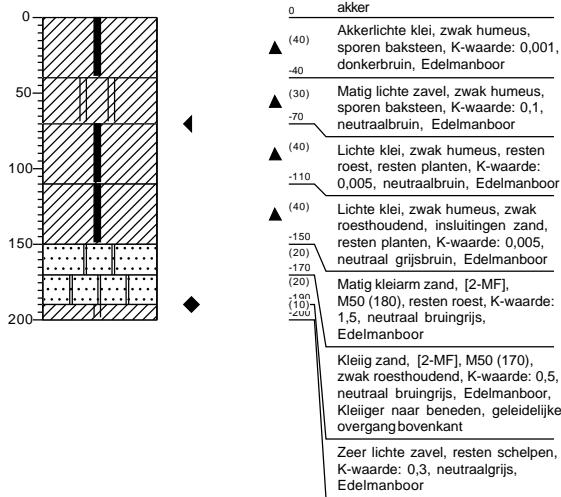
Datum: 1-9-2020
 GWS: 390
 GHG: 30
 GLG: 210



Boring: LB25

Datum: 28-8-2020

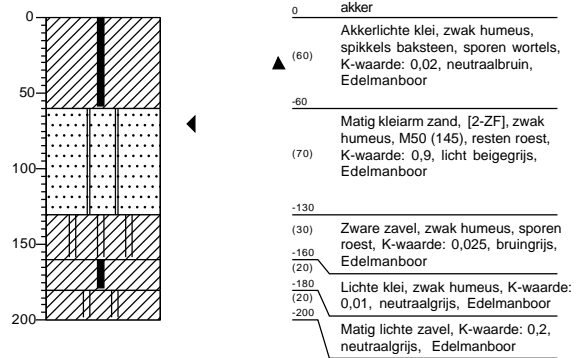
GHG: 70
GLG: 190



Boring: LB26

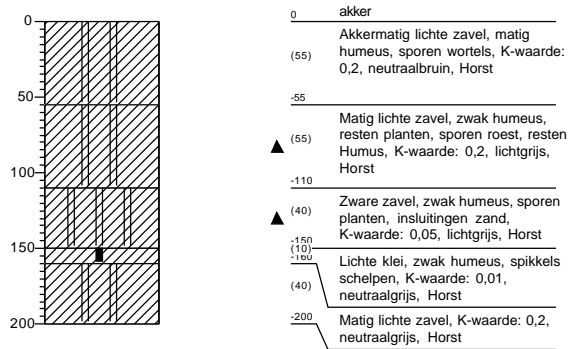
Datum: 31-8-2020

GHG: 70



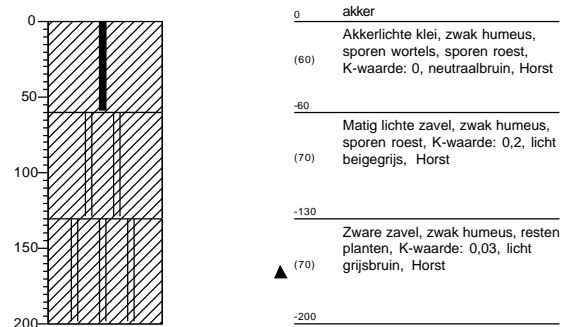
Boring: LB27

Datum: 2-9-2020



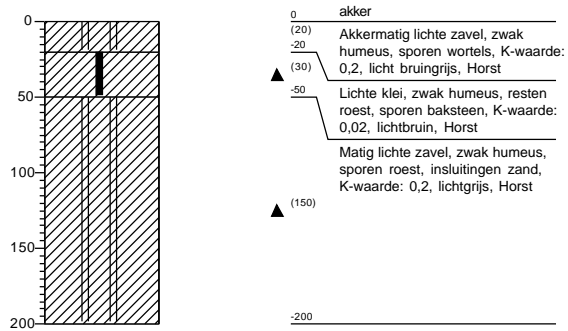
Boring: LB28

Datum: 1-9-2020



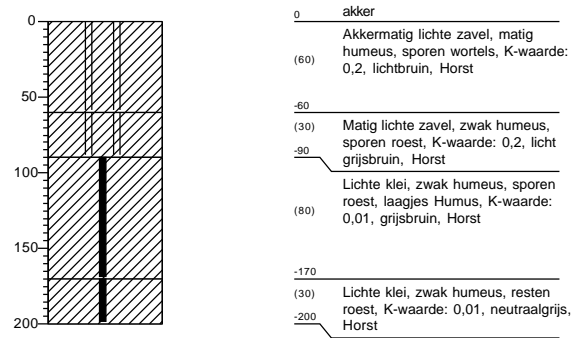
Boring: LB29

Datum: 2-9-2020



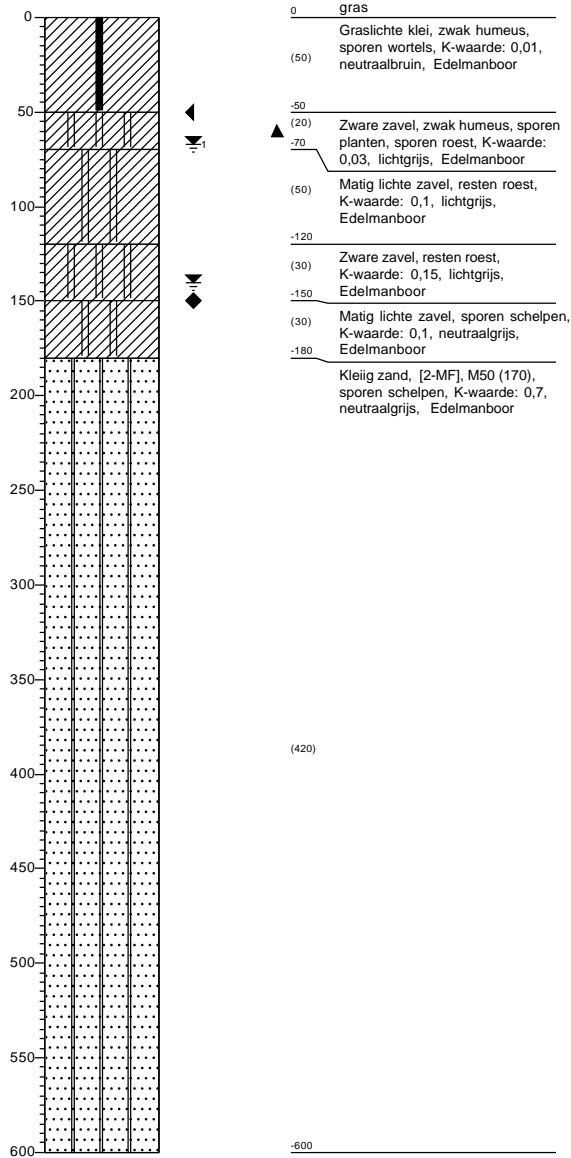
Boring: LB30

Datum: 1-9-2020



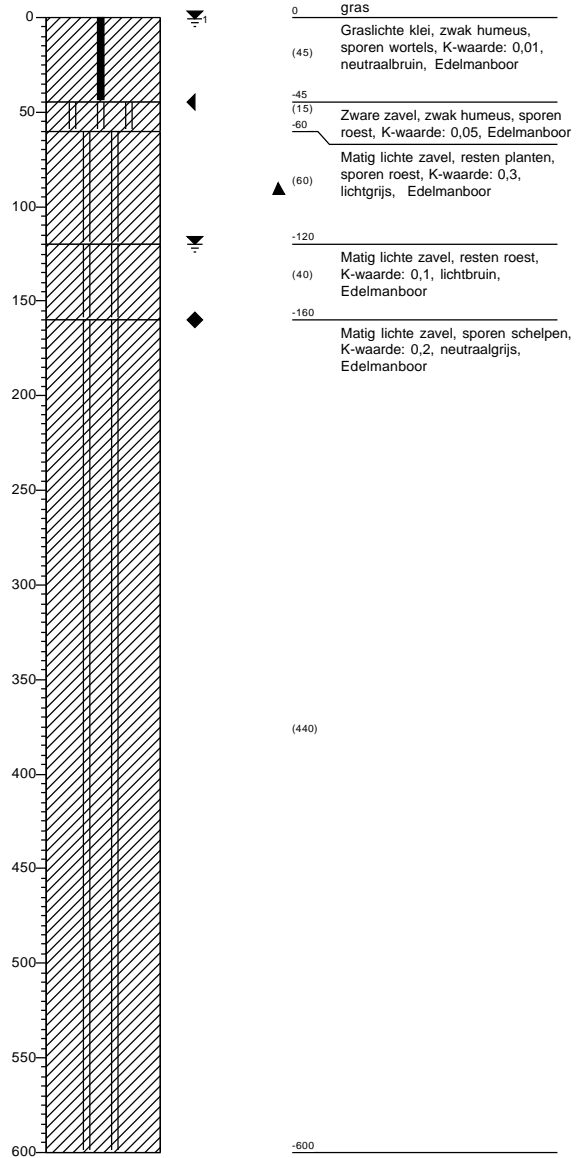
Boring: GB01

Datum: 26-8-2020
 GWS: 140
 GHG: 50
 GLG: 150



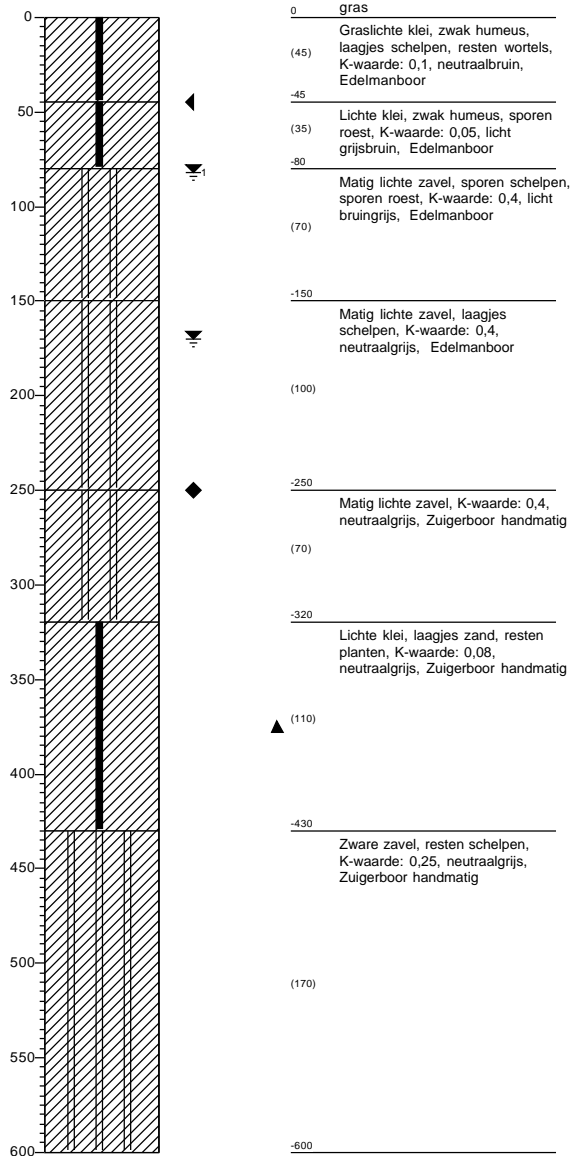
Boring: GB02

Datum: 26-8-2020
 GWS: 120
 GHG: 45
 GLG: 160



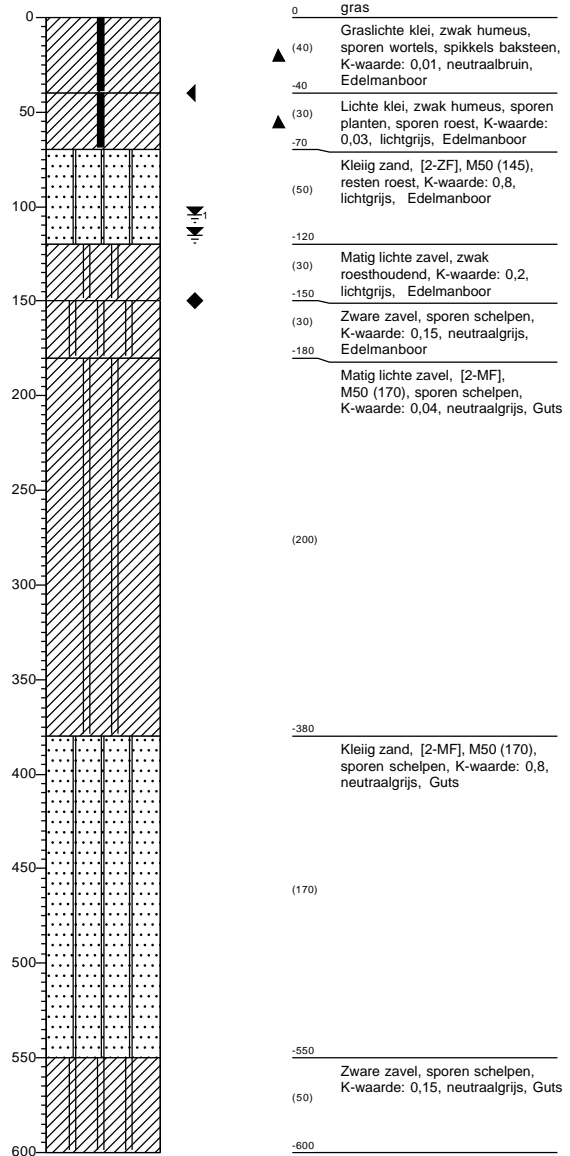
Boring: GB03

Datum: 25-8-2020
 GWS: 170
 GHG: 45
 GLG: 250



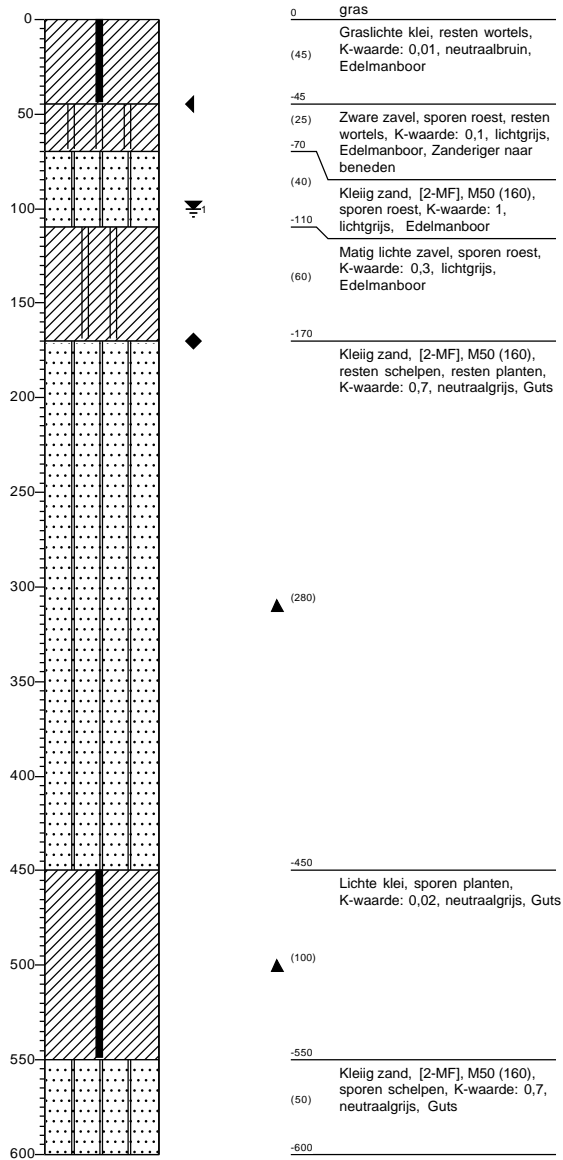
Boring: GB04

Datum: 26-8-2020
 GWS: 115
 GHG: 40
 GLG: 150



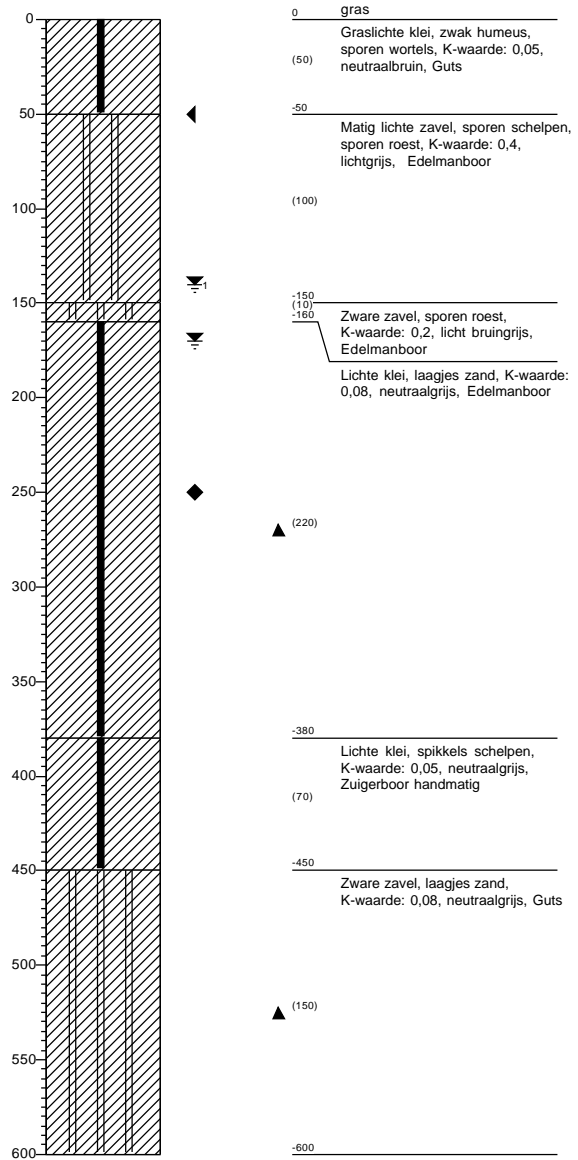
Boring: GB05

Datum: 26-8-2020
 GWS: 100
 GHG: 45
 GLG: 170



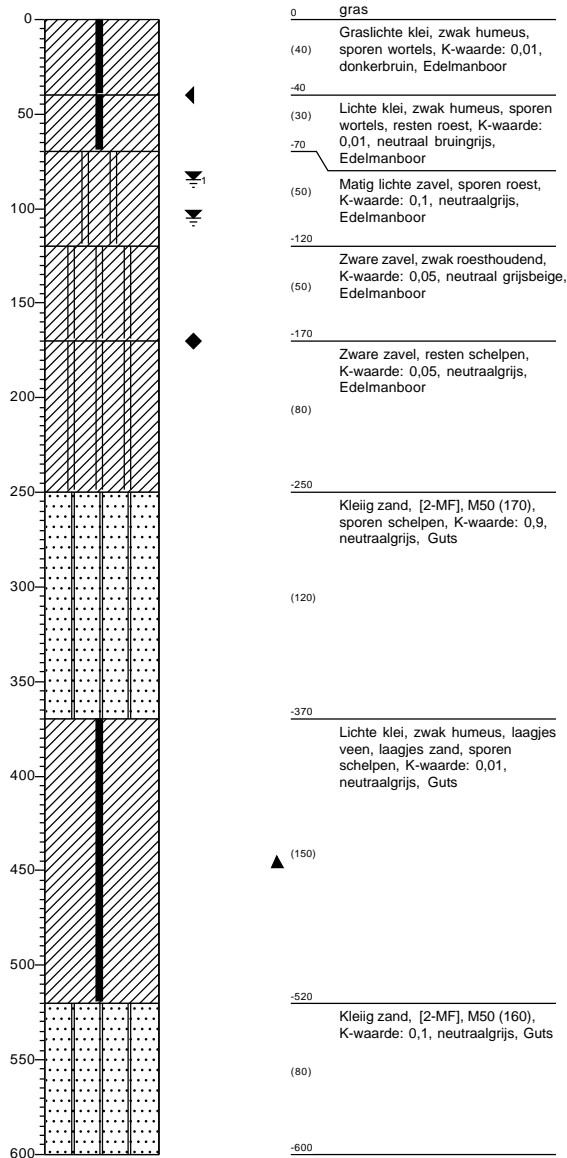
Boring: GB06

Datum: 25-8-2020
 GWS: 170
 GHG: 50
 GLG: 250



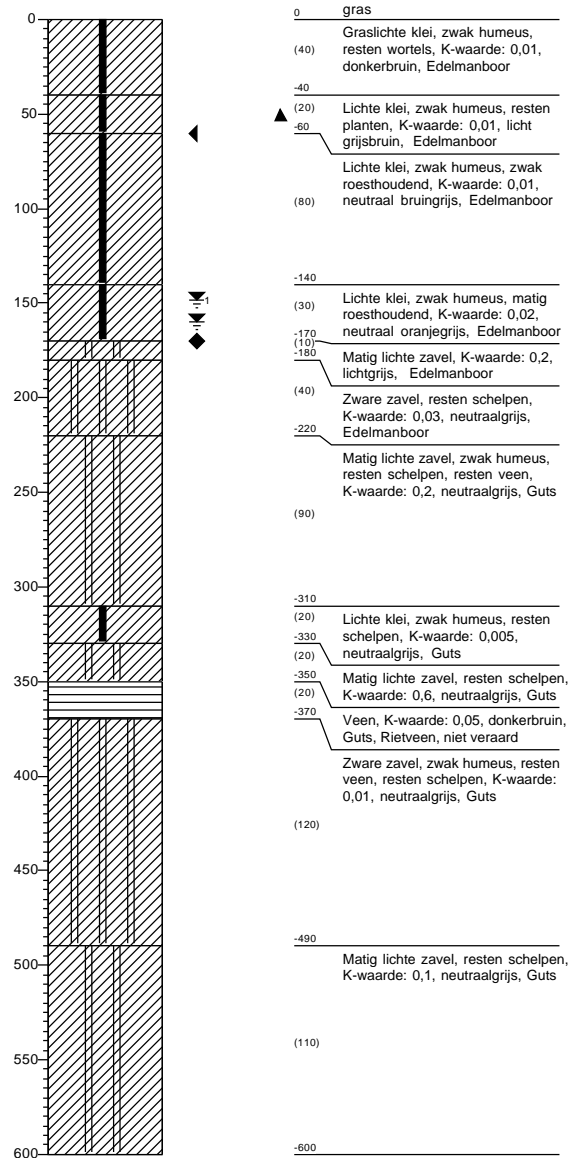
Boring: GB07

Datum: 26-8-2020
 GWS: 105
 GHG: 40
 GLG: 170



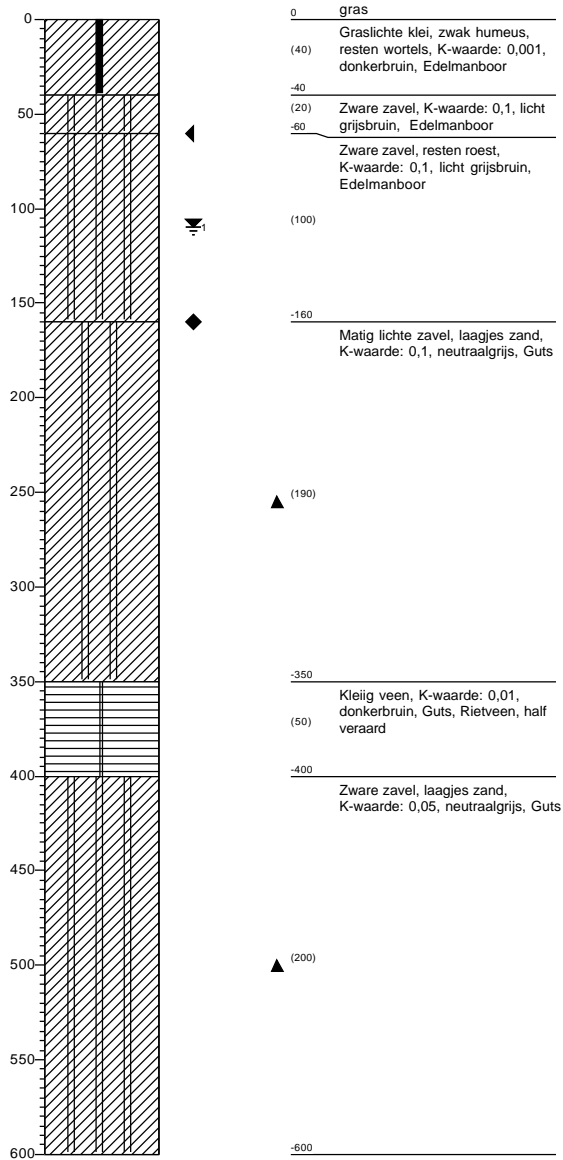
Boring: GB08

Datum: 26-8-2020
 GWS: 160
 GHG: 60
 GLG: 170



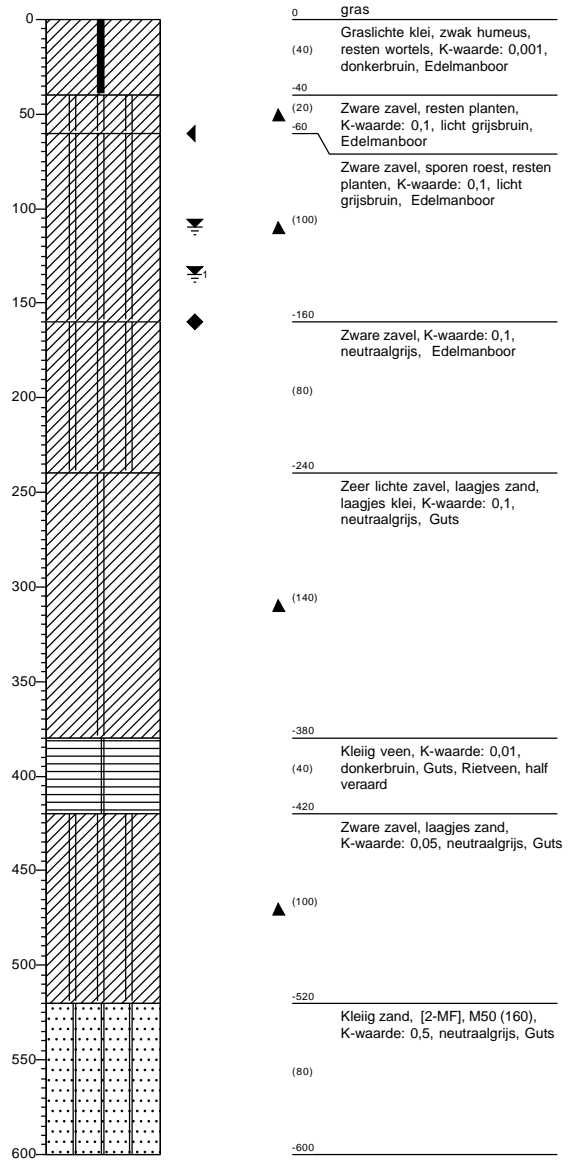
Boring: GB09

Datum: 27-8-2020
 GWS: 110
 GHG: 60
 GLG: 160



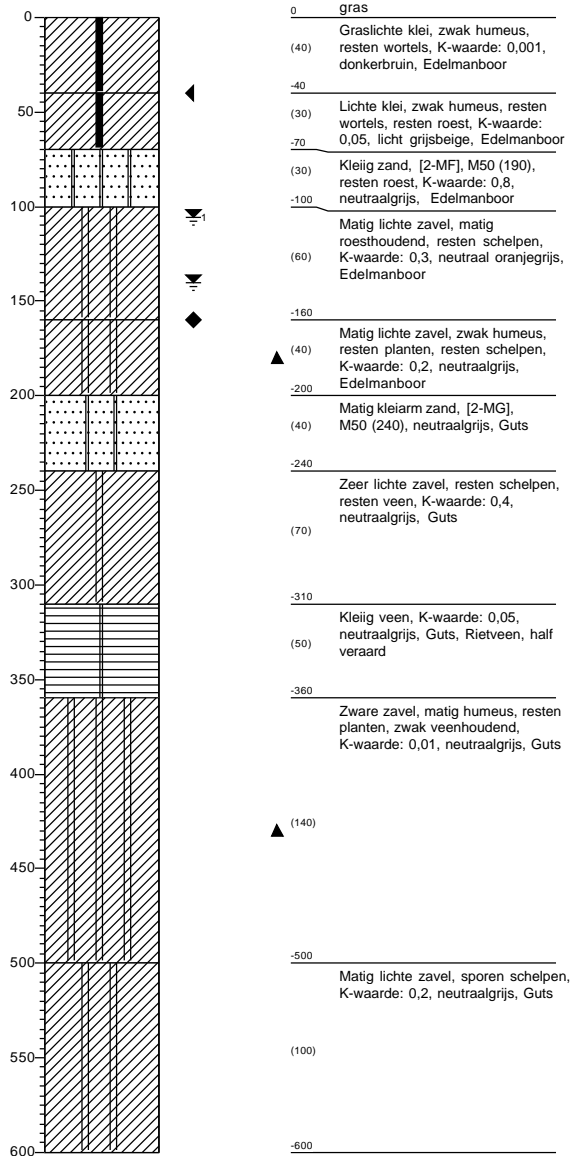
Boring: GB10

Datum: 27-8-2020
 GWS: 110
 GHG: 60
 GLG: 160



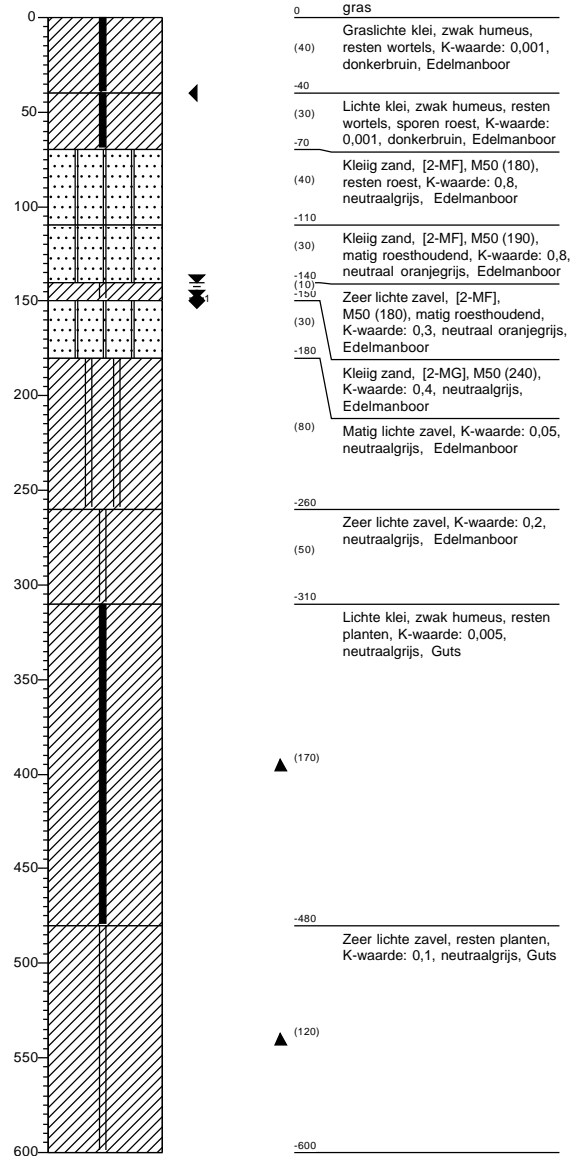
Boring: GB11

Datum: 27-8-2020
 GWS: 140
 GHG: 40
 GLG: 160



Boring: GB12

Datum: 27-8-2020
 GWS: 140
 GHG: 40
 GLG: 150

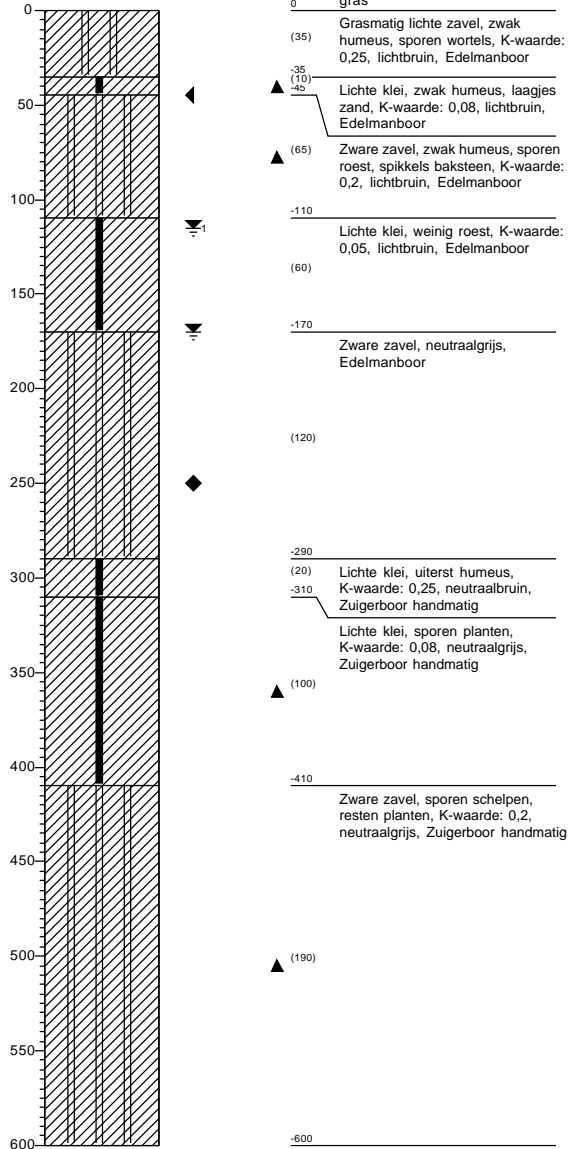


Boring: GB13

Datum: 25-8-2020
 GWS: 170
 GHG: 45
 GLG: 250

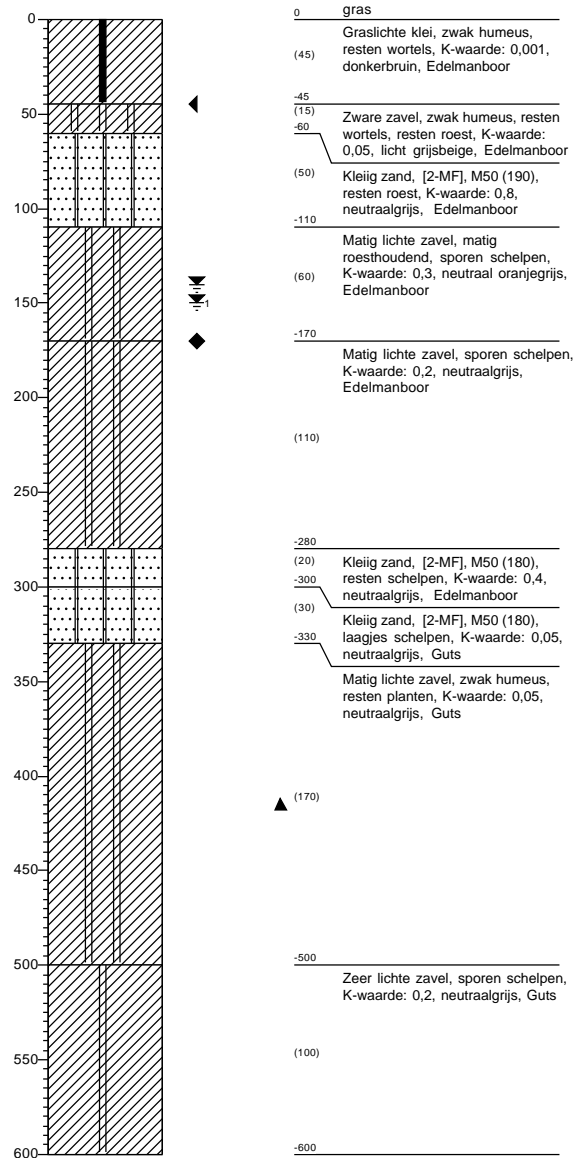
Opmerking:

GLG lastig te zien



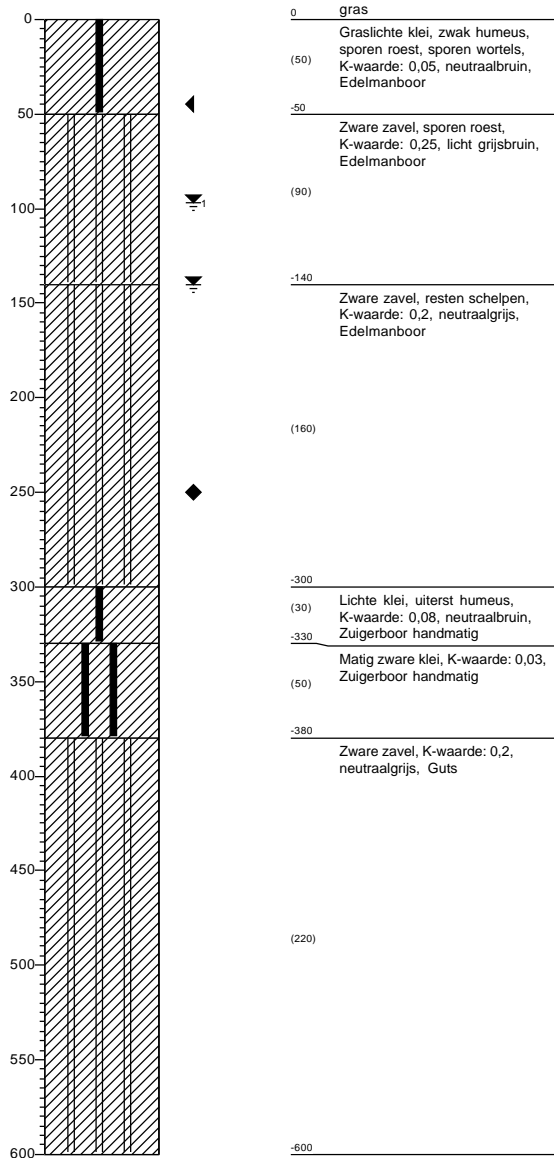
Boring: GB14

Datum: 27-8-2020
 GWS: 140
 GHG: 45
 GLG: 170



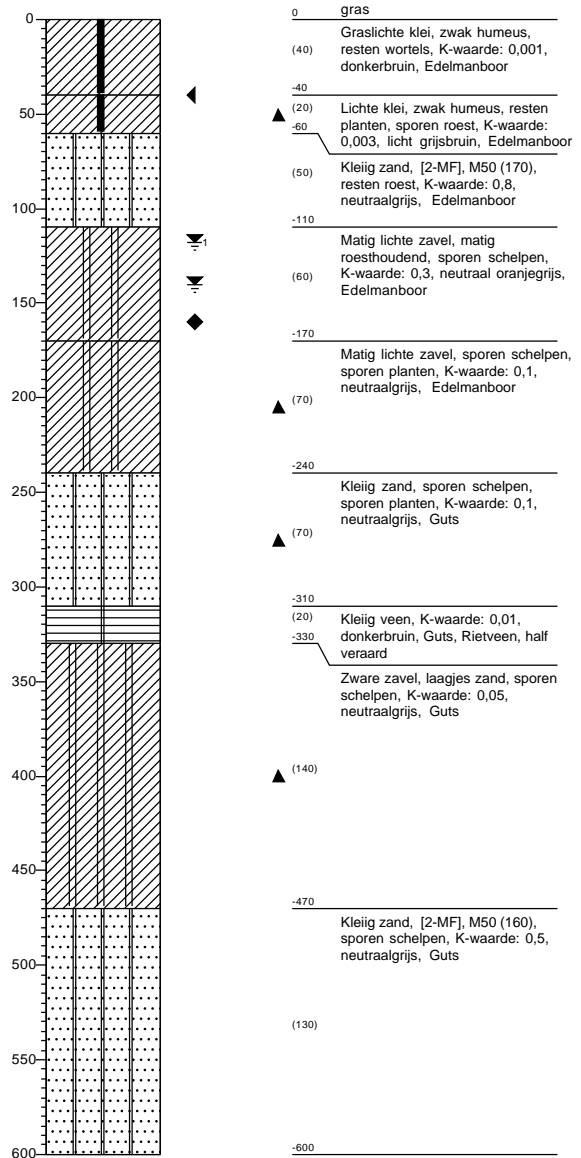
Boring: GB15

Datum: 25-8-2020
 GWS: 140
 GHG: 45
 GLG: 250



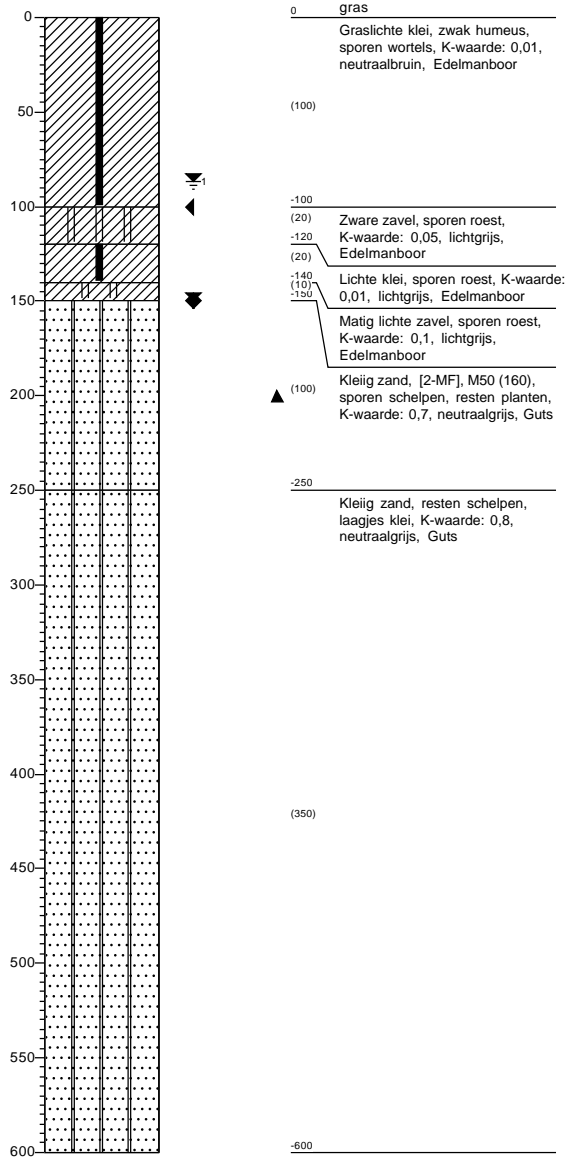
Boring: GB16

Datum: 27-8-2020
 GWS: 140
 GHG: 40
 GLG: 160



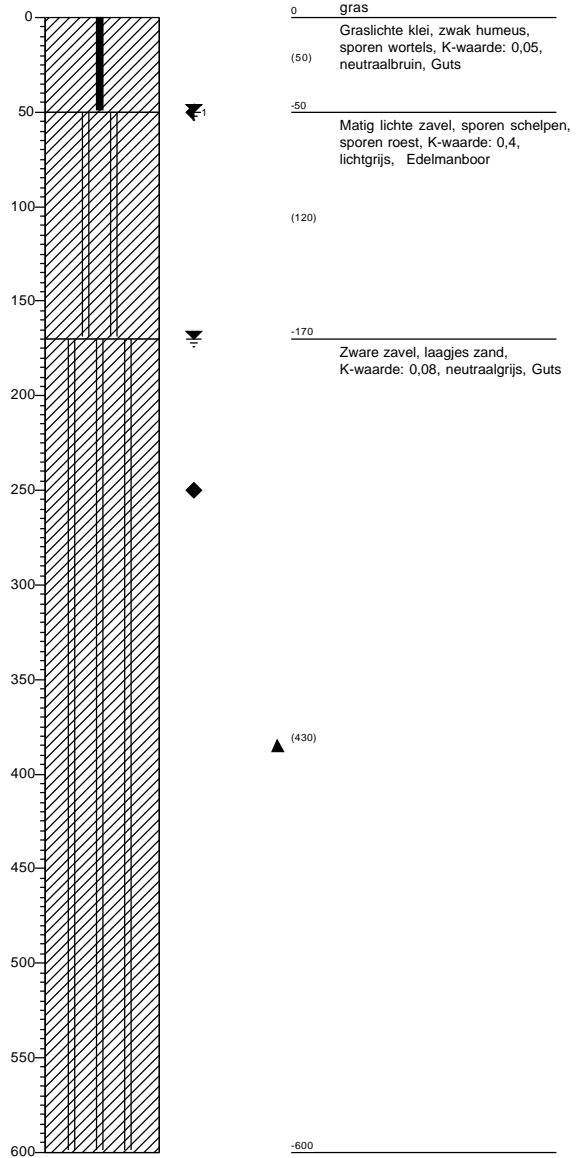
Boring: GB17

Datum: 26-8-2020
 GWS: 150
 GHG: 100
 GLG: 150



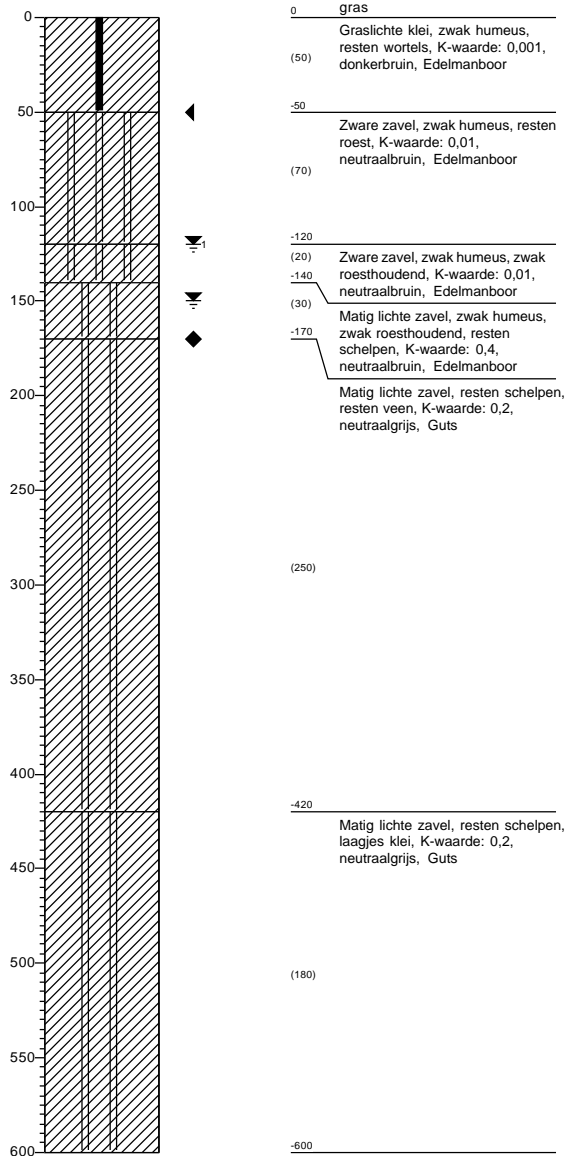
Boring: GB18

Datum: 25-8-2020
 GWS: 170
 GHG: 50
 GLG: 250



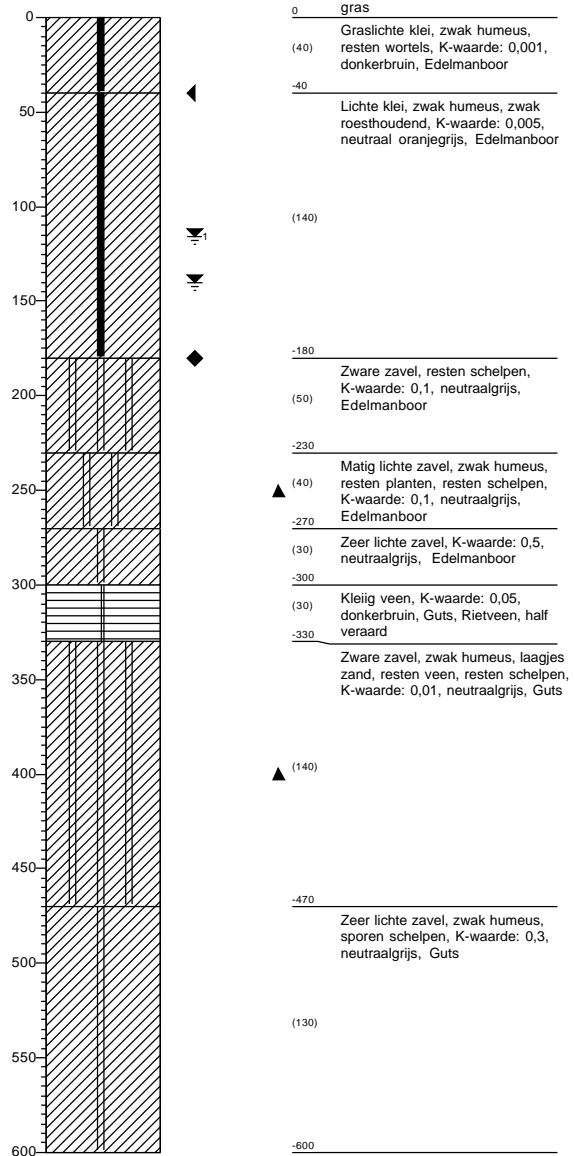
Boring: GB19

Datum: 26-8-2020
 GWS: 150
 GHG: 50
 GLG: 170



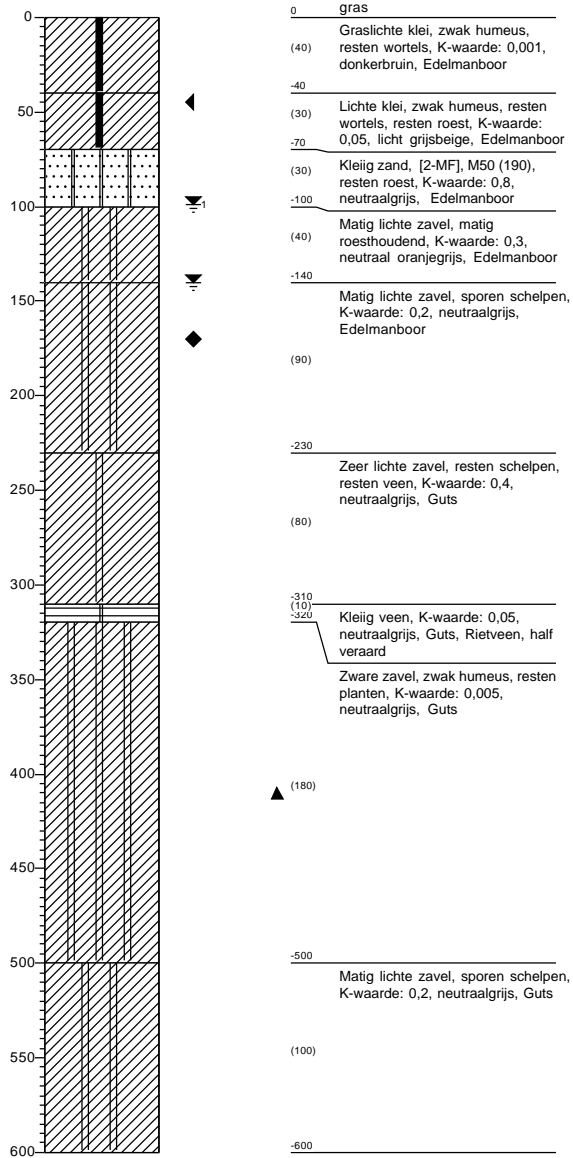
Boring: GB20

Datum: 27-8-2020
 GWS: 140
 GHG: 40
 GLG: 180



Boring: GB21

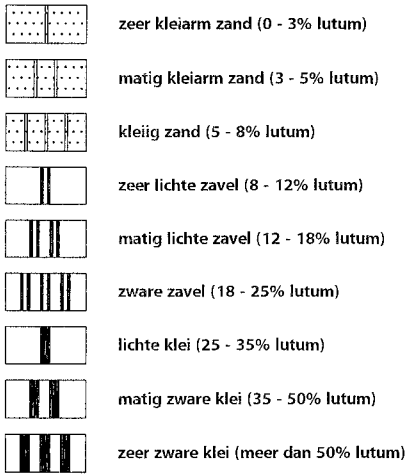
Datum: 27-8-2020
 GWS: 140
 GHG: 45
 GLG: 170



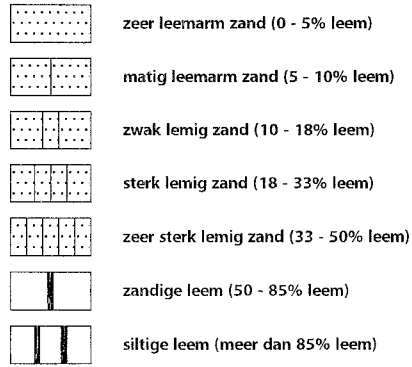
Legenda

Minerale sedimenten

Indeling naar lutumgehalte (delen < 2 µm)
(voor waterafzettingen)



Indeling naar leemgehalte (delen < 50 µm)
(voor windafzettingen)



Veen



Aanduidingen (gebruikt in combinatie met bovenstaande indeling)

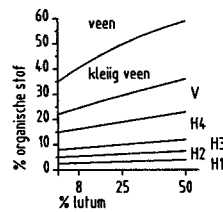
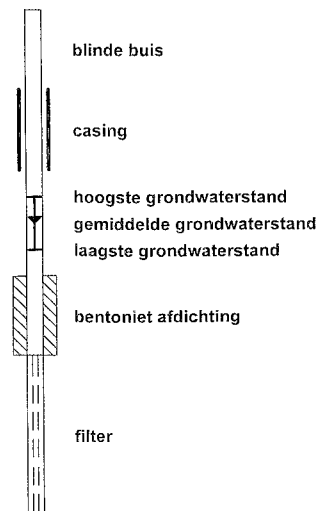
Indeling van zand naar korrelgrootte

UF	uiterst fijn zand	(M50-cijfer 50- 105 µm)
ZF	zeer fijn zand	(M50-cijfer 105- 150 µm)
MF	matig fijn zand	(M50-cijfer 150- 210 µm)
MG	matig grof zand	(M50-cijfer 210- 420 µm)
ZG	zeer grof zand	(M50-cijfer 420- 2000 µm)

Indeling naar gehalte organische stof

H1	humusarm
H2	matig humeus
H3	zeer humeus
H4	humusrijk
V	venig

peilbuis



geur

- geen geur
- zwakke geur
- matige geur
- sterke geur
- uiterste geur

olie

- geen olie-water reactie
- zwakke olie-water reactie
- matige olie-water reactie
- sterke olie-water reactie
- uiterste olie-water reactie

p.i.d.-waarde

- >0
- >1
- >10
- >100
- >1000
- >10000

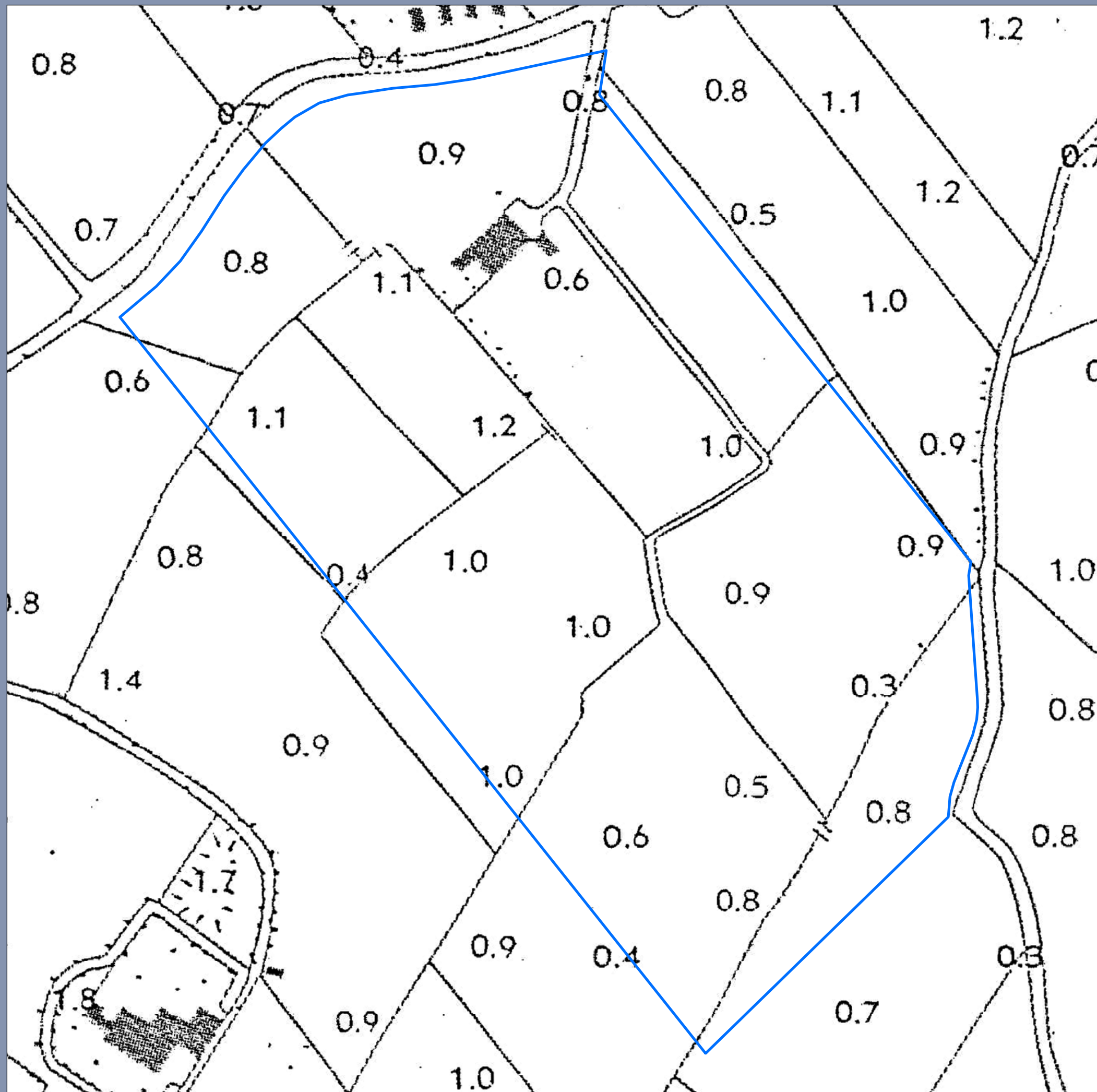
monsters

- geroerd monster
- ongeroerd monster

overig

- bijzonder bestanddeel
- Gemiddeld hoogste grondwaterstand
- grondwaterstand
- Gemiddeld laagste grondwaterstand

Bijlage 3 Historische hoogteligging pilotlocaties



Legenda

- Onderzoeksgebied Loppersum
- 1.0** Hoogte in meter t.o.v. NAP

Bron: blad 7E: Nederlandsche Heidemij in 1961
 Ingenieursbureau Bosma in 1962
 N.V. Grontmij 1959/1960



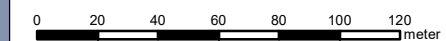
Hoogteligging medio 1960

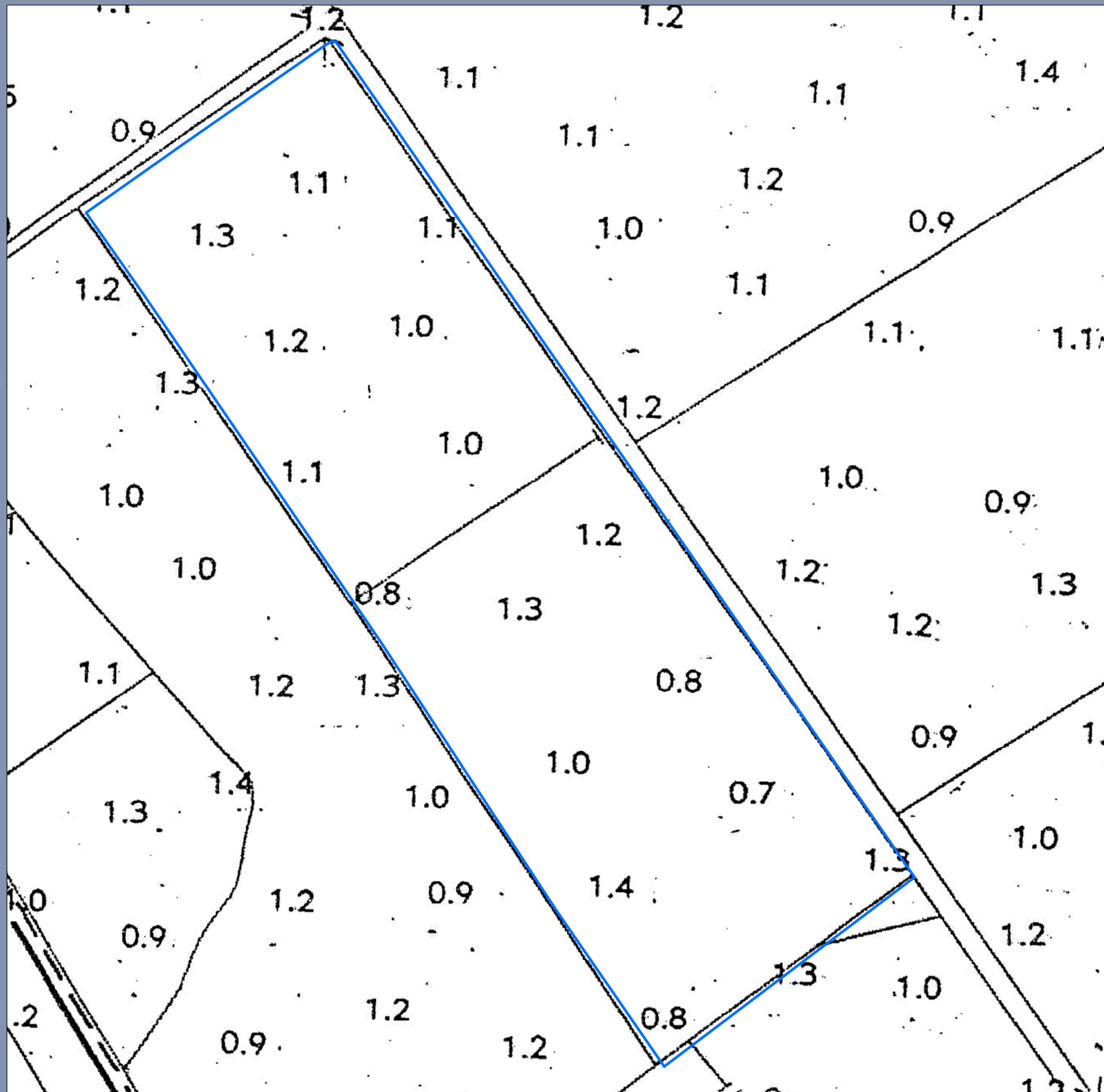
Locatie: Loppersum

Opdrachtgever: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
 Projectnummer: 367825


Status: Definitief
 Datum: 28-1-2021
 Schaal: 1:2.500
 Formaat: A3

Getekend: JW - Gecontroleerd: JdW





Legenda

-  Onderzoeksgebied Godlinze
- 1.0 Hoogte in meter t.o.v. NAP

Bron: blad 3G: Nederlandsche Heidemij 1956/1963
Ingenieursbureau Bosma in 1962



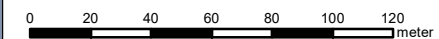
Hoogteligging medio 1960

Locatie: Godlinze

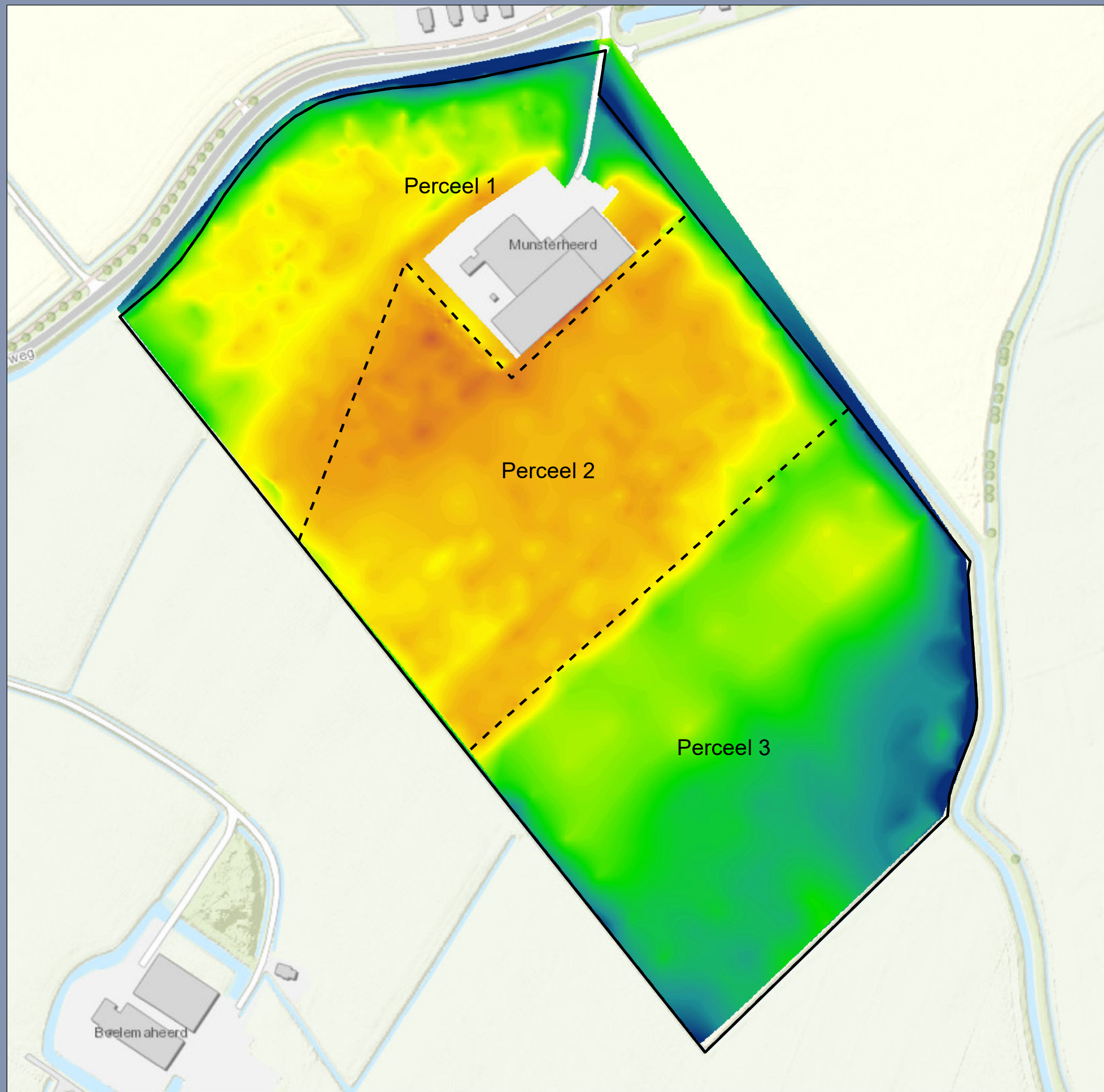
Opdrachtgever: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Projectnummer: 367825

Status: Definitief
Datum: 28-1-2021
Schaal: 1:2.500
Formaat: A3


Getekend: JW - Gecontroleerd: JdW




Bijlage 4 Kaart met geïnterpoleerde hoogtemetingen





Legenda

 Onderzoeksgebied Loppersum

 Perceelsindeling

Hoogte maaiveld geïnterpoleerd

 Hoog : NAP +0,69 m

 Laag : NAP -0,37 m

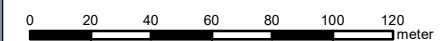


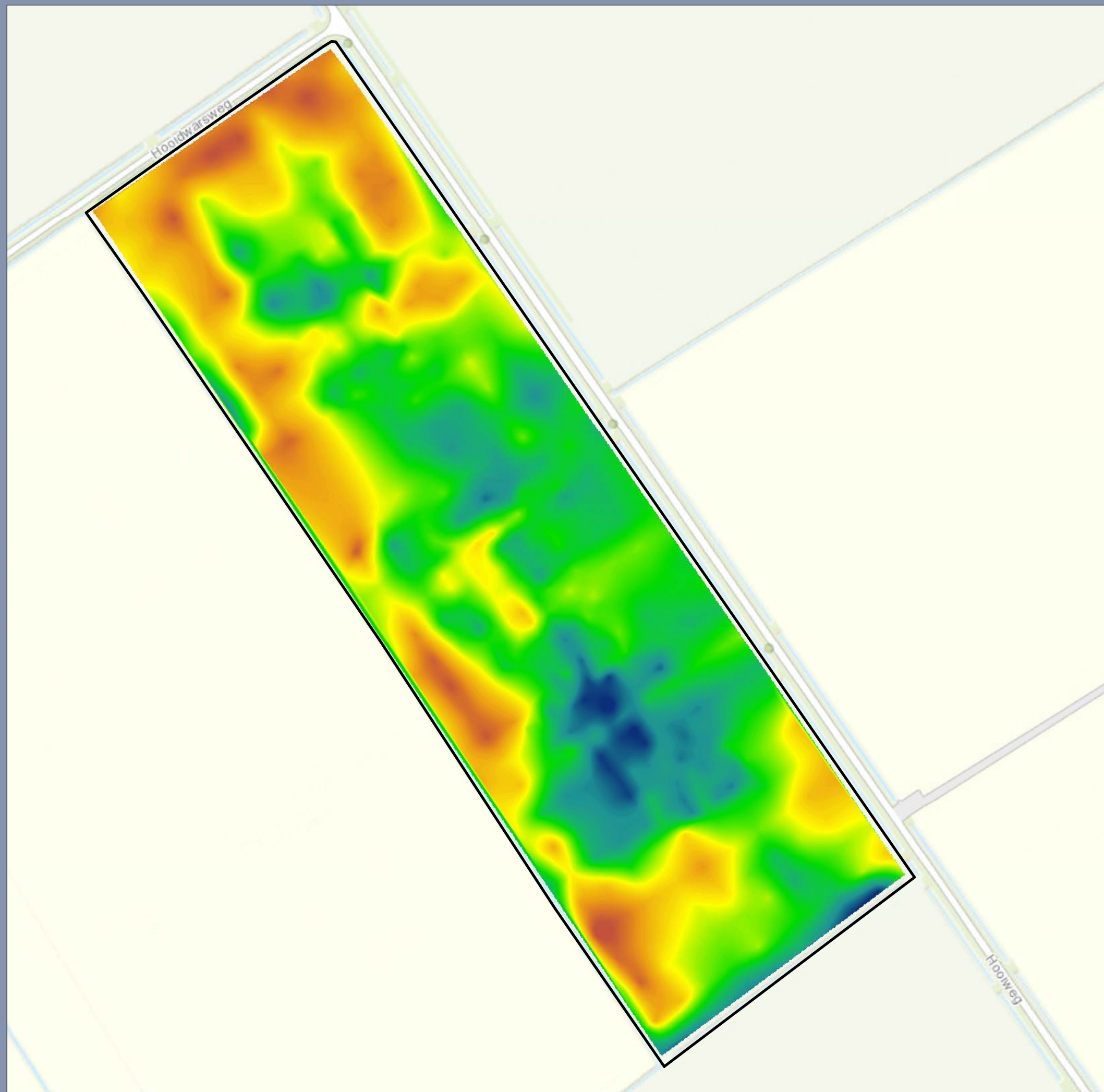
Geïnterpoleerde hoogtekaart GPS-metingen 2020 Locatie: Loppersum

Opdrachtgever: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Projectnummer: 367825


Status: Definitief
Datum: 28-1-2021
Schaal: 1:2.500
Formaat: A3

Getekend: JW - Gecontroleerd: JdW

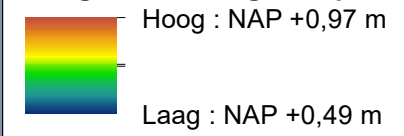




Legenda

 Onderzoeksgebied Godlinze

Hoogte maaiveld geïnterpoleerd



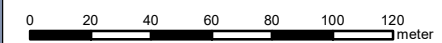
Geïnterpoleerde hoogtekaart GPS-metingen 2020 Locatie: Godlinze

Opdrachtgever: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Projectnummer: 367825

Status: Definitief
Datum: 28-1-2021
Schaal: 1:2.500
Formaat: A3



Getekend: JW - Gecontroleerd: JdW



Bijlage 5 Vergelijking boringen ruilverkaveling en boringen 2020

Profielbeschrijving ruilverkaveling

Profielbeschrijving boring 2020

Boring 11 - ruilverkaveling 1969							LB25 - veldwerk 2020						
Laag	Lutum		Humus	Doorlatendheid		Opmerkingen	Laag	Lutum		Humus	Doorlatendheid		
0	0,3	12-18%	matig lichte zavel	5-10%	0,15	m/dag	0	0,4	23%	Lichte klei	3%	0,001	m/dag
0,3	0,55	12-18%	matig lichte zavel		0,15	m/dag	0,4	0,7	17%	Matig lichte zavel	1%	0,1	m/dag
0,55	0,7	25-35%	Lichte klei		0,05	m/dag	0,7	1,1	31%	Lichte klei	1%	0,005	m/dag
0,7	1,55	35-45%	Matig zware klei		0,05	m/dag	1,1	1,5	28%	Lichte klei	1%	0,005	m/dag
1,55	1,8	8-12%	zeer lichte zavel		0,15	m/dag	1,5	1,7	3%	Matig kleiarm zand		1,5	m/dag
1,8	2	8-12%	zeer lichte zavel		0,05	m/dag	1,7	1,9	7%	Kleiig zand		0,5	m/dag
							1,9	2	9%	Zeer lichte zavel		0,3	m/dag

Boring 12 - ruilverkaveling 1969							LB27 - veldwerk 2020						
Laag	Lutum		Humus	Doorlatendheid		Opmerkingen	Laag	Lutum		Humus	Doorlatendheid		
0	0,25	18-25%	zware zavel	3-5%	0,1	m/dag	0	0,55	17%	Matig lichte zavel	3%	0,2	m/dag
0,25	0,7	18-25%	zware zavel		0,1	m/dag	0,55	1,1	14%	Matig lichte zavel	1%	0,2	m/dag
0,7	1	18-25%	zware zavel		0,1	m/dag	1,1	1,5	20%	Zware zavel	1%	0,05	m/dag
1	1,4	12-18%	matig lichte zavel		0,15	m/dag	1,5	1,6	28%	Lichte klei	1%	0,01	m/dag
1,4	1,6	18-25%	zware zavel		0,1	m/dag	1,6	2	17%	Matig lichte zavel		0,2	m/dag
1,6	1,9	25-35%	lichte klei		0,1	m/dag	1,6	2	17%	Matig lichte zavel		0,2	m/dag
1,9	2	8-12%	zeer lichte zavel		0,1	m/dag							

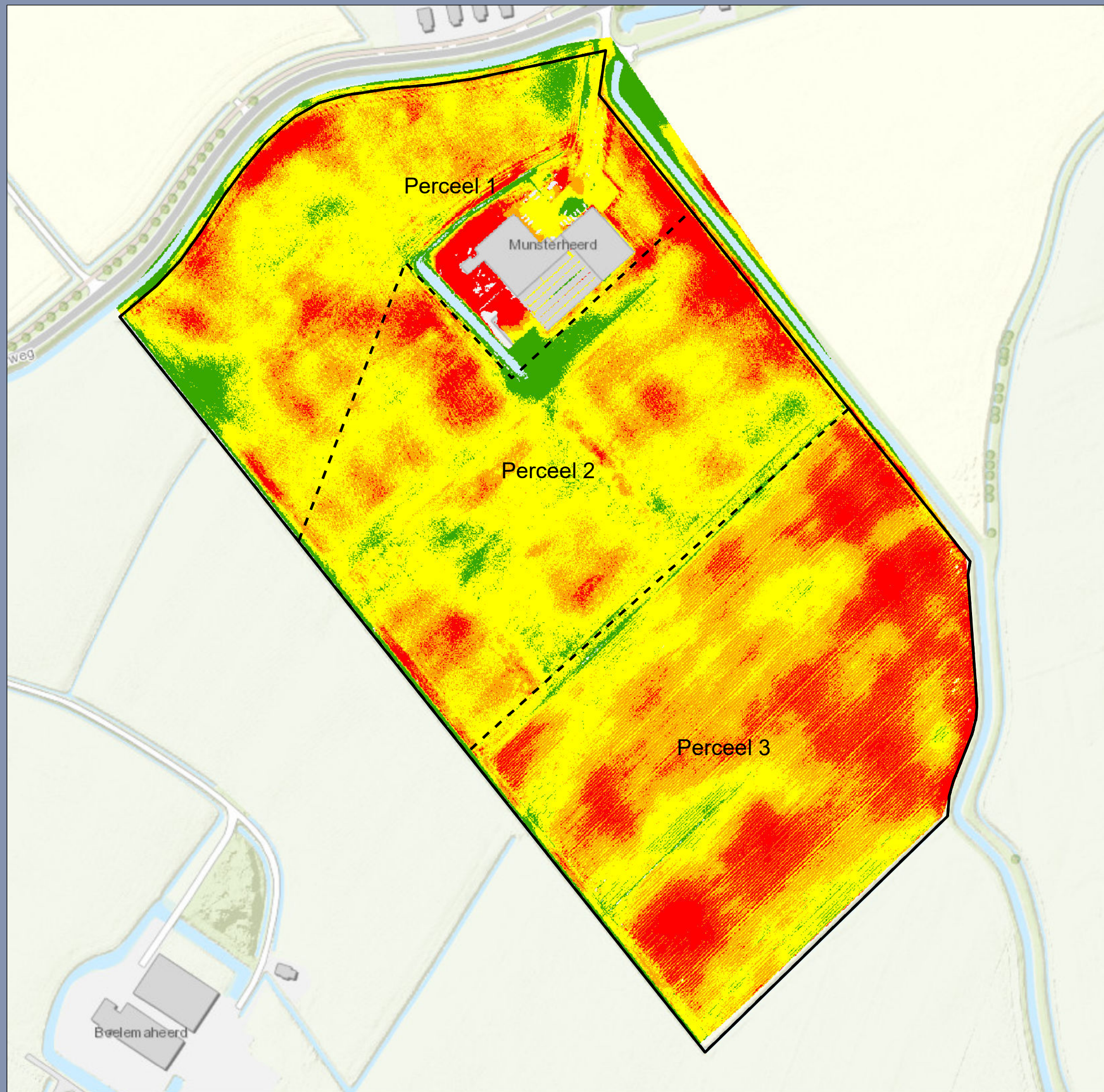
Boring 13 - ruilverkaveling 1969							LB29 - veldwerk 2020						
Laag	Lutum		Humus	Doorlatendheid		Opmerkingen	Laag	Lutum		Humus	Doorlatendheid		
0	0,25	18-25%	zware zavel	3-5%	0,1	m/dag	0	0,2	17%	Matig lichte zavel	1%	0,2	m/dag
0,25	0,7	25-35%	lichte klei		0,05	m/dag	0,2	0,5	26%	Lichte klei	1%	0,2	m/dag
0,7	1,2	25-35%	lichte klei		0,05	m/dag	0,5	2	17%	Matig lichte zavel	1%	0,05	m/dag
1,2	1,5	35-45%	Matig zware klei		0,05	m/dag							
1,5	1,65	18-25%	zware zavel		0,1	m/dag							
1,65	2	18-25%	zware zavel		0,15	m/dag							

Boring 18 - ruilverkaveling 1969							LB30 - veldwerk 2020						
Laag	Lutum		Humus	Doorlatendheid		Opmerkingen	Laag	Lutum		Humus	Doorlatendheid		
0	0,2	18-25%	zware zavel	3-5%	0,1	m/dag	0	0,6	14%	Matig lichte zavel	3%	0,2	m/dag
0,2	0,5	18-25%	zware zavel		0,1	m/dag	0,6	0,9	17%	Matig lichte zavel	1%	0,2	m/dag
0,5	0,9	25-35%	lichte klei		0,1	m/dag	0,9	1,7	28%	Lichte klei	2%	0,01	m/dag
0,9	1,2	35-45%	Matig zware klei		0,1	m/dag	1,7	2	28%	Lichte klei	1%	0,01	m/dag
1,2	1,6	25-35%	lichte klei		0,05	m/dag							
1,6	2	18-25%	zware zavel		0,1	m/dag							



Boring 19 - ruilverkaveling 1969							LB28 - veldwerk 2020						
Laag	Lutum		Humus	Doorlatendheid		Opmerkingen	Laag	Lutum		Humus	Doorlatendheid		
0	0,2	18-25%	zware zavel	3-5%	0,1	m/dag	0	0,6	26%	Lichte klei	3%		m/dag
0,2	0,7	18-25%	zware zavel		0,1	m/dag	0,6	1,3	17%	Matig lichte zavel	2%	0,2	m/dag
0,7	1	12-18%	matig lichte zavel		0,1	m/dag	1,3	2	22%	Zware zavel	1%	0,03	m/dag
1	1,4	18-25%	zware zavel		0,1	m/dag							
1,4	1,7	25-35%	lichte klei		0,05	m/dag							
1,7	2	12-18%	matig lichte zavel		0,15	m/dag							

Boring 22 - ruilverkaveling 1969							LB26 - veldwerk 2020						
Laag	Lutum		Humus	Doorlatendheid		Opmerkingen	Laag	Lutum		Humus	Doorlatendheid		
0	0,25	12-18%	matig lichte zavel	3-5%	0,1	m/dag	0	0,6	26%	Lichte klei	3%	0,02	m/dag
0,25	1	12-18%	matig lichte zavel		0,1	m/dag	0,6	1,3	4%	Matig kleiarm zand	1%	0,9	m/dag
1	1,5	18-25%	zware zavel		0,1	m/dag	1,3	1,6	24%	Zware zavel	1%	0,025	m/dag
1,5	1,6	25-35%	lichte klei		0,05	m/dag	1,6	1,8	28%	Lichte klei	1%	0,01	m/dag
1,6	1,9	8-12%	zeer lichte zavel		0,15	m/dag	1,8	2	17%	Matig lichte zavel		0,2	m/dag
1,9	2	8-12%	zeer lichte zavel		0,15	m/dag							





Bijlage 6 Hoogteverschilkaarten hoogtemeting en AHN2



Legenda

-  Onderzoeksgebied Loppersum
-  Perceelsindeling

Verskil geïnterpoleerde hoogtemeting en AHN2

-  Meer dan -22 cm
-  Tussen -15 en -22 cm
-  Tussen 0 en -15 cm
-  0 cm of positieve waarde

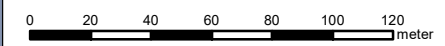


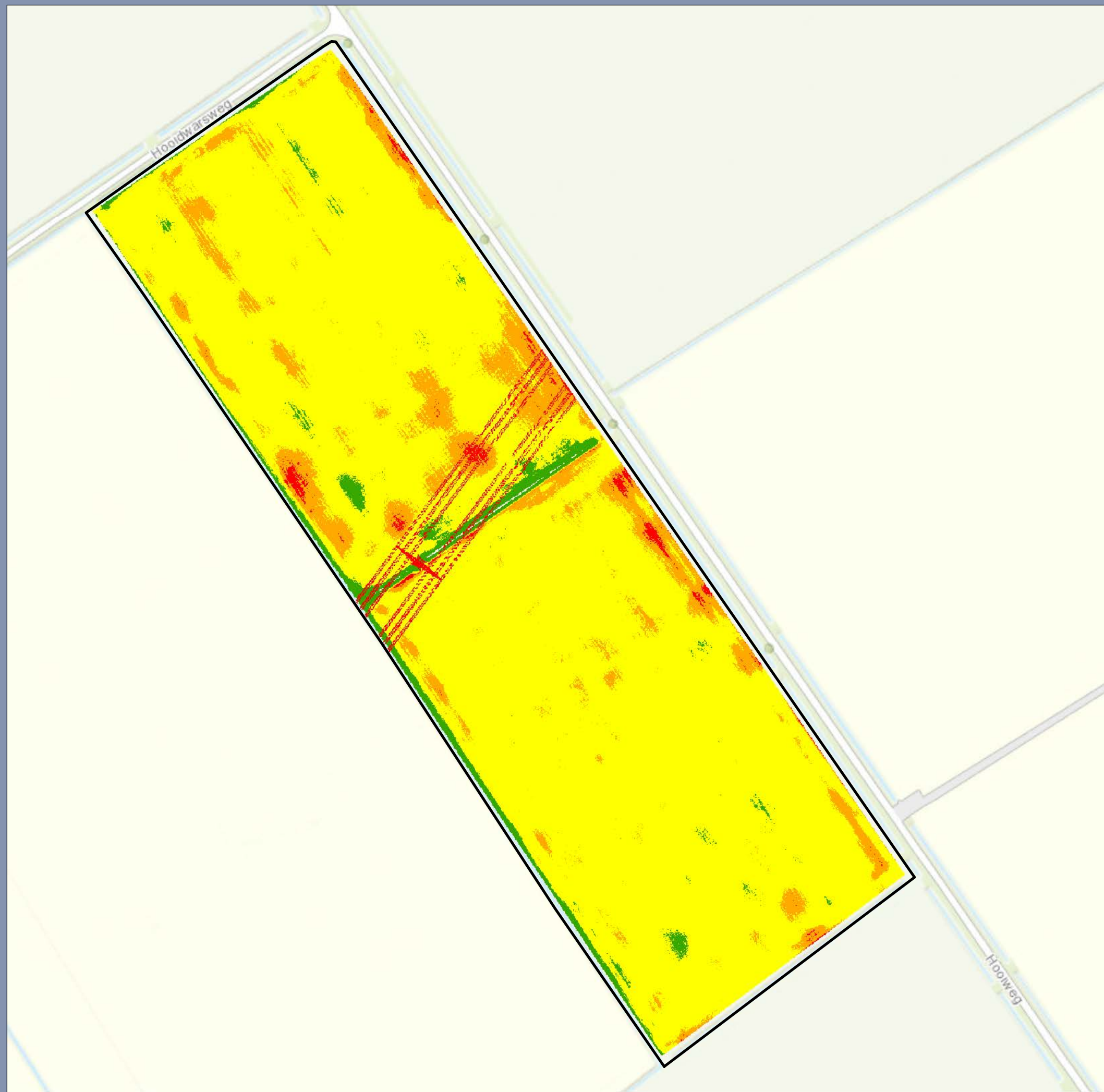
Verskil geïnterpoleerde hoogtemeting en AHN2
Locatie: Loppersum

Opdrachtgever: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
 Projectnummer: 367825


Status: Concept
 Datum: 28-1-2021
 Schaal: 1:2.500
 Formaat: A3

Getekend: JW - Gecontroleerd: JdW







Legenda


 Onderzoeksgebied Godlinze

Verskil geïnterpoleerde hoogtemeting en AHN2 (ruw)

 Meer dan -21 cm

 Tussen -15 en -21 cm

 Tussen 0 en -15 cm

 0 cm of positieve waarde



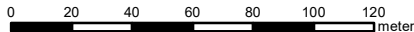
Verskil geïnterpoleerde hoogtemeting en AHN2 Locatie: Godlinze

Opdrachtgever: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Projectnummer: 367825

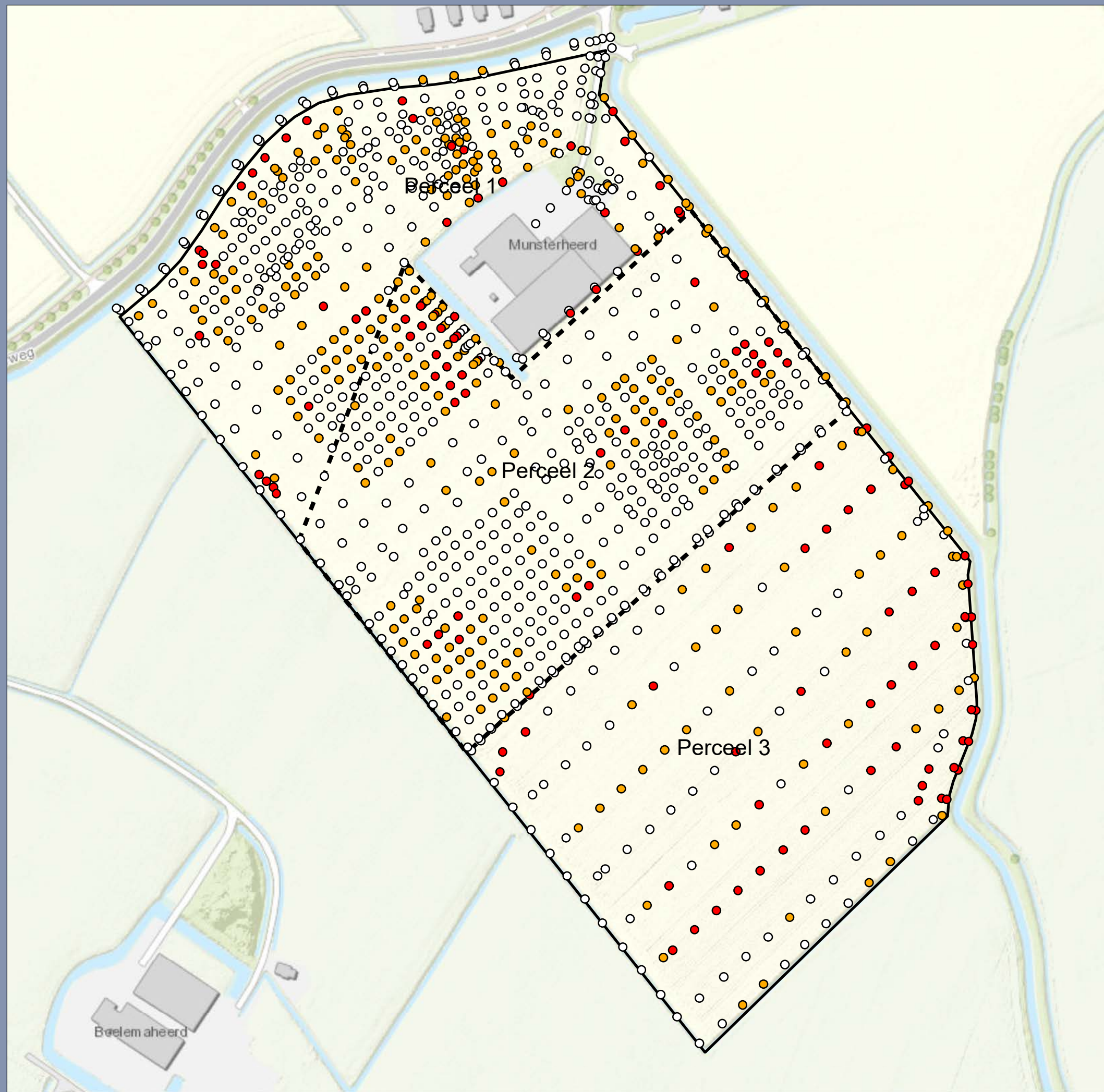
Status: Concept
Datum: 28-1-2021
Schaal: 1:2.500
Formaat: A3

Getekend: JW - Gecontroleerd: JdW

SWECO 

 0 20 40 60 80 100 120 meter





Legenda

- Onderzoeksgebied Loppersum
- Verschil AHN2 en hoogtemeting**
- Meer dan 22 cm daling
- Tussen 15 en 22 cm daling
- Overig



Verschil AHN2 en hoogtemeting

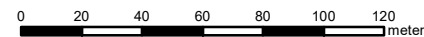
Locatie: Loppersum

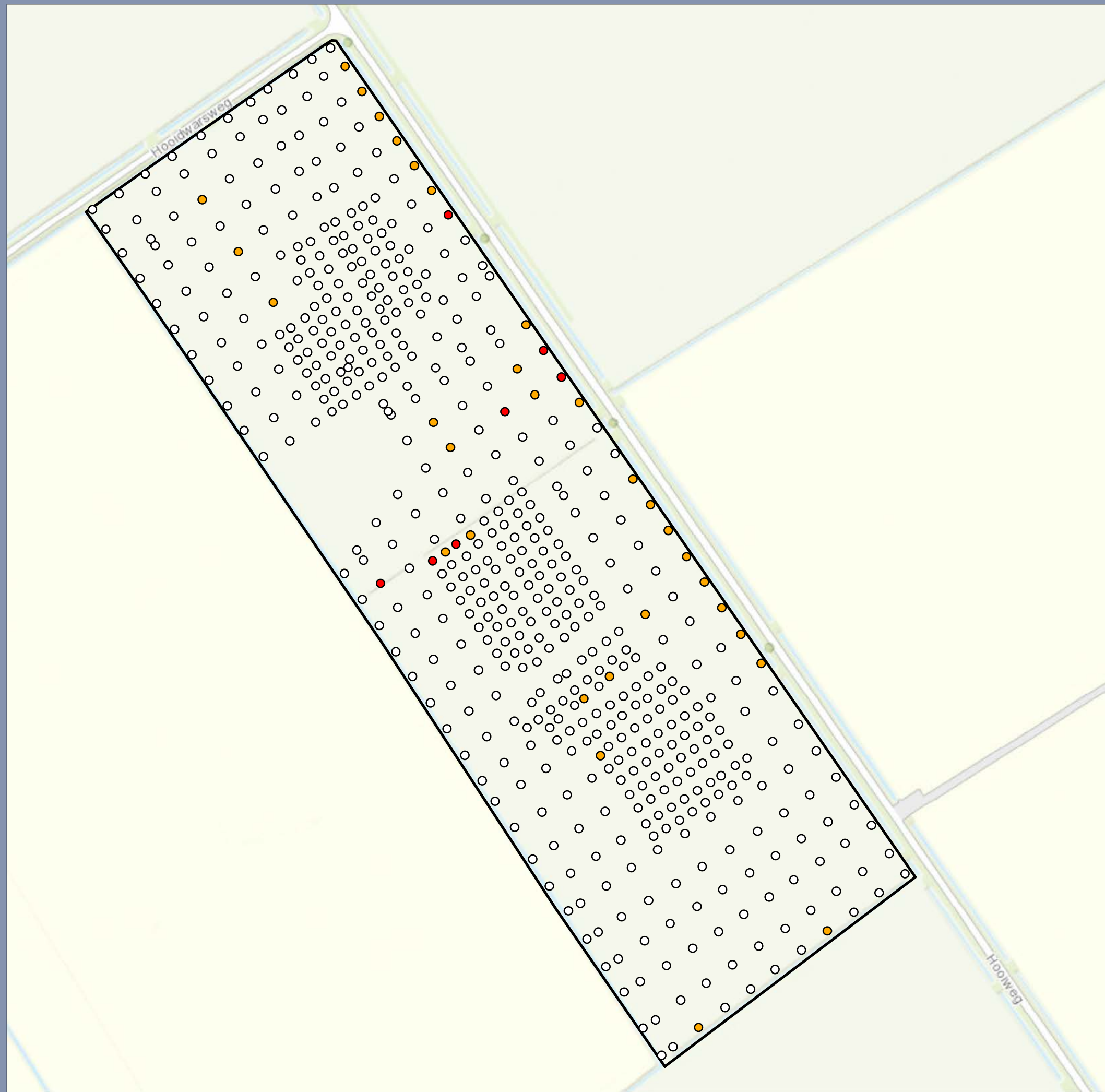
Opdrachtgever: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
 Projectnummer: 367825

Status: Concept
 Datum: 25-1-2021
 Schaal: 1:2.500
 Formaat: A3




Getekend: JW - Gecontroleerd: JdW








Legenda

 Onderzoeksgebied Godlinze

Verschil AHN2 en hoogtemeting

-  Meer dan 21 cm daling
-  Tussen 15 en 21 cm daling
-  Overig



Verschil AHN2 en hoogtemeting

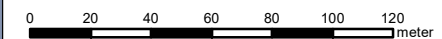
Locatie: Godlinze

Opdrachtgever: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
 Projectnummer: 367825

Status: Concept
 Datum: 25-1-2021
 Schaal: 1:2.500
 Formaat: A3



Getekend: JW - Gecontroleerd: JdW



Bijlage 7 Bodemdalingsprocessen

Bodemdaling is feitelijk het zakken van het niveau van het maaiveld ten opzichte van een vast referentiepunt, bijvoorbeeld het Normaal Amsterdams Peil (NAP). Bodemdaling wordt veroorzaakt door een aantal processen die deels door de mens worden beïnvloed. In deze bijlage hoofdstuk worden de processen die bodemdaling veroorzaken toegelicht.

Oorzaken en achterliggende processen

Bodemdaling in Nederland is onder te verdelen in de volgende meest voorkomende oorzaken:

1. Tektonische daling en isostasie
2. Compactie door gaswinning (of andere mijnbouwactiviteiten)
3. Oxidatie en krimp van veen
4. Rijping en krimp van klei
5. Samendrukking bovenlagen (zetting)

Hieronder volgt per proces een toelichting.

Tektonische daling en isostasie

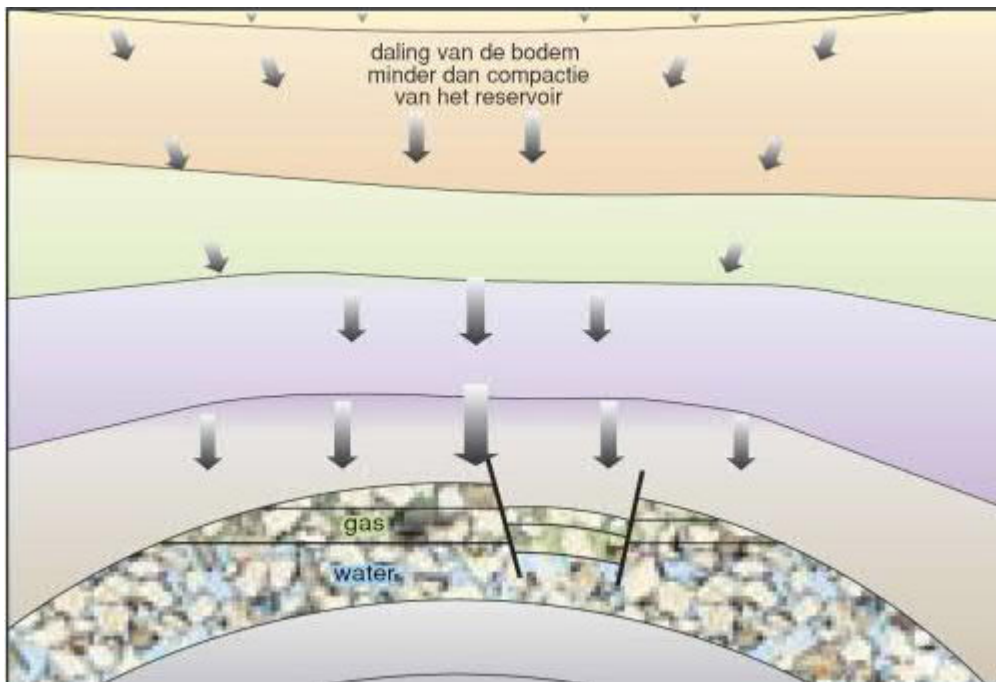
Tektonische daling treedt op als gevolg van geologische processen in de diepe ondergrond. De tektonische daling in Nederland wordt geschat op maximaal 1,8 cm per, wat neerkomt op 0,18 mm/jaar [23].

De isostatische bodemdaling is het gevolg van het feit dat in de laatste ijstijd een groot deel van Noorwegen, Zweden en Denemarken bedekt was onder een dikke laag landijs. Deze laag ijs van soms meer dan twee kilometer dikte zorgde voor een grote druk op de aardkorst, waardoor deze ingedrukt werd. Na het afsmelten van het ijs veert de aardkorst weer terug wat ten koste gaat van de zuidelijker gelegen gebieden, die daardoor een daling ondergaan. In Nederland wordt de isostatische daling door Kooi et al [24] geschat op maximaal 0,3 mm/jaar.

In het bodemdalingsgebied van de gaswinning in Groningen bedraagt de daling op de onderzoekslocaties door tektoniek en isostasie 0,2 tot 0,4 mm/jaar. Deze daling wordt meegenomen in de metingen ten behoeve van het vaststellen van de bodemdaling door gaswinning [25].

Compactie door gaswinning

Gaswinning leidt tot een verlaging van de druk in het gesteente (reservoir), waardoor in deze laag compactie optreedt. Door het gewicht van de bovenliggende lagen zullen deze lagen zakken en zal dus ook het maaiveld zakken. Deze effecten spelen op regionale schaal boven het gehele gasreservoir.



Figuur. 7.1 Ontstaan van de bodemdalingssom door compactie van het reservoir [26]

Teneinde de bodemdaling door diepe compactie als gevolg van aardgaswinning te kunnen bepalen, is door NAM in 2015 een onderzoeksrapport gepresenteerd waarin nagegaan is in hoeverre de gasproductieactiviteiten aanleiding geven tot bodemdaling als gevolg van compactie van de poreuze gesteentelagen waaruit aardgas wordt gewonnen. De bevindingen zijn beschreven in het rapport 'Bodemdaling door Aardgaswinning' d.d. december 2015 [27]. In het rapport is de bodemdaling ondermeer vastgesteld op basis van (relatieve) peilmerkbewegingen, InSAR satellietmetingen en in-situ compactiemetingen in diepe observatieputten in het Groningen-gasveld.

Eénmaal per vijf jaar wordt de gemeten bodemdaling en een nieuwe prognose gepubliceerd in het zogenaamde Statusrapport.

Op basis van de meetresultaten is een prognosemodel voor de diepe compactie ontwikkeld, waarmee op basis van de afnemende reservoirdrukken in het Groningen-gasveld een voorspelling kan worden gegeven van de toekomstige bodemdaling als gevolg van gaswinning (voor het jaar 2025, 2050 en 2080).

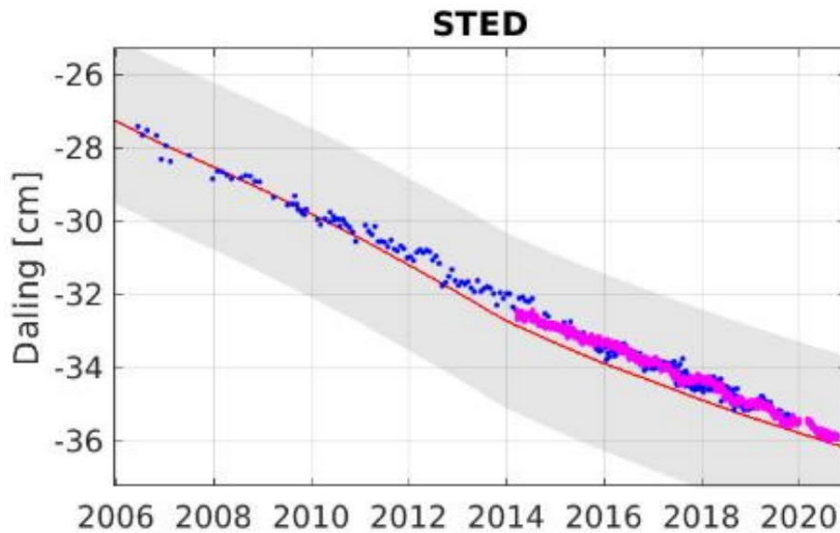
Om ondiepe effecten (onder andere middeldiepe compactie, zie kader) als daling van objecten en maaiveld door belastingen, natuurlijke processen als autonome zettingen, rijping en oxidatie en zetting door grondwaterstandsverlagingen zoveel mogelijk te kunnen uitsluiten, zijn bij de peilmerkbewegingen in het bovenstaande onderzoek van NAM uiteindelijk alleen de meetresultaten van stabiele peilmerken beschouwd [27].

Uitgangspunt voor dit onderzoek is dat de resultaten hiervan als voldoende representatief worden gesteld voor het vaststellen van de bodemdaling door diepe compactie.

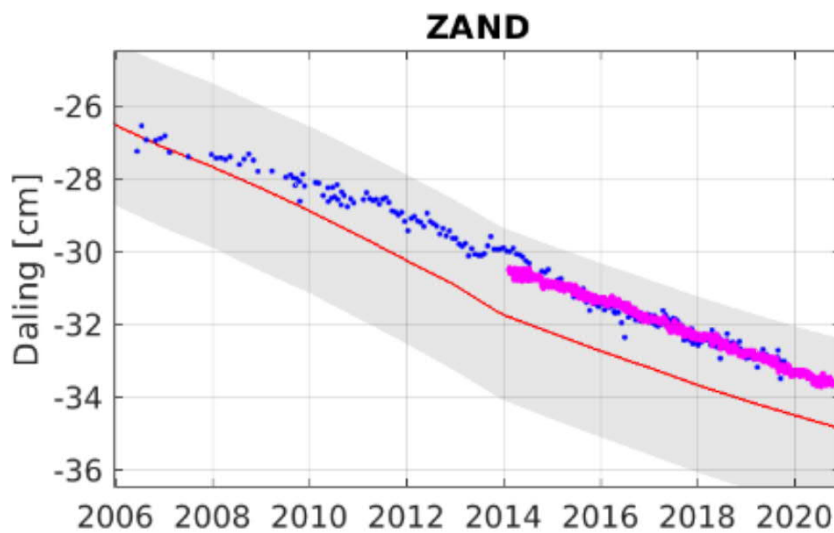
De bodemdaling door compactie van het gasreservoir verloopt traag met een gradiënt die visueel op perceelniveau niet waarneembaar zal zijn.

Bodembeweging op de GNSS stations Stedum en 't Zandt

Bodembeweging wordt door de NAM onder andere met GNSS-stations (GPS-stations) gemonitord. In de onderstaande figuren zijn tijdseries voor station Stedum en 't Zandt opgenomen. In deze figuren zijn de GNSS-meting (paars) met de gemodelleerde bodemdaling (rode lijn) plus onzekerheidsmarge (grijs, 2σ), PS-InSAR deformatiemetingen (blauw) en beweging van nabije peilmerken (zwart; indien aanwezig) met onzekerheidsmarge (2σ) weergegeven [41].



Bodembeweging op de GNSS stations Stedum [41]



Bodembeweging op de GNSS station 't Zandt [41]

Oxidatie en krimp van veen

Oxidatie en krimp van veen zijn twee van de belangrijkste bodemdalingsprocessen in de Holocene sedimenten in Nederland. Door de blootstelling van organisch materiaal aan de lucht vindt oxidatie plaats, waardoor het veen 'verbrand'. In veengebieden in het westen van

Nederland is in de laatste decennia een aantal studies uitgevoerd die veel kennis hebben opgeleverd over de snelheid van oxidatie (en daarmee bodemdaling). Krimp van het veen vindt plaats boven de grondwaterstand door uitdroging. Dit is weer het gevolg van ontwatering en vooral door verdamping, voornamelijk door het gewas. Plantenwortels kunnen de grond sterk uitdrogen en veel krimp veroorzaken. Krimp kan worden onderscheiden in reversibele en irreversibele krimp. Irreversibele krimp van veen is vergelijkbaar met rijping van kleigronden. Reversibele krimp vindt plaats in de zomer en kan in zeer droge zomers tijdelijke maaiveld dalingen van meer dan 10 cm veroorzaken.

Oxidatie van humeuze kleilagen (vooral diepere kleilagen) en veen onder het kleidek is mogelijk als deze lagen in contact komen met zuurstof. De mate waarin er oxidatie plaatsvindt, is afhankelijk van de dikte van het kleidek in relatie tot het grondwater niveau. Uit langjarig onderzoek door Van den Akker blijkt dat maaiveld daling in veenweidegebied sterk gerelateerd is aan de grondwaterstanden aan het einde van de zomer. De grondwaterstanden zijn dan op zijn diepste en de bodemtemperatuur op zijn hoogst. Dit zijn optimale omstandigheden voor oxidatie.

Rijping en krimp van klei

Rijping van klei treedt op in de bovenste laag waar water uit verdwijnt door ontwatering (drainage), blootstelling aan de atmosfeer en door verdamping door vegetatie. Wanneer een grond droogvalt (bijvoorbeeld na inpoldering), is er eerst nog sprake van een tweefasig systeem, bestaande uit een vaste fase en een vloeibare fase. Door verdamping, ontwatering (aanleg sloten en drainage) en door wateropname door plantenwortels verdwijnt er water. De grotere poriën raken leeg en gevuld met lucht. In het zo ontstane driefasig systeem neemt bij verdergaande wateronttrekking de waterspanning af en worden de vaste delen naar elkaar toegevoerd (is toename korrelspanning). Gevolg hiervan is dat de grond in elkaar wordt gedrukt (krimp) met als gevolg dat het maaiveld zakt. Omdat water voornamelijk aan lutum (kleideeltjes) en organische bestanddelen is gebonden, is het waterverlies groter naarmate een grond kleiiger en humeuzer is.

Krimp is het proces waarbij een onverzadigd stuk kleigrond wordt samengedrukt door periodieke toename van de zuigspanningen in de bodem. Dit wordt veroorzaakt door bijvoorbeeld uitdroging door ontwatering en door verdamping, voornamelijk door het gewas. De bodemdaling door krimp treedt op in orde grootte van mm tot centimeters en kan meer dan 10 cm bedragen. Door zwel kan de bodem in dezelfde mate weer stijgen. Indien de zwel kleiner is dan de krimp, dan is een deel van de krimp irreversibel, wat duidt op een verdere rijping van de grond [17].

De verwachting is dat op basis van de bodemopbouw het maaiveld sinds de gaswinning mogelijk enkele centimeters is gedaald als gevolg van krimp in combinatie met rijping (mede door peilverlaging). Niet uitgesloten is dat drie droge zomers van 2018, 2019 en 2020 hebben bijgedragen aan enige rijping en permanente krimp van de gronden (maximaal enkele centimeters). Dit geldt met name voor de bodemprofielen met sterk siltige klei rondom de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand. Ook kunnen door tijdelijke krimp (in droge zomers) de gronden tijdelijk lager liggen, maar deze zullen na bevochtiging als gevolg van zwel weer stijgen.

Samendrukking van bovenlagen (zetting)

Een belangrijke factor in de bodemdaling in Nederland wordt gevormd door compactie. Om in dit rapport verwarring met compactie van het gasreservoir te voorkomen, wordt deze compactie in dit rapport omschreven als samendrukking van de bovenlagen. Onder samendrukking van bovenlagen wordt verstaan het samendrukken van sedimentpakketten als gevolg van een bovenbelasting. De poriën van het sediment in de ondergrond zijn in het algemeen gevuld met water en/of gas, dat een deel van de bovenbelasting opvangt. Indien het water of het gas wordt verwijderd (door winning, drainage of verdamping), zal de korrelspanning toenemen en komt het onderliggende water en gas onder druk te staan en zoekt het een uitweg. De samendrukbaarheid van het korrelskelet en de mate van doorlatendheid van het sediment bepaalt de snelheid van bodemdaling die met samendrukking van bovenlagen samenhangt. Deze samendrukking is afhankelijk van de sterkteparameters van de bodem, waarbij veen en klei sterker samendrukbaar zijn dan zand. Iedere grondsoort heeft eigen samendrukbaarheidsparameters, die afhankelijk zijn van de samenstelling van de grond en de al doorgemaakte voorbelasting.

Overige bodemdalingsprocessen

Naast bovenstaande processen zijn in het kader van dit onderzoek ook verweking door trillingscompactie en verweking en verspoeling van loopzand beschouwd.

Trillingscompactie door verweking

Een potentieel effect van aardbevingen in relatie tot drainage en maaiveldzakking is verweking en verdichting van de ondergrond door trillingscompactie. Als gevolg hiervan kunnen los-gepakte zand- en siltlagen verdichten (compactie) wat kan leiden tot (ongelijkmatige) zakkingen. Vooral losgepakte zand- en siltlagen zijn gevoelig voor verweking. Tijdens een aardbeving kunnen schuifspanningen in de lagen optreden, waardoor herrangschikking van het korrelskelet kan plaatsvinden, leidend tot een dichtere pakking.

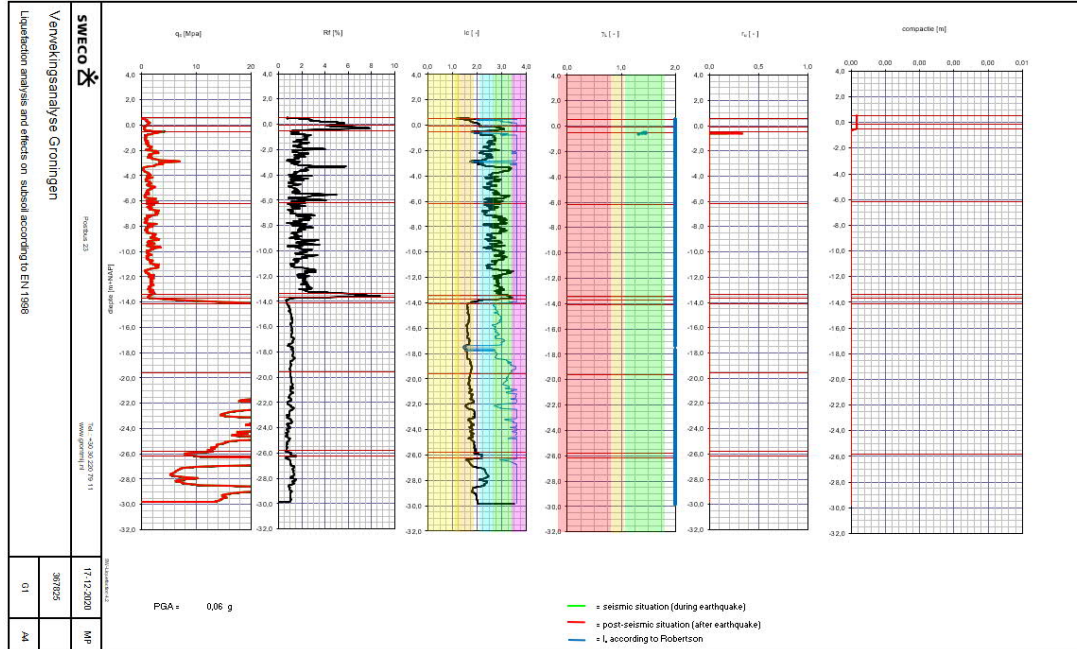
Verweking en verspoeling van loopzand

Loopzand in de bodem is in de regel met water verzadigd en verspoelt zeer gemakkelijk. Loopzand wordt gekenmerkt door sterk zandige, gelaagde klei en zwak slibhoudende en slibarm zand (wadzand) [31]

Loopzand is eigenlijk drijfzand van zichzelf, dit zand komt bij de geringste trilling/beweging in beweging en stroomt dan ook naar een plaats met minder belasting (sloot). Het betreft fijn zand (mediaan gemiddelde korrelgrootte 100 micron) en weinig lutum [32]

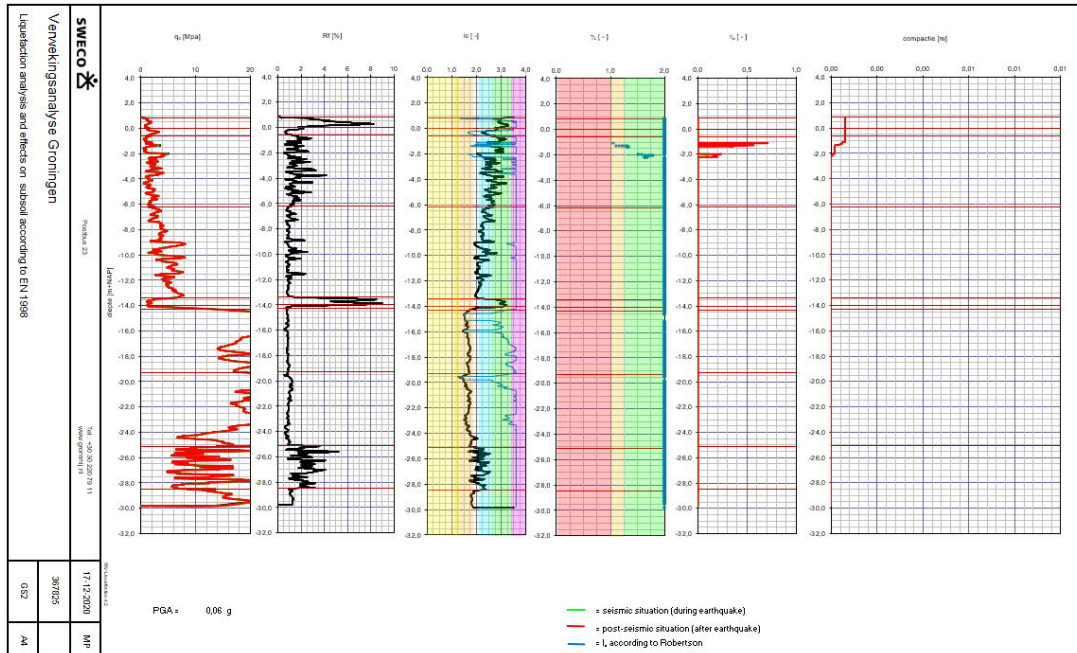
Wanneer zandlenzen rondom het sloot en/of drainageniveau aanwezig zijn en in verbinding staan met een watergang kan zand verweken en uitspoelen via zandlenzen direct grenzend aan een watergang of drainagebuizen (via eventuele beschadigingen/gaten aan de buis en/of de instroomgleuven).

Bijlage 8 Resultaten verwekingsanalyses



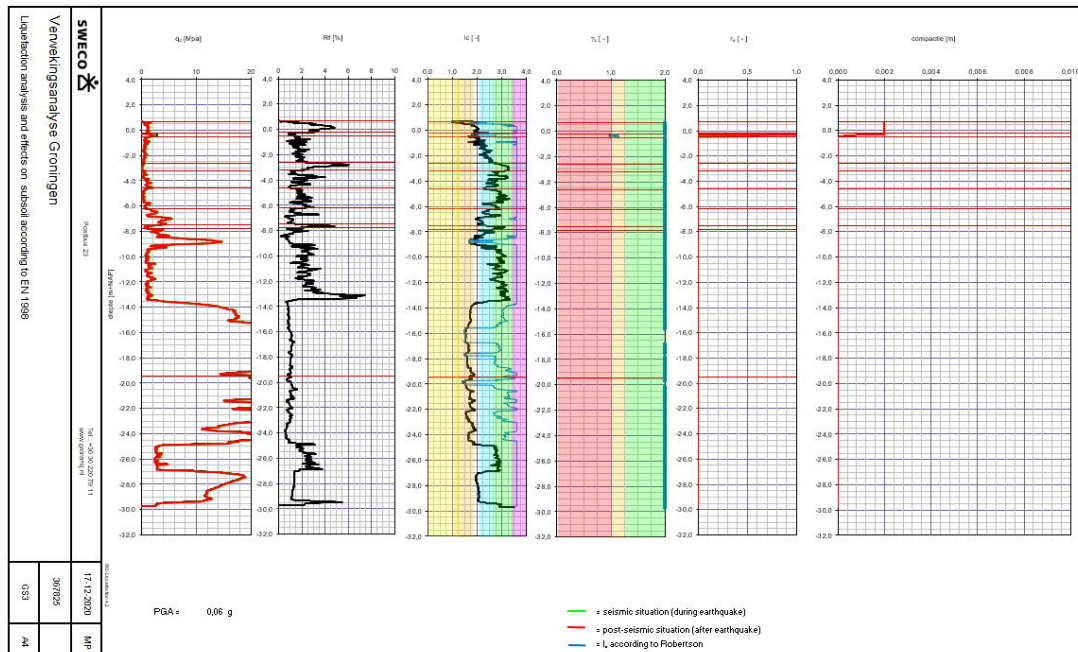
Tabel B8-1.1 Resultaten maatgevende verwekingsanalyse sondering GS1

Soil type	top layer [m+NAP]	MSF [-]	K_{σ} [-]	K_H [-]	r_d [-]	CSR [-]	$CRR_{7,5}$ [-]	$\gamma_{L,layer}$ [-]	S_{post} [mm]
klei (toplaag)	0,6	0,989	1,100	1,000	0,990	0,125	0,088	2,000	0,146
Zand, los	-0,1	0,989	1,100	1,000	0,966	0,107	0,087	2,000	0,148
wadzand	-0,5	0,989	1,074	1,800	0,800	0,071	0,098	1,998	0,002
Zand, los	-6,2	0,989	1,010	1,000	0,576	0,048	0,092	2,000	0,000
veen	-13,4	0,989	0,991	1,000	0,506	0,042	0,086	2,000	0,000
zand, los	-13,7	0,989	0,978	1,000	0,501	0,042	0,215	2,000	0,000
zand, vast	-14,1	0,989	0,862	1,000	0,446	0,036	0,502	2,309	0,000
zand, los	-25,8	0,989	0,925	1,000	0,409	0,032	0,121	2,000	0,000
zand, vast	-26,2	0,989	0,878	1,000	0,402	0,031	0,221	2,000	0,000



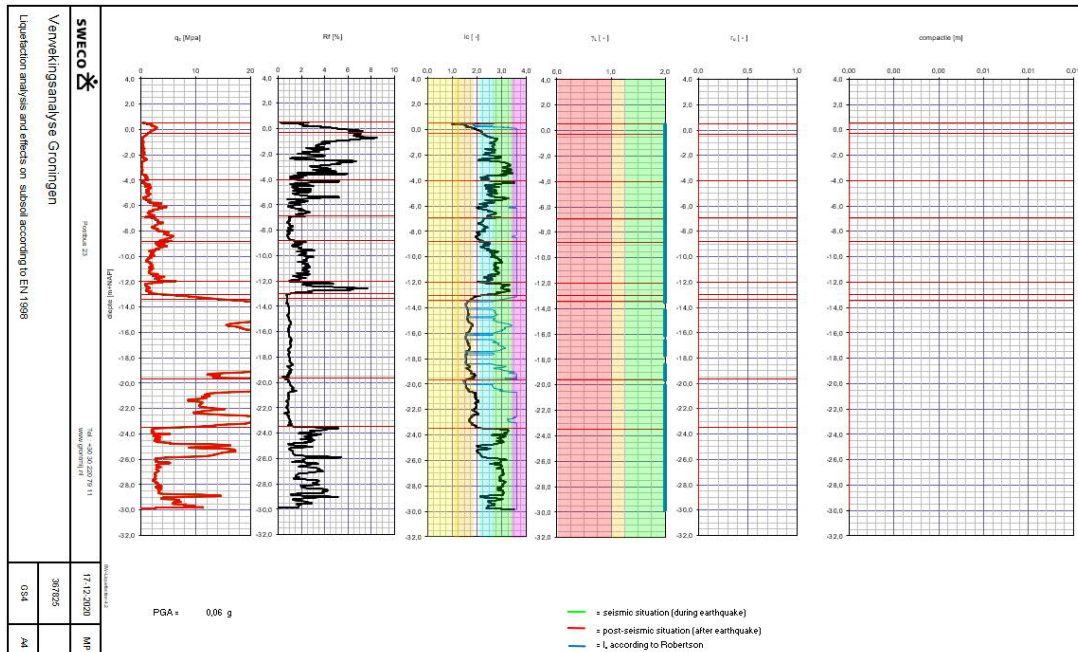
Tabel B8-1.2 Resultaten maatgevende verwekingsanalyse sondering GS2

Soil type	top layer [m+NAP]	MSF [-]	K _σ [-]	K _H [-]	r _d [-]	CSR [-]	CRR _{7,5} [-]	γ _{L,layer} [-]	S;post [mm]
klei (toplaag)	0,9	0,954	1,100	1,000	0,988	0,124	0,092	2,000	0,594
klei, matig	0,0	0,954	1,100	1,000	0,958	0,123	0,104	2,000	0,594
wadzand	-0,6	0,954	1,083	1,800	0,819	0,084	0,103	1,970	0,095
Zand, los	-6,2	0,954	1,019	1,000	0,641	0,057	0,117	2,000	0,000
veen	-13,4	0,954	0,993	1,000	0,582	0,050	0,091	2,000	0,000
zand, los	-14,0	0,954	0,988	1,000	0,578	0,050	0,130	2,000	0,000
zand, vast	-14,3	0,954	0,901	1,000	0,537	0,044	0,408	2,797	0,000
wadzand	-25,1	0,954	0,920	1,800	0,503	0,040	0,136	2,000	0,000
zand, matig	-28,5	0,954	0,898	1,000	0,496	0,040	0,160	2,000	0,000



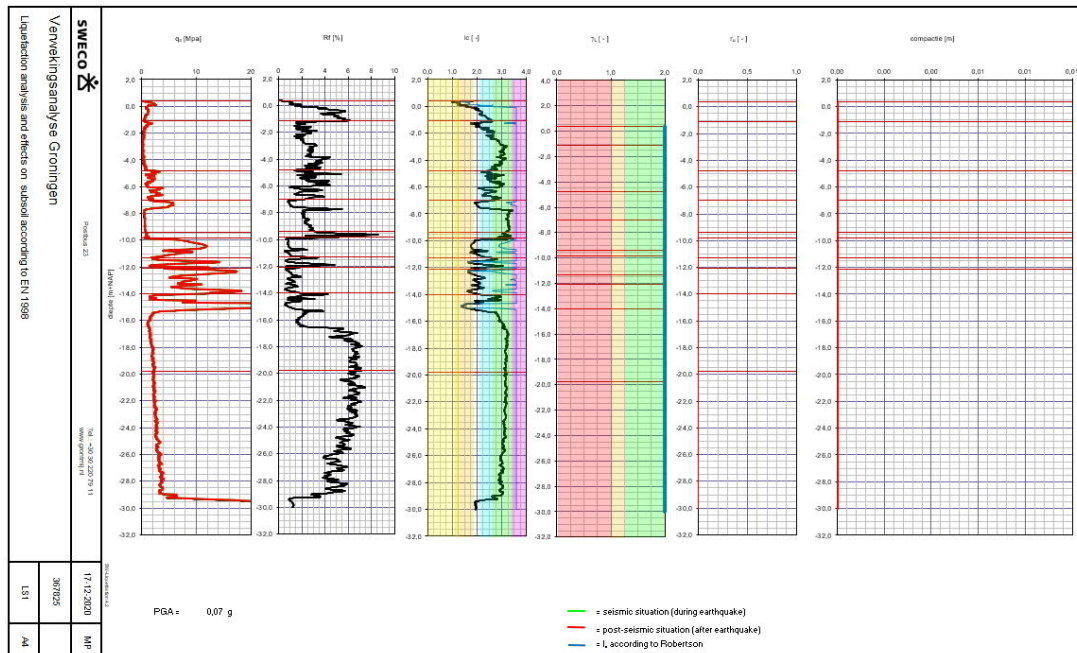
Tabel B8-1.3 Resultaten maatgevende verwekingsanalyse sondering GS3

Soil type	top layer [m+NAP]	MSF [-]	K_{σ} [-]	K_H [-]	r_d [-]	CSR [-]	$CRR_{7,5}$ [-]	$\gamma_{L,layer}$ [-]	S;post [mm]
klei (toplaag)	0,7	1,008	1,100	1,000	0,984	0,125	0,090	2,000	1,973
Zand, los	-0,2	1,008	1,100	1,000	0,953	0,111	0,102	1,512	1,050
klei, matig	-0,5	1,008	1,099	1,000	0,877	0,101	0,085	2,000	0,000
veen	-2,6	1,008	1,087	1,000	0,793	0,098	0,081	2,000	0,000
wadzand	-3,2	1,008	1,083	1,800	0,739	0,086	0,089	2,000	0,000
klei, matig	-4,6	1,008	1,060	1,000	0,669	0,074	0,085	2,000	0,000
zand, los	-6,2	1,008	1,068	1,000	0,613	0,066	0,116	2,000	0,000
klei, matig	-7,5	1,008	1,045	1,000	0,587	0,061	0,095	2,000	0,000
zand, los	-7,8	1,008	0,943	1,000	0,421	0,038	0,319	3,141	0,000



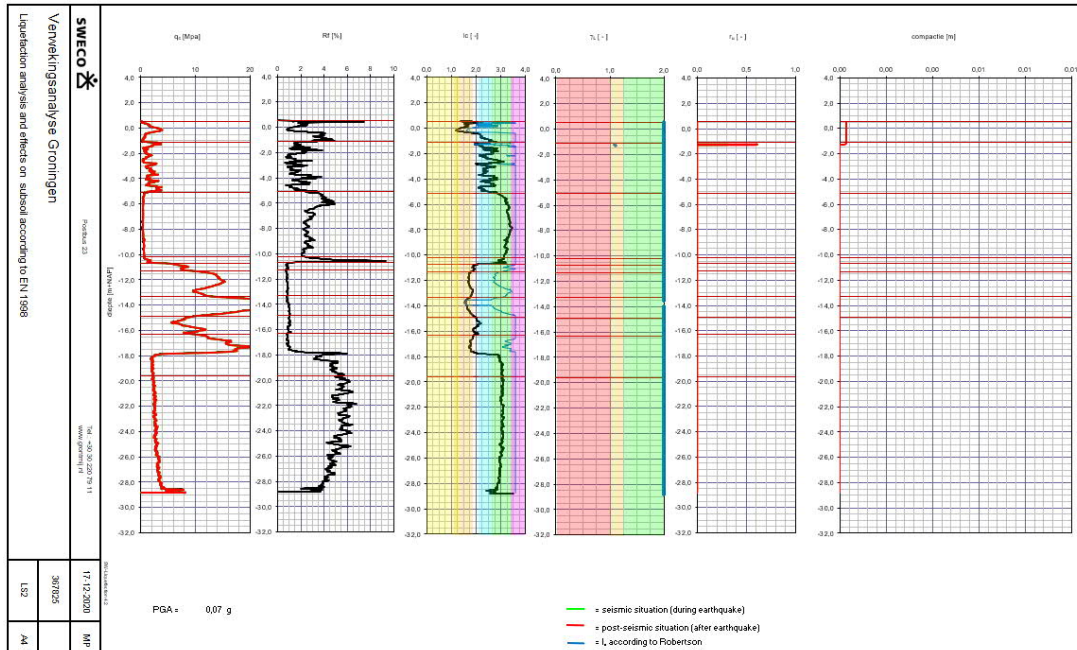
Tabel B8-1.4 Resultaten maatgevende verwekingsanalyse sondering GS4

Soil type	top layer [m+NAP]	MSF [-]	K_σ [-]	K_H [-]	r_d [-]	CSR [-]	$CRR_{7,5}$ [-]	$\gamma_{L,layer}$ [-]	S;post [mm]
klei (toplaag)	0,5	1,001	1,100	1,000	0,986	0,125	0,098	2,000	0,000
klei, matig	-0,3	1,001	1,096	1,000	0,855	0,110	0,083	2,000	0,000
wadzand	-4,0	1,001	1,074	1,800	0,684	0,077	0,099	2,000	0,000
zand, los	-6,9	1,001	1,052	1,000	0,598	0,060	0,119	2,000	0,000
wadzand	-8,8	1,001	1,021	1,800	0,534	0,051	0,101	2,000	0,000
veen	-12,0	1,001	1,008	1,000	0,494	0,047	0,091	2,000	0,000
zand, los	-13,0	1,001	1,011	1,000	0,483	0,046	0,175	2,000	0,000
zand, vast	-13,4	1,001	0,925	1,000	0,427	0,037	0,469	4,702	0,000
klei, matig	-23,5	1,001	0,947	1,000	0,373	0,032	0,109	2,000	0,000



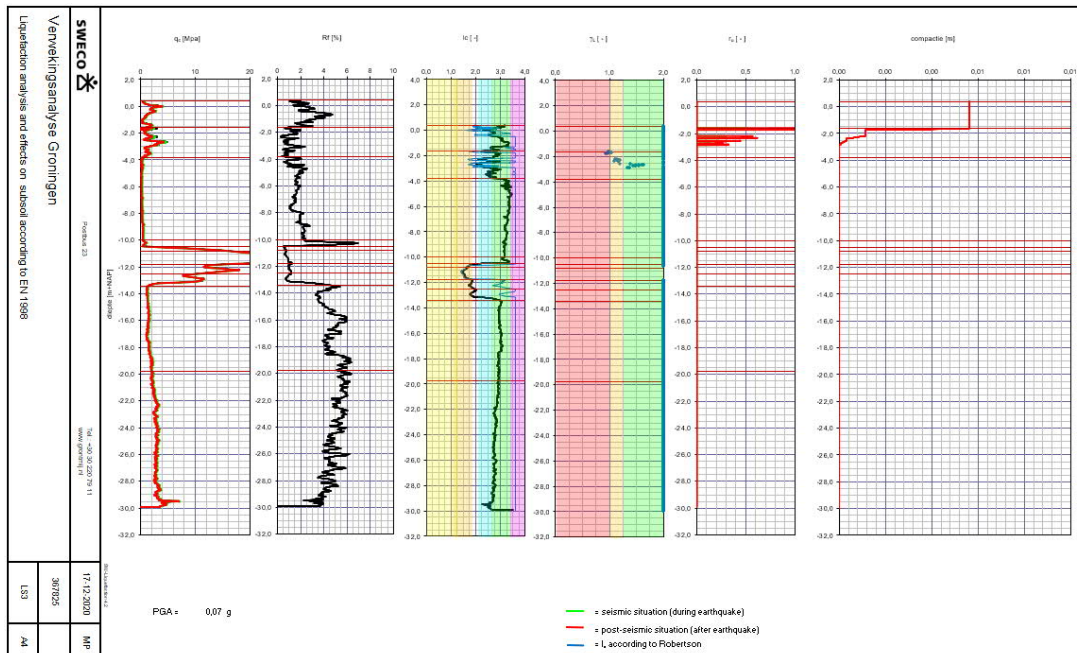
Tabel B8-1.5 Resultaten maatgevende verwekingsanalyse sondering LS1

Soil type	top layer [m+NAP]	MSF [-]	K_{σ} [-]	K_H [-]	r_d [-]	CSR [-]	$CRR_{7,5}$ [-]	$\gamma_{L,layer}$ [-]	S;post [mm]
klei (toplaag)	0,4	1,020	1,100	1,000	0,967	0,140	0,088	2,000	0,000
klei, matig	-1,1	1,020	1,092	1,000	0,810	0,118	0,083	2,000	0,000
wadzand	-4,8	1,020	1,078	1,800	0,659	0,087	0,103	2,000	0,000
zand, los	-7,0	1,020	1,043	1,000	0,577	0,067	0,097	2,000	0,000
veen	-9,4	1,020	1,025	1,000	0,538	0,060	0,087	2,000	0,000
zand, los	-9,8	1,020	1,038	1,000	0,516	0,057	0,168	2,000	0,000
wadzand	-11,3	1,020	1,021	1,800	0,493	0,053	0,162	2,255	0,000
zand, matig	-12,1	1,020	1,010	1,000	0,469	0,050	0,244	2,445	0,000
klei, matig	-14,0	1,020	0,979	1,000	0,382	0,043	0,126	2,000	0,000



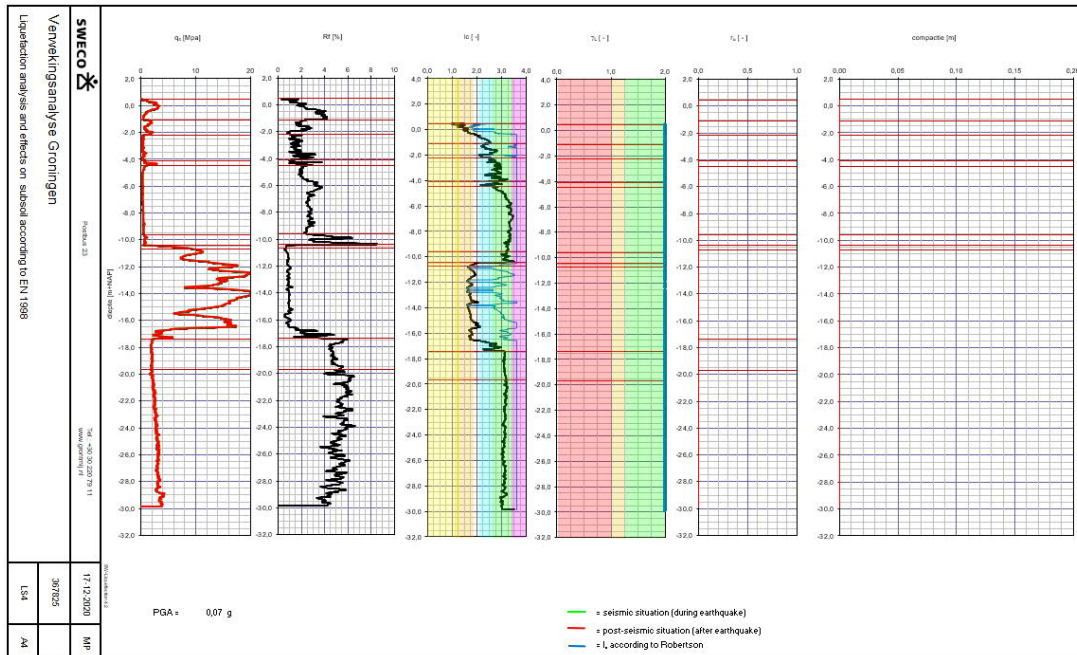
Tabel B8-1.6 Resultaten maatgevende verkeikingsanalyse sondering LS2

Soil type	top layer [m+NAP]	MSF [-]	K_σ [-]	K_H [-]	r_d [-]	CSR [-]	$CRR_{7,5}$ [-]	$\gamma_{L,layer}$ [-]	S;post [mm]
klei (toplaag)	0,5	1,027	1,100	1,000	0,962	0,139	0,092	2,000	0,159
wadzand	-1,1	1,027	1,087	1,800	0,787	0,090	0,100	1,991	0,011
klei, matig	-5,1	1,027	1,035	1,000	0,582	0,065	0,083	2,000	0,000
veen	-10,2	1,027	1,028	1,000	0,502	0,060	0,092	2,000	0,000
zand, los	-10,7	1,027	1,044	1,000	0,490	0,059	0,154	2,000	0,000
zand, matig	-11,3	1,027	1,040	1,000	0,465	0,053	0,331	2,000	0,000
zand, vast	-13,3	1,027	1,010	1,000	0,436	0,047	0,516	5,666	0,000
zand, los	-14,9	1,027	0,989	1,000	0,416	0,044	0,144	2,000	0,000
zand, matig	-16,3	1,027	0,965	1,000	0,359	0,035	0,118	2,000	0,000



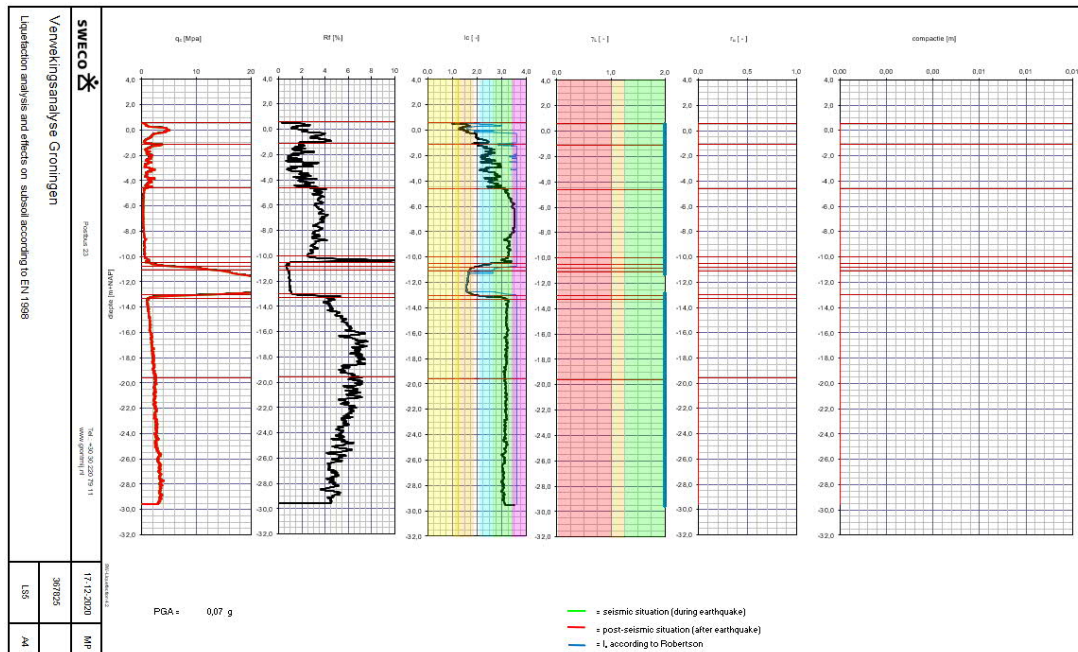
Tabel B8-1.7 Resultaten maatgevende verwerkingsanalyse sondering LS3

Soil type	top layer [m+NAP]	MSF [-]	K_{σ} [-]	K_H [-]	r_d [-]	CSR [-]	$CRR_{7,5}$ [-]	$\gamma_{L,layer}$ [-]	S;post [mm]
klei (toplaag)	0,4	1,008	1,100	1,000	0,955	0,138	0,097	2,000	5,422
wadzand	-1,6	1,008	1,097	1,800	0,832	0,106	0,102	1,829	0,618
klei, matig	-3,8	1,008	1,046	1,000	0,645	0,078	0,082	2,000	0,000
veen	-10,0	1,008	1,030	1,000	0,546	0,067	0,087	2,000	0,000
zand, los	-10,5	1,008	1,073	1,000	0,538	0,067	0,316	5,081	0,000
zand, vast	-10,8	1,008	1,099	1,000	0,525	0,063	0,600	9,793	0,000
zand, matig	-11,8	1,008	1,050	1,000	0,510	0,059	0,401	2,000	0,000
zand, los	-12,5	1,008	1,020	1,000	0,497	0,056	0,160	2,000	0,000
potklei	-13,4	1,008	0,977	1,000	0,416	0,044	0,090	2,000	0,000



Tabel B8-1.8 Resultaten maatgevende verwekingsanalyse sondering LS4

Soil type	top layer [m+NAP]	MSF [-]	K_{σ} [-]	K_H [-]	r_d [-]	CSR [-]	$CRR_{7,5}$ [-]	$\gamma_{L,layer}$ [-]	S;post [mm]
klei (toplaag)	0,5	1,047	1,100	1,000	0,961	0,139	0,093	2,000	0,000
wadzand	-1,1	1,047	1,100	1,800	0,870	0,111	0,095	2,000	0,000
klei, matig	-2,2	1,047	1,080	1,000	0,767	0,094	0,082	2,000	0,000
zand, los	-4,1	1,047	1,081	1,000	0,697	0,086	0,095	2,000	0,000
klei, matig	-4,5	1,047	1,048	1,000	0,574	0,073	0,082	2,000	0,000
veen	-9,6	1,047	1,037	1,000	0,475	0,064	0,086	2,000	0,000
zand, los	-10,4	1,047	1,062	1,000	0,461	0,062	0,147	2,000	0,000
zand, matig	-10,7	1,047	1,031	1,000	0,396	0,046	0,358	3,725	0,000
zand, vast	-17,4	1,047	0,970	1,000	0,300	0,031	0,091	2,000	0,000



Tabel B8-1.9 Resultaten maatgevende verwekingsanalyse sondering LS5

Soil type	top layer [m+NAP]	MSF [-]	K_{σ} [-]	K_H [-]	r_d [-]	CSR [-]	$CRR_{7,5}$ [-]	$\gamma_{L,layer}$ [-]	S;post [mm]
klei (toplaag)	0,6	1,031	1,100	1,000	0,960	0,139	0,100	2,000	0,000
wadzand	-1,1	1,031	1,086	1,800	0,796	0,093	0,094	2,000	0,000
klei, matig	-4,6	1,031	1,037	1,000	0,587	0,067	0,082	2,000	0,000
veen	-10,0	1,031	1,029	1,000	0,498	0,061	0,088	2,000	0,000
zand, los	-10,5	1,031	1,037	1,000	0,489	0,060	0,113	2,000	0,000
zand, matig	-10,8	1,031	1,065	1,000	0,482	0,058	0,294	3,986	0,000
zand, vast	-11,1	1,031	1,077	1,000	0,461	0,053	0,591	11,261	0,000
zand, matig	-13,0	1,031	1,010	1,000	0,441	0,049	0,116	2,000	0,000
potklei	-13,3	1,031	0,977	1,000	0,359	0,038	0,090	2,000	0,000

Bijlage 9 Resultaten vlakteligging drainagemetingen Godlinze

Meting hoogteligging drainageleidingen

Opdrachtgever Sweco Nederland B.V.
Locatie Godlinze
Onderdeel Hoogteligging drainage
Datum meting 06-01-2021 en 07-01-2021

Projectnummer 2006283000
Documentnummer 2006283502
Revisie 0
Datum rapportage 15-01-2021
Opgesteld door D.J. Groen
Gecontroleerd door B. Wilgenhof



Galvaniweg 11
Postbus 497
8070 AL Nunspeet
T 0341-274470
F 0341-274471
E info@inventec.nl
W www.inventec.nl

Inleiding

Op 6 en 7 januari 2021 heeft Inventec met het LPMH-meetsysteem de hoogteligging (lengteprofiel) van 7 drainageleidingen bepaald, met als doel voor de opdrachtgever om inzicht te krijgen in de mogelijke effecten van aardbevingen op landbouwdrainage.

Uitgangspunten

1. Het lengte-meetinterval van de metingen is 2,5 meter;
2. Dit rapport bevat per leiding een alfanumerieke en grafische presentatie van de meetresultaten;
3. De drainageleidingen zijn gemeten voor zover de meetsonde in de leiding kon worden gebracht;
4. Als bijlage is nadere informatie over het LPMH systeem opgenomen;
5. Bij de leidingen zijn in een boring de grondtemperaturen gemeten met behulp van een PT-100 thermokoppel met uitleesunit (nauwkeurigheid: -200°C tot $800^{\circ}\text{C} \pm 0,05\%$ van de meetwaarde plus en min $0,5^{\circ}\text{C}$). De grondtemperatuur is niet van invloed op de gemeten hoogtes omdat de sensor hiervoor gecompenseerd is;
6. De locatie is weergegeven in onderstaande figuur.

Figuur 1: Locatie overzicht



LPMH – HOOGTE / ZETTINGSMETING

Opdrachtgever : Hoogtemeting bepalen van drainleiding
Project : Godlinze
Locatie : Hoodwarsweg
Leidingnummer : Drain 1
Sectie :

Metingnummer : 2006M001

Meetinterval : 2.5 m
Leidinglengte : 291.6 m
Leidingdiameter : 60 mm
Soort leiding : HDPE
Leiding gespoeld : Nee

Type meetunit : LPMH-C-005
Druksensor : PS-004

Opmerkingen : Gemeten luchttemperatuur op ongeveer 2m onder
maaiveld (naast drain): 7.4 °C .

Alle hoogtematen betreffen de binnenonderkant van de leiding.

Datum : 6-1-2021

Operator: D.J. Groen

Inventec bv

Postbus 497, 8070 AL Nunspeet

0341-274470

info@inventec.nl

www.inventec.nl

Hoogtemeting bepalen van drainleiding

Godlinze

Hoodwarsweg

Leidingnummer: Drain 1
Meting: 2006M001
Datum: 6-1-2021
Referentie: piket
Referentiehoogte: 1151 mm+NAP
Hoogte b.o.b. leiding: -506 mm+NAP
Verschil referentie - b.o.b.: 1657 mm

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
0.0	0.0	-506
1.6	1.60	-503
4.1	4.10	-511
6.6	6.60	-515
9.1	9.10	-511
11.6	11.60	-507
14.1	14.10	-503
16.6	16.60	-492
19.1	19.10	-496
21.6	21.60	-491
24.1	24.10	-494
26.6	26.60	-502
29.1	29.10	-498
31.6	31.60	-505
34.1	34.10	-497
36.6	36.60	-497
39.1	39.10	-494
41.6	41.60	-490
44.1	44.10	-499
46.6	46.60	-500

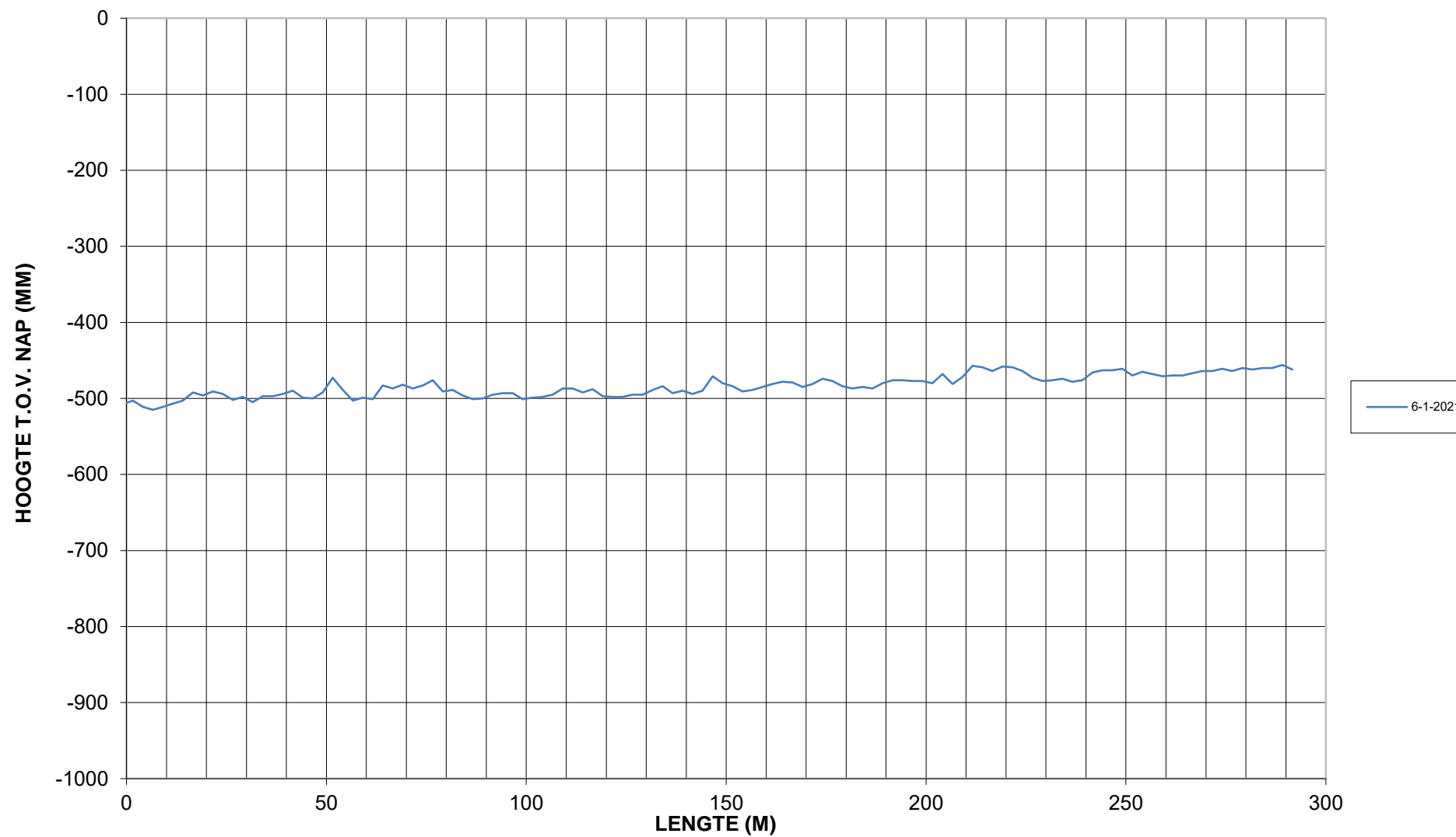
Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
49.1	49.10	-492
51.6	51.60	-473
54.1	54.10	-489
56.6	56.60	-503
59.1	59.10	-499
61.6	61.60	-501
64.1	64.10	-483
66.6	66.60	-487
69.1	69.10	-482
71.6	71.60	-487
74.1	74.10	-483
76.6	76.60	-476
79.1	79.10	-491
81.6	81.60	-489
84.1	84.10	-496
86.6	86.60	-501
89.1	89.10	-500
91.6	91.60	-495
94.1	94.10	-493
96.6	96.60	-493
99.1	99.10	-501
101.6	101.60	-499
104.1	104.10	-498
106.6	106.60	-495
109.1	109.10	-487
111.6	111.60	-487
114.1	114.10	-492
116.6	116.60	-488
119.1	119.10	-497
121.6	121.60	-498
124.1	124.10	-498

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
126.6	126.60	-495
129.1	129.10	-495
131.6	131.60	-489
134.1	134.10	-484
136.6	136.60	-493
139.1	139.10	-490
141.6	141.60	-494
144.1	144.10	-490
146.6	146.60	-471
149.1	149.10	-480
151.6	151.60	-484
154.1	154.10	-491
156.6	156.60	-489
159.1	159.10	-485
161.6	161.60	-481
164.1	164.10	-478
166.6	166.60	-479
169.1	169.10	-485
171.6	171.60	-481
174.1	174.10	-474
176.6	176.60	-477
179.1	179.10	-484
181.6	181.60	-487
184.1	184.10	-485
186.6	186.60	-487
189.1	189.10	-480
191.6	191.60	-476
194.1	194.10	-476
196.6	196.60	-477
199.1	199.10	-477
201.6	201.60	-480

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
204.1	204.10	-468
206.6	206.60	-481
209.1	209.10	-472
211.6	211.60	-457
214.1	214.10	-459
216.6	216.60	-464
219.1	219.10	-458
221.6	221.60	-459
224.1	224.10	-464
226.6	226.60	-473
229.1	229.10	-477
231.6	231.60	-476
234.1	234.10	-474
236.6	236.60	-478
239.1	239.10	-476
241.6	241.60	-466
244.1	244.10	-463
246.6	246.60	-463
249.1	249.10	-461
251.6	251.60	-470
254.1	254.10	-465
256.6	256.60	-468
259.1	259.10	-471
261.6	261.60	-470
264.1	264.10	-470
266.6	266.60	-467
269.1	269.10	-464
271.6	271.60	-464
274.1	274.10	-461
276.6	276.60	-464
279.1	279.10	-460

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
281.6	281.60	-462
284.1	284.10	-460
286.6	286.60	-460
289.1	289.10	-456
291.6	291.60	-462

Drain 1



LPMH – HOOGTE / ZETTINGSMETING

Opdrachtgever : Hoogtemeting bepalen van drainleiding
Project : Godlinze
Locatie : Hoodwarsweg
Leidingnummer : Drain R2
Sectie :

Metingnummer : 2006M002

Meetinterval : 2.5 m
Leidinglengte : 297.7 m
Leidingdiameter : 60 mm
Soort leiding : HDPE
Leiding gespoeld : Nee

Type meetunit : LPMH-C-005
Druksensor : PS-004

Opmerkingen : Gemeten luchttemperatuur op ongeveer 2m onder
maaiveld (naast drain): 6.4 °C .

Alle hoogtematen betreffen de binnenonderkant van de leiding.

Datum : 6-1-2021

Operator: D.J. Groen

Inventec bv

Postbus 497, 8070 AL Nunspeet

0341-274470

info@inventec.nl

www.inventec.nl

Hoogtemeting bepalen van drainleiding

Godlinze

Hoodwarsweg

Leidingnummer: Drain R2
Meting: 2006M002
Datum: 6-1-2021
Referentie: piket
Referentiehoogte: 904 mm+NAP
Hoogte b.o.b. leiding: -514 mm+NAP
Verschil referentie - b.o.b.: 1418 mm

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
0.0	0.0	-514
0.2	0.20	-514
2.7	2.70	-499
5.2	5.20	-494
7.7	7.70	-495
10.2	10.20	-487
12.7	12.70	-486
15.2	15.20	-488
17.7	17.70	-495
20.2	20.20	-497
22.7	22.70	-499
25.2	25.20	-497
27.7	27.70	-501
30.2	30.20	-498
32.7	32.70	-497
35.2	35.20	-501
37.7	37.70	-498
40.2	40.20	-503
42.7	42.70	-496
45.2	45.20	-483

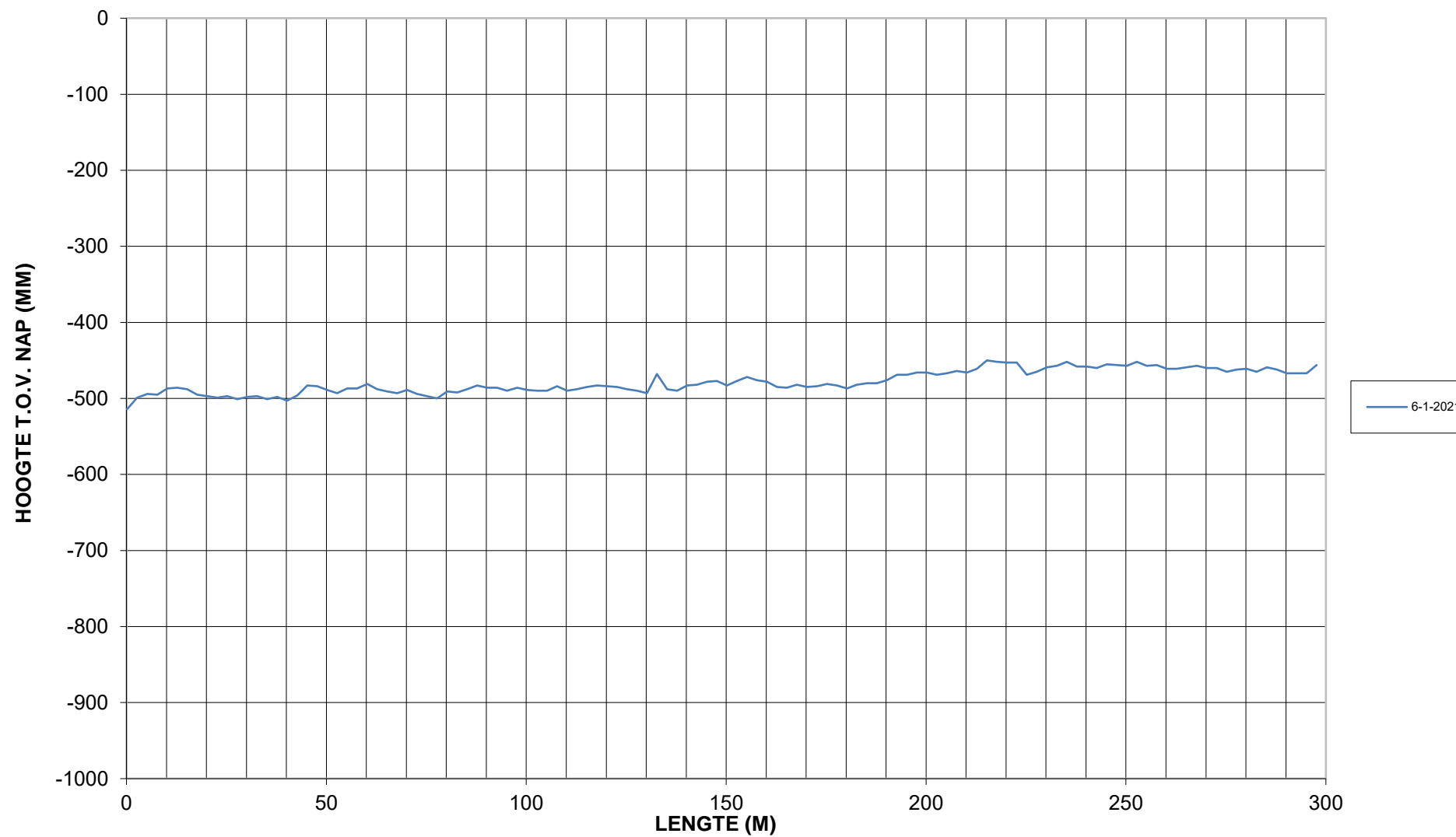
Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
47.7	47.70	-484
50.2	50.20	-489
52.7	52.70	-493
55.2	55.20	-487
57.7	57.70	-487
60.2	60.20	-481
62.7	62.70	-488
65.2	65.20	-491
67.7	67.70	-493
70.2	70.20	-489
72.7	72.70	-494
75.2	75.20	-497
77.7	77.70	-500
80.2	80.20	-491
82.7	82.70	-492
85.2	85.20	-488
87.7	87.70	-483
90.2	90.20	-486
92.7	92.70	-486
95.2	95.20	-490
97.7	97.70	-486
100.2	100.20	-489
102.7	102.70	-490
105.2	105.20	-490
107.7	107.70	-484
110.2	110.20	-490
112.7	112.70	-488
115.2	115.20	-485
117.7	117.70	-483
120.2	120.20	-484
122.7	122.70	-485

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
125.2	125.20	-488
127.7	127.70	-490
130.2	130.20	-493
132.7	132.70	-468
135.2	135.20	-488
137.7	137.70	-490
140.2	140.20	-483
142.7	142.70	-482
145.2	145.20	-478
147.7	147.70	-477
150.2	150.20	-483
152.7	152.70	-477
155.2	155.20	-472
157.7	157.70	-476
160.2	160.20	-478
162.7	162.70	-485
165.2	165.20	-486
167.7	167.70	-482
170.2	170.20	-485
172.7	172.70	-484
175.2	175.20	-481
177.7	177.70	-483
180.2	180.20	-487
182.7	182.70	-482
185.2	185.20	-480
187.7	187.70	-480
190.2	190.20	-476
192.7	192.70	-469
195.2	195.20	-469
197.7	197.70	-466
200.2	200.20	-466

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
202.7	202.70	-469
205.2	205.20	-467
207.7	207.70	-464
210.2	210.20	-466
212.7	212.70	-461
215.2	215.20	-450
217.7	217.70	-452
220.2	220.20	-453
222.7	222.70	-453
225.2	225.20	-469
227.7	227.70	-465
230.2	230.20	-459
232.7	232.70	-457
235.2	235.20	-452
237.7	237.70	-458
240.2	240.20	-458
242.7	242.70	-460
245.2	245.20	-455
247.7	247.70	-456
250.2	250.20	-457
252.7	252.70	-452
255.2	255.20	-457
257.7	257.70	-456
260.2	260.20	-461
262.7	262.70	-461
265.2	265.20	-459
267.7	267.70	-457
270.2	270.20	-460
272.7	272.70	-460
275.2	275.20	-465
277.7	277.70	-462

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
280.2	280.20	-461
282.7	282.70	-465
285.2	285.20	-459
287.7	287.70	-462
290.2	290.20	-467
292.7	292.70	-467
295.2	295.20	-467
297.7	297.70	-456

Drain R2



LPMH – HOOGTE / ZETTINGSMETING

Opdrachtgever : Hoogtemeting bepalen van drainleiding
Project : Godlinze
Locatie : Hoodwarsweg
Leidingnummer : Drain 3
Sectie :

Metingnummer : 2006M003

Meetinterval : 2.5 m
Leidinglengte : 297.4 m
Leidingdiameter : 60 mm
Soort leiding : HDPE
Leiding gespoeld : Nee

Type meetunit : LPMH-C-005
Druksensor : PS-004

Opmerkingen : Gemeten luchttemperatuur op ongeveer 2m onder
maaiveld (naast drain): 6.6 °C .

Alle hoogtematen betreffen de binnenonderkant van de leiding.

Datum : 6-1-2021

Operator: D.J. Groen

Inventec bv

Postbus 497, 8070 AL Nunspeet

0341-274470

info@inventec.nl

www.inventec.nl

Hoogtemeting bepalen van drainleiding

Godlinze

Hoodwarsweg

Leidingnummer: Drain 3
Meting: 2006M003
Datum: 6-1-2021
Referentie: piket
Referentiehoogte: 1088 mm+NAP
Hoogte b.o.b. leiding: -518 mm+NAP
Verschil referentie - b.o.b.: 1606 mm

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
-----------------------	--------------------	--------------------

0.0	0.0	-518
2.4	2.40	-498
4.9	4.90	-495
7.4	7.40	-498
9.9	9.90	-507
12.4	12.40	-502
14.9	14.90	-500
17.4	17.40	-495
19.9	19.90	-499
22.4	22.40	-501
24.9	24.90	-500
27.4	27.40	-499
29.9	29.90	-496
32.4	32.40	-496
34.9	34.90	-491
37.4	37.40	-488
39.9	39.90	-481
42.4	42.40	-491
44.9	44.90	-489
47.4	47.40	-499

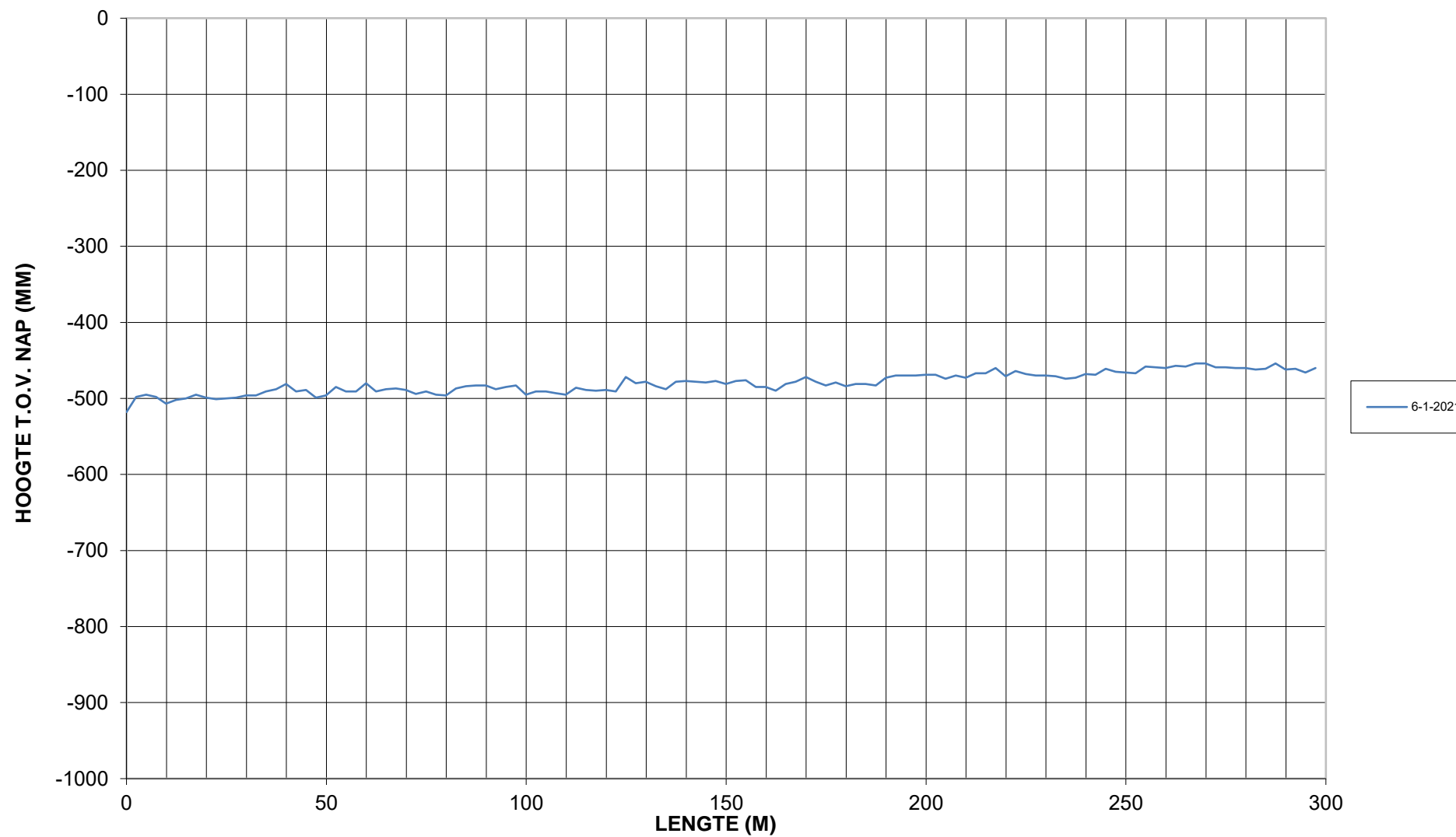
Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
49.9	49.90	-496
52.4	52.40	-485
54.9	54.90	-491
57.4	57.40	-491
59.9	59.90	-480
62.4	62.40	-491
64.9	64.90	-488
67.4	67.40	-487
69.9	69.90	-489
72.4	72.40	-494
74.9	74.90	-491
77.4	77.40	-495
79.9	79.90	-496
82.4	82.40	-487
84.9	84.90	-484
87.4	87.40	-483
89.9	89.90	-483
92.4	92.40	-488
94.9	94.90	-485
97.4	97.40	-483
99.9	99.90	-495
102.4	102.40	-491
104.9	104.90	-491
107.4	107.40	-493
109.9	109.90	-495
112.4	112.40	-486
114.9	114.90	-489
117.4	117.40	-490
119.9	119.90	-489
122.4	122.40	-491
124.9	124.90	-472

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
127.4	127.40	-480
129.9	129.90	-478
132.4	132.40	-484
134.9	134.90	-488
137.4	137.40	-478
139.9	139.90	-477
142.4	142.40	-478
144.9	144.90	-479
147.4	147.40	-477
149.9	149.90	-481
152.4	152.40	-477
154.9	154.90	-476
157.4	157.40	-485
159.9	159.90	-485
162.4	162.40	-490
164.9	164.90	-481
167.4	167.40	-478
169.9	169.90	-472
172.4	172.40	-478
174.9	174.90	-483
177.4	177.40	-479
179.9	179.90	-484
182.4	182.40	-481
184.9	184.90	-481
187.4	187.40	-483
189.9	189.90	-473
192.4	192.40	-470
194.9	194.90	-470
197.4	197.40	-470
199.9	199.90	-469
202.4	202.40	-469

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
204.9	204.90	-474
207.4	207.40	-470
209.9	209.90	-473
212.4	212.40	-467
214.9	214.90	-467
217.4	217.40	-460
219.9	219.90	-471
222.4	222.40	-464
224.9	224.90	-468
227.4	227.40	-470
229.9	229.90	-470
232.4	232.40	-471
234.9	234.90	-474
237.4	237.40	-473
239.9	239.90	-468
242.4	242.40	-469
244.9	244.90	-461
247.4	247.40	-465
249.9	249.90	-466
252.4	252.40	-467
254.9	254.90	-458
257.4	257.40	-459
259.9	259.90	-460
262.4	262.40	-457
264.9	264.90	-458
267.4	267.40	-454
269.9	269.90	-454
272.4	272.40	-459
274.9	274.90	-459
277.4	277.40	-460
279.9	279.90	-460

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
282.4	282.40	-462
284.9	284.90	-461
287.4	287.40	-454
289.9	289.90	-462
292.4	292.40	-461
294.9	294.90	-466
297.4	297.40	-460

Drain 3



LPMH – HOOGTE / ZETTINGSMETING

Opdrachtgever : Hoogtemeting bepalen van drainleiding
Project : Godlinze
Locatie : Hoodwarsweg
Leidingnummer : Drain 4
Sectie :

Metingnummer : 2006M007

Meetinterval : 2.5 m
Leidinglengte : 236.2 m
Leidingdiameter : 60 mm
Soort leiding : HDPE
Leiding gespoeld : Nee

Type meetunit : LPMH-C-005
Druksensor : PS-004

Opmerkingen : Gemeten luchttemperatuur op ongeveer 2m onder
maaiveld (naast drain): 6.4 °C .

Alle hoogtematen betreffen de binnenonderkant van de leiding.

Datum : 7-1-2021

Operator: D.J. Groen

Inventec bv

Postbus 497, 8070 AL Nunspeet

0341-274470

info@inventec.nl

www.inventec.nl

Hoogtemeting bepalen van drainleiding

Godlinze

Hoodwarsweg

Leidingnummer: Drain 4
Meting: 2006M007
Datum: 7-1-2021
Referentie: piket
Referentiehoogte: 1045 mm+NAP
Hoogte b.o.b. leiding: -506 mm+NAP
Verschil referentie - b.o.b.: 1551 mm

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
-----------------------	--------------------	--------------------

0.0	0.0	-506
1.2	1.20	-493
3.7	3.70	-491
6.2	6.20	-491
8.7	8.70	-500
11.2	11.20	-504
13.7	13.70	-501
16.2	16.20	-499
18.7	18.70	-490
21.2	21.20	-500
23.7	23.70	-502
26.2	26.20	-498
28.7	28.70	-498
31.2	31.20	-490
33.7	33.70	-488
36.2	36.20	-494
38.7	38.70	-492
41.2	41.20	-495
43.7	43.70	-504
46.2	46.20	-497

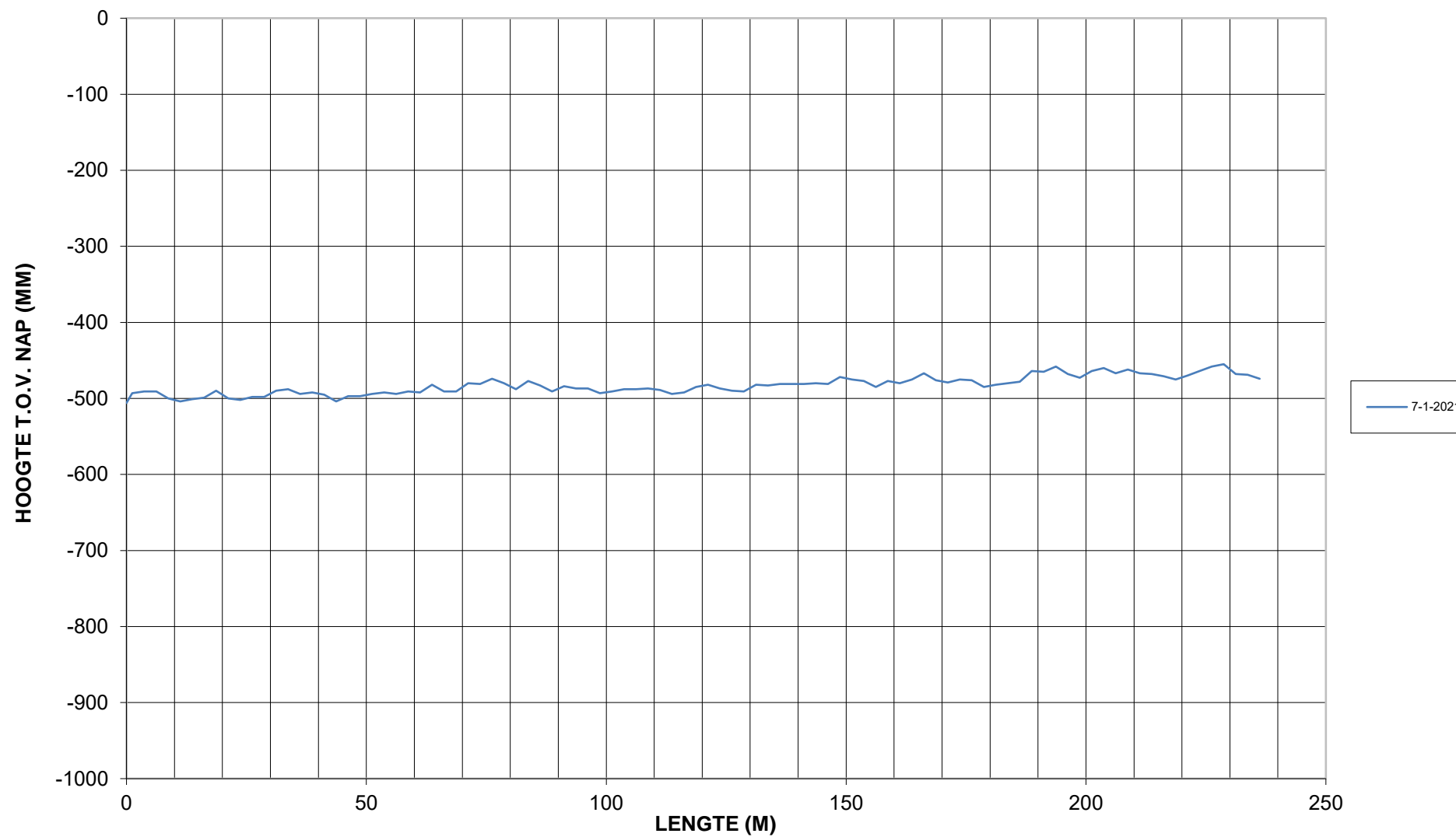
Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
48.7	48.70	-497
51.2	51.20	-494
53.7	53.70	-492
56.2	56.20	-494
58.7	58.70	-491
61.2	61.20	-492
63.7	63.70	-482
66.2	66.20	-491
68.7	68.70	-491
71.2	71.20	-480
73.7	73.70	-481
76.2	76.20	-474
78.7	78.70	-480
81.2	81.20	-488
83.7	83.70	-477
86.2	86.20	-483
88.7	88.70	-491
91.2	91.20	-484
93.7	93.70	-487
96.2	96.20	-487
98.7	98.70	-493
101.2	101.20	-491
103.7	103.70	-488
106.2	106.20	-488
108.7	108.70	-487
111.2	111.20	-489
113.7	113.70	-494
116.2	116.20	-492
118.7	118.70	-485
121.2	121.20	-482
123.7	123.70	-487

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
126.2	126.20	-490
128.7	128.70	-491
131.2	131.20	-482
133.7	133.70	-483
136.2	136.20	-481
138.7	138.70	-481
141.2	141.20	-481
143.7	143.70	-480
146.2	146.20	-481
148.7	148.70	-472
151.2	151.20	-475
153.7	153.70	-477
156.2	156.20	-485
158.7	158.70	-477
161.2	161.20	-480
163.7	163.70	-475
166.2	166.20	-467
168.7	168.70	-476
171.2	171.20	-479
173.7	173.70	-475
176.2	176.20	-476
178.7	178.70	-485
181.2	181.20	-482
183.7	183.70	-480
186.2	186.20	-478
188.7	188.70	-464
191.2	191.20	-465
193.7	193.70	-458
196.2	196.20	-468
198.7	198.70	-473
201.2	201.20	-464

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
-----------------------	--------------------	--------------------

203.7	203.70	-460
206.2	206.20	-467
208.7	208.70	-462
211.2	211.20	-467
213.7	213.70	-468
216.2	216.20	-471
218.7	218.70	-475
221.2	221.20	-470
223.7	223.70	-464
226.2	226.20	-458
228.7	228.70	-455
231.2	231.20	-468
233.7	233.70	-469
236.2	236.20	-474

Drain 4



LPMH – HOOGTE / ZETTINGSMETING

Opdrachtgever : Hoogtemeting bepalen van drainleiding
Project : Godlinze
Locatie : Hoodwarsweg
Leidingnummer : Drain 6
Sectie :

Metingnummer : 2006M004

Meetinterval : 2.5 m
Leidinglengte : 236.3 m
Leidingdiameter : 60 mm
Soort leiding : HDPE
Leiding gespoeld : Nee

Type meetunit : LPMH-C-005
Druksensor : PS-004

Opmerkingen : Gemeten luchttemperatuur op ongeveer 2m onder
maaiveld (naast drain): 6.9 °C .

Alle hoogtematen betreffen de binnenonderkant van de leiding.

Datum : 7-1-2021

Operator: D.J. Groen

Inventec bv

Postbus 497, 8070 AL Nunspeet

0341-274470

info@inventec.nl

www.inventec.nl

Hoogtemeting bepalen van drainleiding

Godlinze

Hoodwarsweg

Leidingnummer: Drain 6
Meting: 2006M004
Datum: 7-1-2021
Referentie: piket
Referentiehoogte: 710 mm+NAP
Hoogte b.o.b. leiding: -577 mm+NAP
Verschil referentie - b.o.b.: 1287 mm

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
-----------------------	--------------------	--------------------

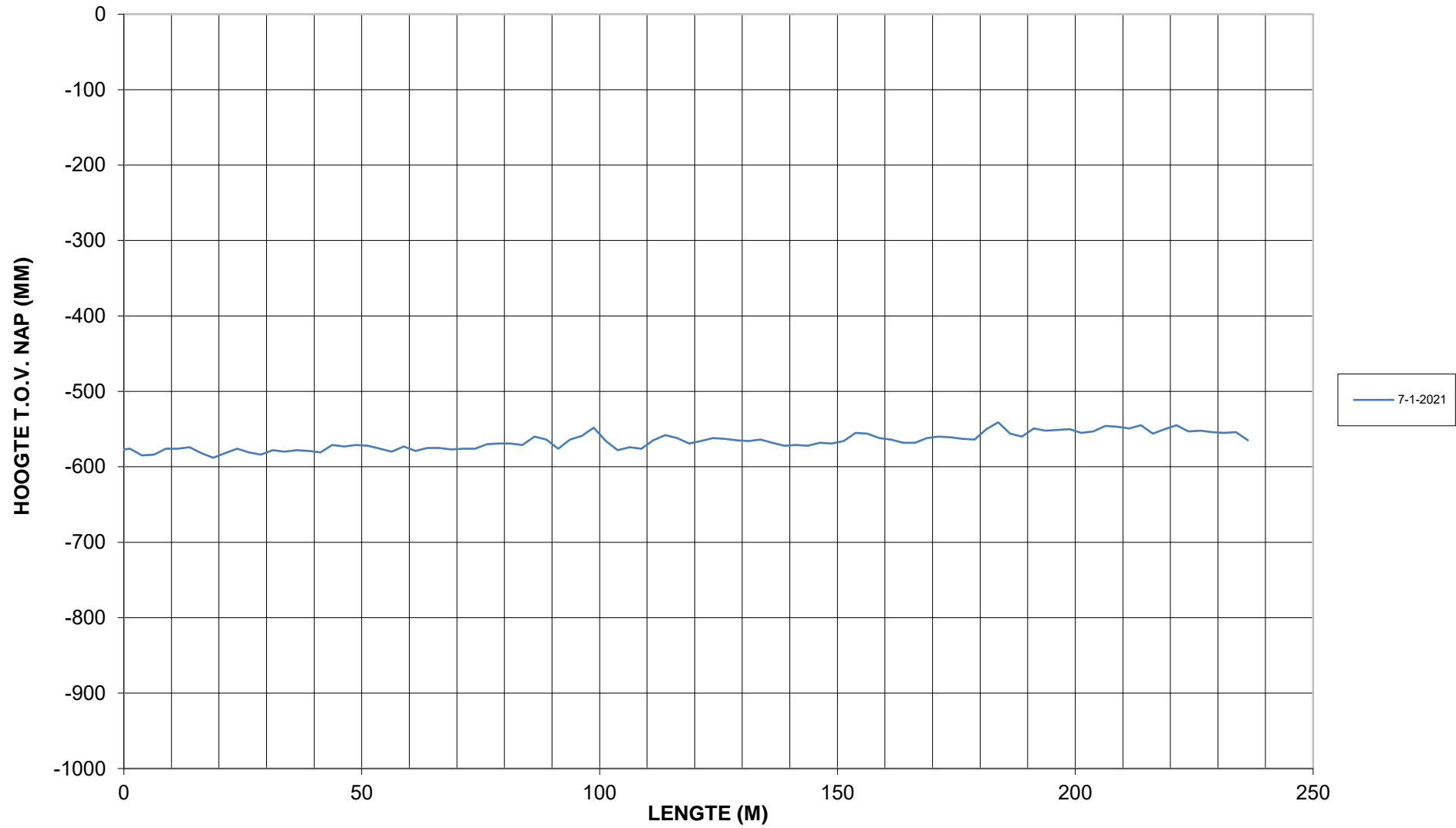
0.0	0.0	-577
1.3	1.30	-576
3.8	3.80	-585
6.3	6.30	-584
8.8	8.80	-576
11.3	11.30	-576
13.8	13.80	-574
16.3	16.30	-582
18.8	18.80	-588
21.3	21.30	-582
23.8	23.80	-576
26.3	26.30	-581
28.8	28.80	-584
31.3	31.30	-578
33.8	33.80	-580
36.3	36.30	-578
38.8	38.80	-579
41.3	41.30	-581
43.8	43.80	-571
46.3	46.30	-573

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
48.8	48.80	-571
51.3	51.30	-572
53.8	53.80	-576
56.3	56.30	-580
58.8	58.80	-573
61.3	61.30	-579
63.8	63.80	-575
66.3	66.30	-575
68.8	68.80	-577
71.3	71.30	-576
73.8	73.80	-576
76.3	76.30	-570
78.8	78.80	-569
81.3	81.30	-569
83.8	83.80	-571
86.3	86.30	-560
88.8	88.80	-564
91.3	91.30	-576
93.8	93.80	-564
96.3	96.30	-559
98.8	98.80	-548
101.3	101.30	-566
103.8	103.80	-578
106.3	106.30	-574
108.8	108.80	-576
111.3	111.30	-565
113.8	113.80	-558
116.3	116.30	-562
118.8	118.80	-569
121.3	121.30	-566
123.8	123.80	-562

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
126.3	126.30	-563
128.8	128.80	-565
131.3	131.30	-566
133.8	133.80	-564
136.3	136.30	-568
138.8	138.80	-572
141.3	141.30	-571
143.8	143.80	-572
146.3	146.30	-568
148.8	148.80	-569
151.3	151.30	-566
153.8	153.80	-555
156.3	156.30	-556
158.8	158.80	-562
161.3	161.30	-564
163.8	163.80	-568
166.3	166.30	-568
168.8	168.80	-562
171.3	171.30	-560
173.8	173.80	-561
176.3	176.30	-563
178.8	178.80	-564
181.3	181.30	-550
183.8	183.80	-541
186.3	186.30	-556
188.8	188.80	-560
191.3	191.30	-549
193.8	193.80	-552
196.3	196.30	-551
198.8	198.80	-550
201.3	201.30	-555

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
203.8	203.80	-553
206.3	206.30	-546
208.8	208.80	-547
211.3	211.30	-549
213.8	213.80	-545
216.3	216.30	-556
218.8	218.80	-550
221.3	221.30	-545
223.8	223.80	-553
226.3	226.30	-552
228.8	228.80	-554
231.3	231.30	-555
233.8	233.80	-554
236.3	236.30	-565

Drain 6



LPMH – HOOGTE / ZETTINGSMETING

Opdrachtgever : Hoogtemeting bepalen van drainleiding
Project : Godlinze
Locatie : Hoodwarsweg
Leidingnummer : Drain R7
Sectie :

Metingnummer : 2006M005

Meetinterval : 2.5 m
Leidinglengte : 164.4 m
Leidingdiameter : 60 mm
Soort leiding : HDPE
Leiding gespoeld : Nee

Type meetunit : LPMH-C-005
Druksensor : PS-004

Opmerkingen : Gemeten luchttemperatuur op ongeveer 2m onder
maaiveld (naast drain): 6.2 °C .

Alle hoogtematen betreffen de binnenonderkant van de leiding.

Datum : 7-1-2021

Operator: D.J. Groen

Inventec bv

Postbus 497, 8070 AL Nunspeet

0341-274470

info@inventec.nl

www.inventec.nl

Hoogtemeting bepalen van drainleiding

Godlinze

Hoodwarsweg

Leidingnummer: Drain R7
Meting: 2006M005
Datum: 7-1-2021
Referentie: piket
Referentiehoogte: 1016 mm+NAP
Hoogte b.o.b. leiding: -574 mm+NAP
Verschil referentie - b.o.b.: 1590 mm

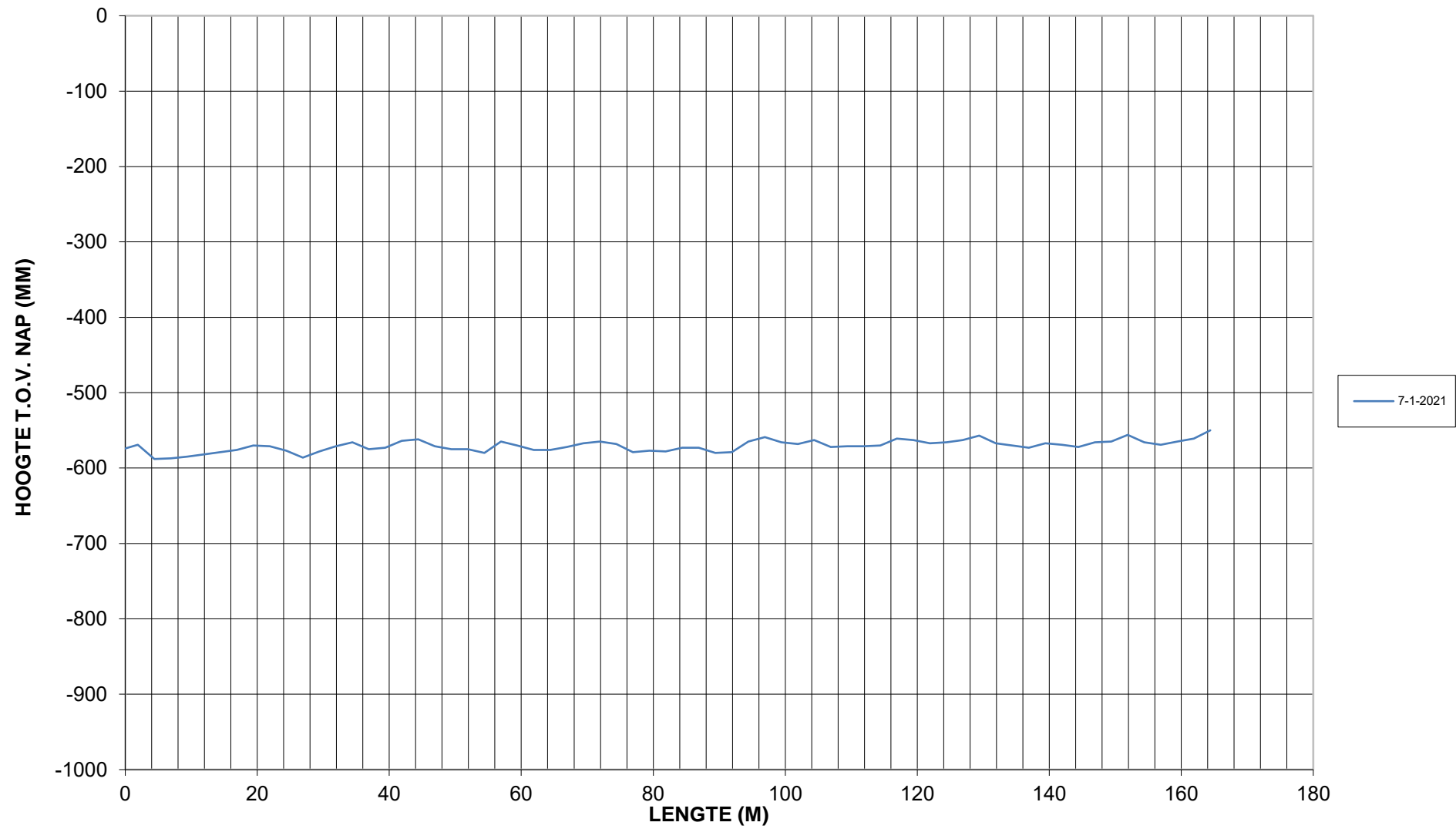
Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
0.0	0.0	-574
1.9	1.90	-569
4.4	4.40	-588
6.9	6.90	-587
9.4	9.40	-585
11.9	11.90	-582
14.4	14.40	-579
16.9	16.90	-576
19.4	19.40	-570
21.9	21.90	-571
24.4	24.40	-577
26.9	26.90	-586
29.4	29.40	-578
31.9	31.90	-571
34.4	34.40	-566
36.9	36.90	-575
39.4	39.40	-573
41.9	41.90	-564
44.4	44.40	-562
46.9	46.90	-571

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
49.4	49.40	-575
51.9	51.90	-575
54.4	54.40	-580
56.9	56.90	-565
59.4	59.40	-570
61.9	61.90	-576
64.4	64.40	-576
66.9	66.90	-572
69.4	69.40	-567
71.9	71.90	-565
74.4	74.40	-568
76.9	76.90	-579
79.4	79.40	-577
81.9	81.90	-578
84.4	84.40	-573
86.9	86.90	-573
89.4	89.40	-580
91.9	91.90	-579
94.4	94.40	-565
96.9	96.90	-559
99.4	99.40	-566
101.9	101.90	-568
104.4	104.40	-563
106.9	106.90	-572
109.4	109.40	-571
111.9	111.90	-571
114.4	114.40	-570
116.9	116.90	-561
119.4	119.40	-563
121.9	121.90	-567
124.4	124.40	-566

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
-----------------------	--------------------	--------------------

126.9	126.90	-563
129.4	129.40	-557
131.9	131.90	-567
134.4	134.40	-570
136.9	136.90	-573
139.4	139.40	-567
141.9	141.90	-569
144.4	144.40	-572
146.9	146.90	-566
149.4	149.40	-565
151.9	151.90	-556
154.4	154.40	-566
156.9	156.90	-569
159.4	159.40	-565
161.9	161.90	-561
164.4	164.40	-550

Drain R7



LPMH – HOOGTE / ZETTINGSMETING

Opdrachtgever : Hoogtemeting bepalen van drainleiding
Project : Godlinze
Locatie : Hoodwarsweg
Leidingnummer : Drain 8
Sectie :

Metingnummer : 2006M006

Meetinterval : 2.5 m
Leidinglengte : 293.5 m
Leidingdiameter : 60 mm
Soort leiding : HDPE
Leiding gespoeld : Nee

Type meetunit : LPMH-C-005
Druksensor : PS-004

Opmerkingen : Gemeten luchttemperatuur op ongeveer 2m onder
maaiveld (naast drain): 6.4 °C .

Alle hoogtematen betreffen de binnenonderkant van de leiding.

Datum : 7-1-2021

Operator: D.J. Groen

Inventec bv

Postbus 497, 8070 AL Nunspeet

0341-274470

info@inventec.nl

www.inventec.nl

Hoogtemeting bepalen van drainleiding

Godlinze

Hoodwarsweg

Leidingnummer: Drain 8
Meting: 2006M006
Datum: 7-1-2021
Referentie: piket
Referentiehoogte: 1086 mm+NAP
Hoogte b.o.b. leiding: -512 mm+NAP
Verschil referentie - b.o.b.: 1598 mm

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
-----------------------	--------------------	--------------------

0.0	0.0	-512
1.0	1.00	-495
3.5	3.50	-503
6.0	6.00	-499
8.5	8.50	-495
11.0	11.00	-495
13.5	13.50	-495
16.0	16.00	-495
18.5	18.50	-493
21.0	21.00	-494
23.5	23.50	-495
26.0	26.00	-491
28.5	28.50	-492
31.0	31.00	-496
33.5	33.50	-495
36.0	36.00	-499
38.5	38.50	-503
41.0	41.00	-496
43.5	43.50	-504
46.0	46.00	-493

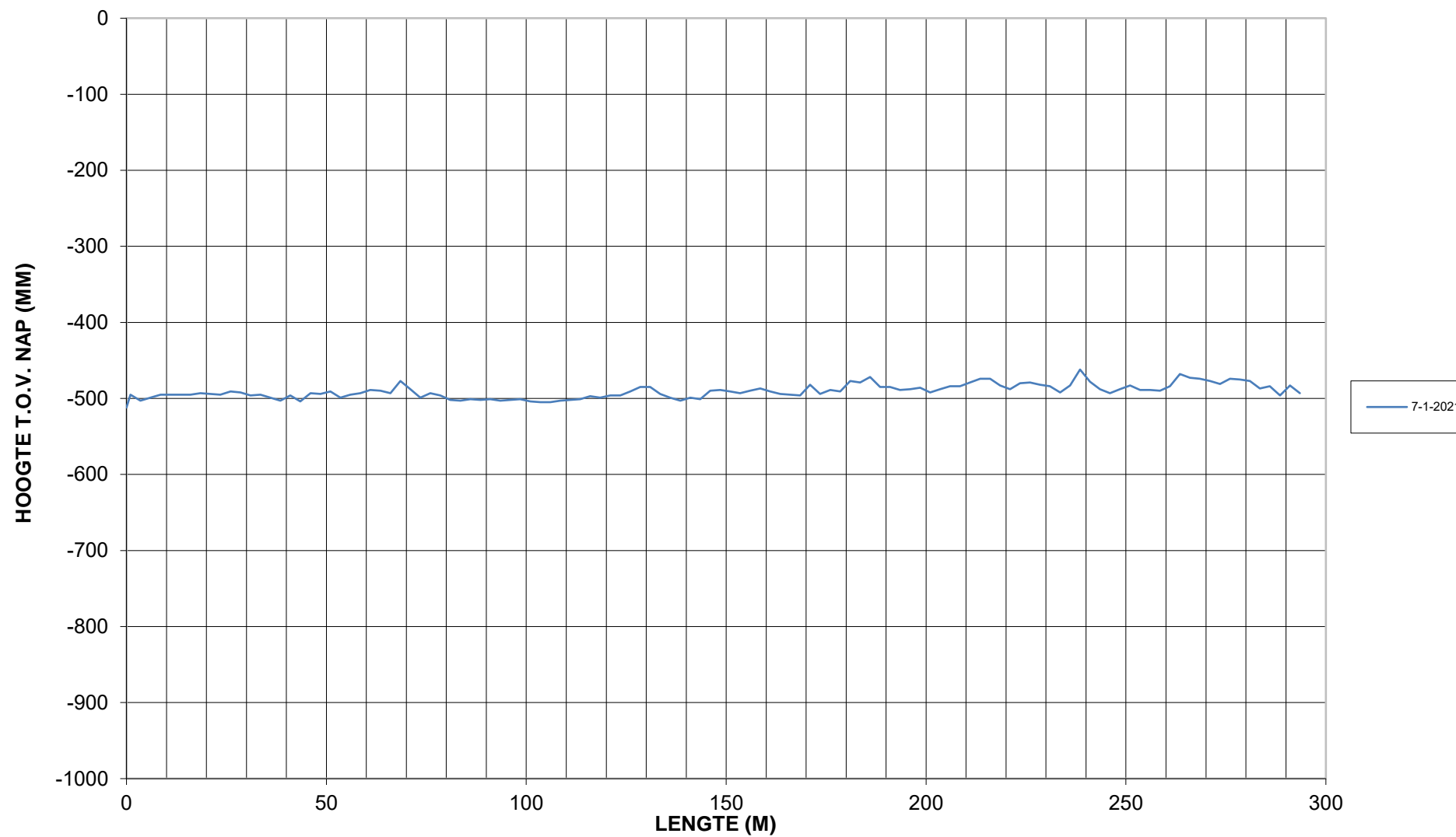
Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
48.5	48.50	-494
51.0	51.00	-491
53.5	53.50	-499
56.0	56.00	-495
58.5	58.50	-493
61.0	61.00	-489
63.5	63.50	-490
66.0	66.00	-493
68.5	68.50	-477
71.0	71.00	-488
73.5	73.50	-499
76.0	76.00	-493
78.5	78.50	-496
81.0	81.00	-502
83.5	83.50	-503
86.0	86.00	-501
88.5	88.50	-502
91.0	91.00	-501
93.5	93.50	-503
96.0	96.00	-502
98.5	98.50	-501
101.0	101.00	-504
103.5	103.50	-505
106.0	106.00	-505
108.5	108.50	-503
111.0	111.00	-502
113.5	113.50	-501
116.0	116.00	-497
118.5	118.50	-499
121.0	121.00	-496
123.5	123.50	-496

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
126.0	126.00	-491
128.5	128.50	-485
131.0	131.00	-485
133.5	133.50	-494
136.0	136.00	-499
138.5	138.50	-503
141.0	141.00	-499
143.5	143.50	-501
146.0	146.00	-490
148.5	148.50	-489
151.0	151.00	-491
153.5	153.50	-493
156.0	156.00	-490
158.5	158.50	-487
161.0	161.00	-491
163.5	163.50	-494
166.0	166.00	-495
168.5	168.50	-496
171.0	171.00	-482
173.5	173.50	-494
176.0	176.00	-489
178.5	178.50	-491
181.0	181.00	-477
183.5	183.50	-479
186.0	186.00	-472
188.5	188.50	-485
191.0	191.00	-485
193.5	193.50	-489
196.0	196.00	-488
198.5	198.50	-486
201.0	201.00	-492

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
203.5	203.50	-488
206.0	206.00	-484
208.5	208.50	-484
211.0	211.00	-479
213.5	213.50	-474
216.0	216.00	-474
218.5	218.50	-483
221.0	221.00	-488
223.5	223.50	-480
226.0	226.00	-479
228.5	228.50	-482
231.0	231.00	-484
233.5	233.50	-492
236.0	236.00	-483
238.5	238.50	-462
241.0	241.00	-478
243.5	243.50	-488
246.0	246.00	-493
248.5	248.50	-488
251.0	251.00	-483
253.5	253.50	-489
256.0	256.00	-489
258.5	258.50	-490
261.0	261.00	-484
263.5	263.50	-468
266.0	266.00	-473
268.5	268.50	-474
271	271.00	-477
273.5	273.50	-481
276	276.00	-474
278.5	278.50	-475

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
281.0	281.00	-477
283.5	283.50	-487
286	286.00	-484
288.5	288.50	-496
291	291.00	-483
293.5	293.50	-493

Drain 8



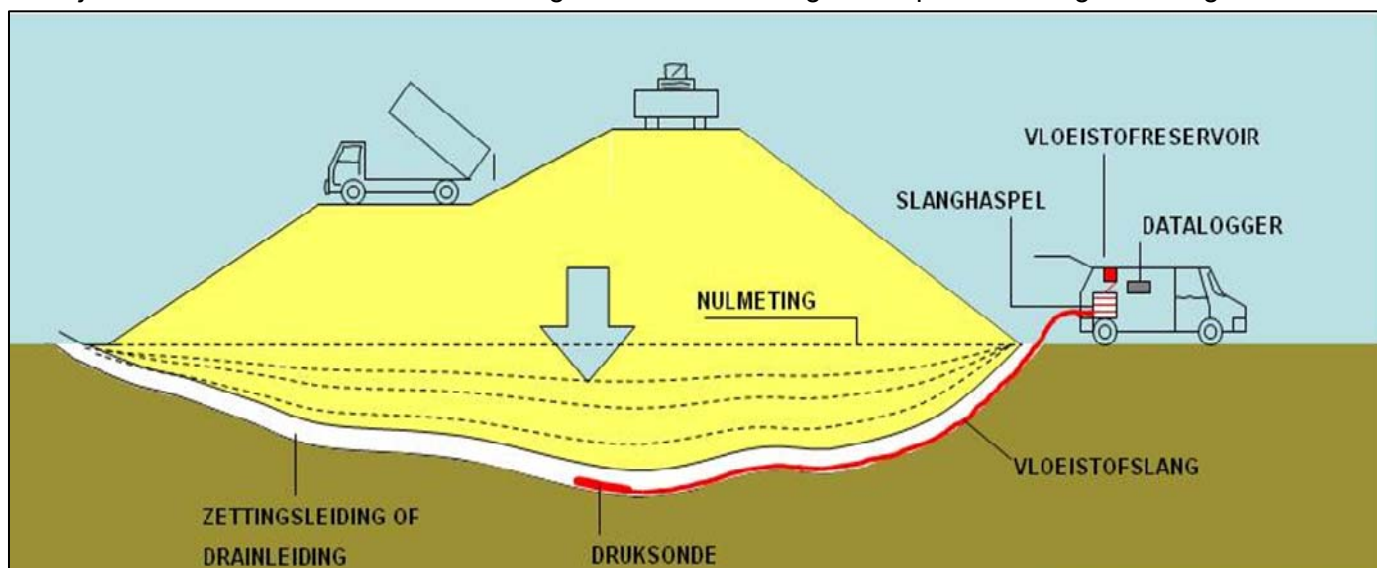


ZETTINGSMETINGEN

- Ophogingen
- Baanlichamen
- Geluidswallen
- Wegfunderingen
- Afvalstortplaatsen
- Ondergrondse pijpleidingen
- Gestuurde boringen
- Riolen

HET LPMH-SYSTEEM

De druksensor in de meetsonde staat via een slang op haspel in verbinding met een eigen vloeistofreservoir. De sonde wordt door de zettings- of drainageleiding getrokken. Door in opeenvolgende punten (met intervallen van b.v. 1,00m) de hydrostatische druk te meten, wordt de relatieve hoogteligging van de leiding bepaald. Door met de sonde tevens een punt in de omgeving op te meten waarvan het NAP-niveau bekend is, wordt het leidingverloop vastgelegd in absolute waarden t.o.v. NAP. Om de vereiste nauwkeurigheid te waarborgen worden de metingen automatisch gecompenseerd voor variaties in temperatuur en atmosferische luchtdruk. Het meetvoertuig is uitgerust met een automatische processor/datalogger zodat het resultaat van een meting desgewenst direct zichtbaar kan worden gemaakt. Door het met tijdsintervallen herhalen van de metingen wordt het zettingsverloop nauwkeurig in kaart gebracht.



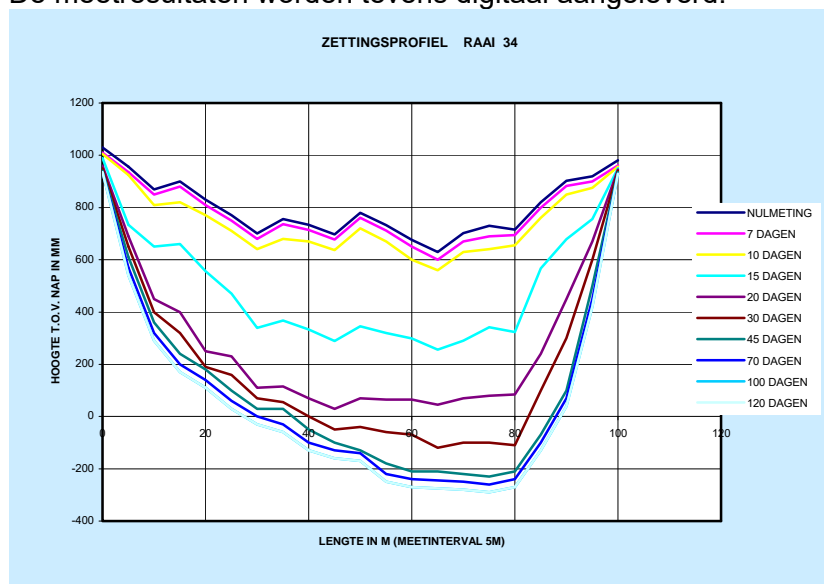
In tegenstelling tot andere systemen hoeft de zettingsleiding zelf niet met water gevuld te worden: voor het LPMH-systeem maakt het niet uit of de leiding leegstaat dan wel geheel of gedeeltelijk met water gevuld is. Daarom is het ook mogelijk te meten via drainage-leidingen als die toch al aangelegd moeten worden.

VOORDELEN T.O.V. ZAKBAKEN

- Betrouwbaarder en nauwkeuriger.
- Geen verstoring of beschadiging door grondverzetmachines of andere invloeden van buitenaf.
- Geen puntsgewijze meting, maar integrale monitoring van het zettingsverloop over het gehele langs- of dwarsprofiel.
- Voor ieder willekeurig lengte-meetinterval kan zonder extra moeite een tijd-zettingsdiagram geproduceerd worden. Dit resulteert in een grotere dichtheid c.q. meer keuze in aantal en locatie van tijd-zettingsmetingen.
- Door betere hoogtemeting is het zettingsverloop nauwkeuriger te volgen. Daardoor zijn rest-zettingen beter te voorspellen en is het beter te beoordelen wanneer een eventuele overhoogte kan worden verwijderd.
- De metingen kunnen worden voortgezet na gereedkomen van het werk.

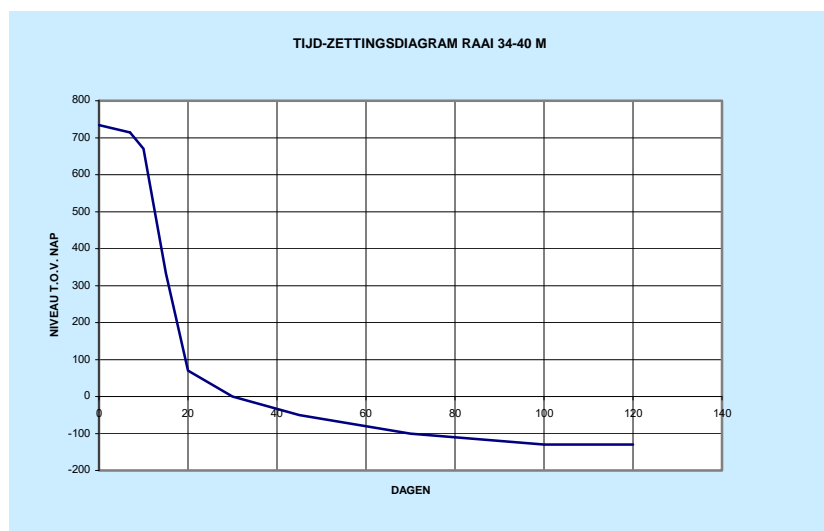
MEETRAPPORAGAGE

Per doorgemeten profiel of raai wordt de rapportage opgeleverd in de vorm van tabellen, grafisch weergegeven hoogteprofiel en tijdzettingsdiagrammen voor de door opdrachtgever geselecteerde punten. De meetresultaten worden tevens digitaal aangeleverd.



HOOGTEPROFIEL

De successievelijk opgemeten hoogteprofielen worden per raai in één grafiek gepresenteerd. Dit geeft een duidelijk beeld van het zettingsverloop over de gehele lengte van elke raai. In het hier getoonde voorbeeld is gemeten met een lengte-interval van 5 meter. Het lengte-interval kan naar de wens van de opdrachtgever gekozen worden.



TIJD-ZETTINGSDIAGRAM

Voor elk willekeurig meetinterval langs het hoogteprofiel kan een tijd-zettingsdiagram geproduceerd worden. In het voorbeeld hiernaast is dat het punt op 40m van het afstands-nulpunt in raai 34. Als de metingen over langere tijd worden voortgezet wordt de tijdas in logaritmische schaal weergegeven. Dit kan b.v. het geval zijn als de metingen na gereedkoming van het werk moeten worden voortgezet om de restzettingen te bepalen.

BETROUWBAAR EN NAUWKEURIG

- De LPHM-unit werkt geheel autonoom op basis van zijn eigen vloeistofinhoud. Of de leiding met water gevuld is of leeg staat maakt niets uit. Het voordeel daarvan is dat ook gemeten kan worden via (b.v.) drainageleidingen als die toch al aangelegd worden.
- De sensor stopt op elk meetinterval. Dus geen vertekening van de meetresultaten door dynamische invloeden.
- De hoogteligging wordt gemeten met een nauwkeurigheid van enkele millimeters.

EEN BEPROEFD CONCEPT

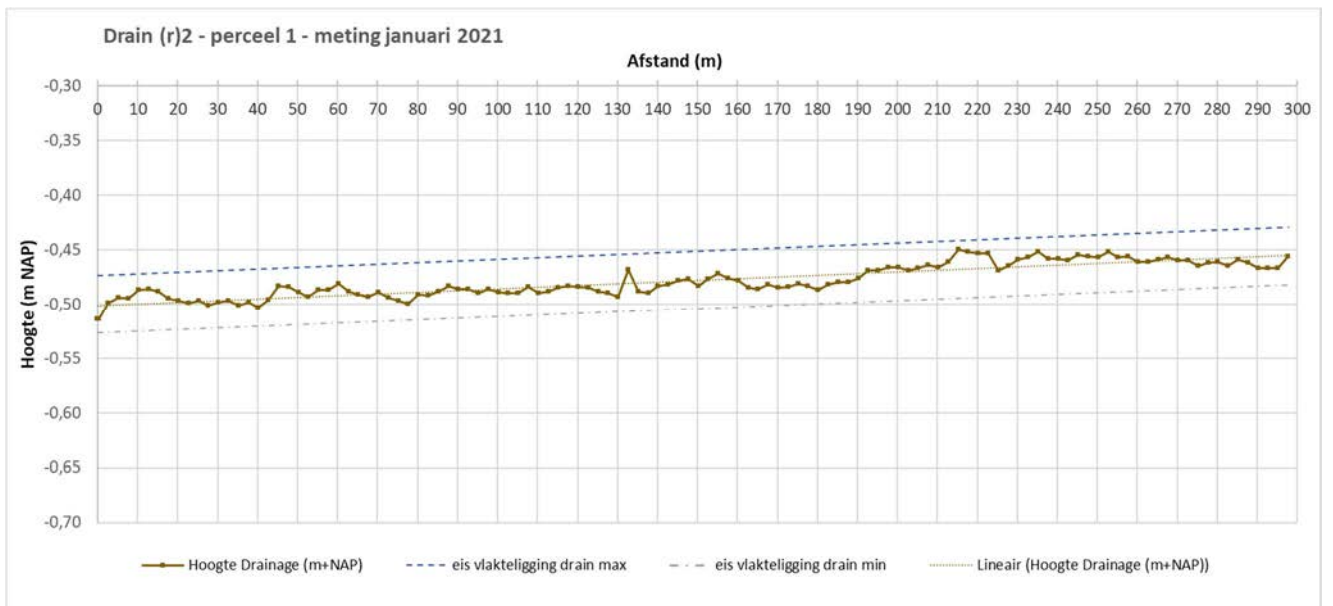
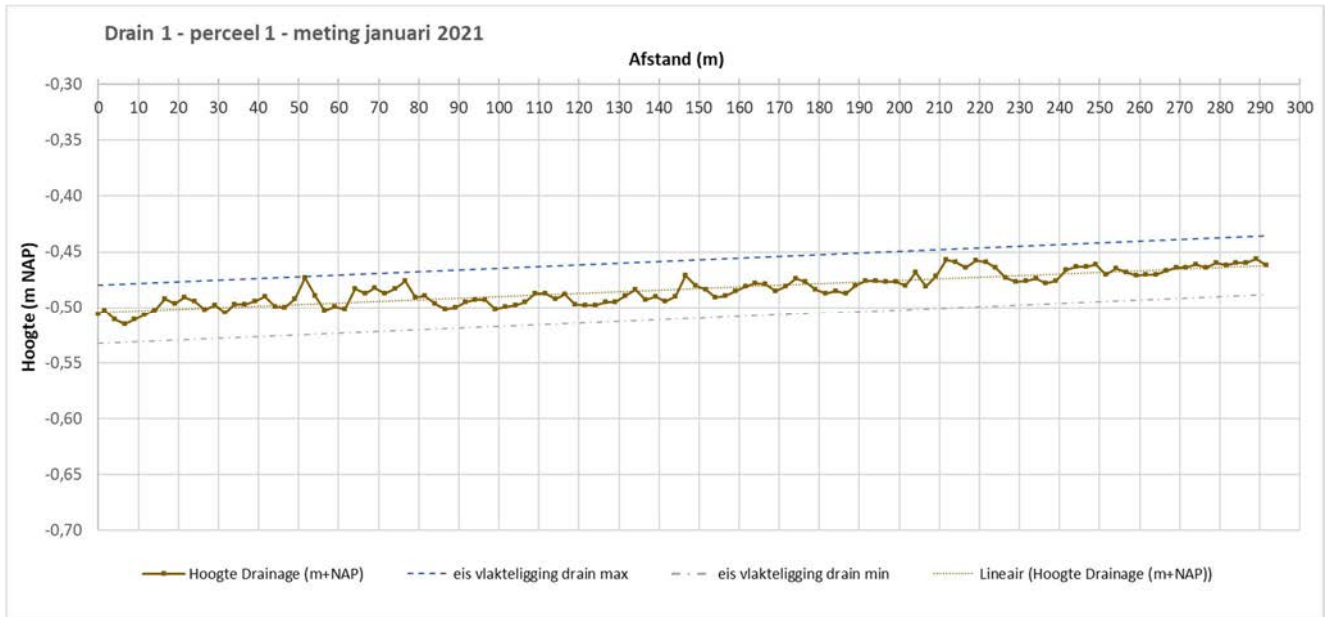
Het LPMH-systeem heeft zich in de praktijk al ruimschoots bewezen door de talloze metingen die wij inmiddels uitgevoerd hebben op infrastructurele projecten, in de leiding- en riooltechniek en op afvalstortplaatsen.

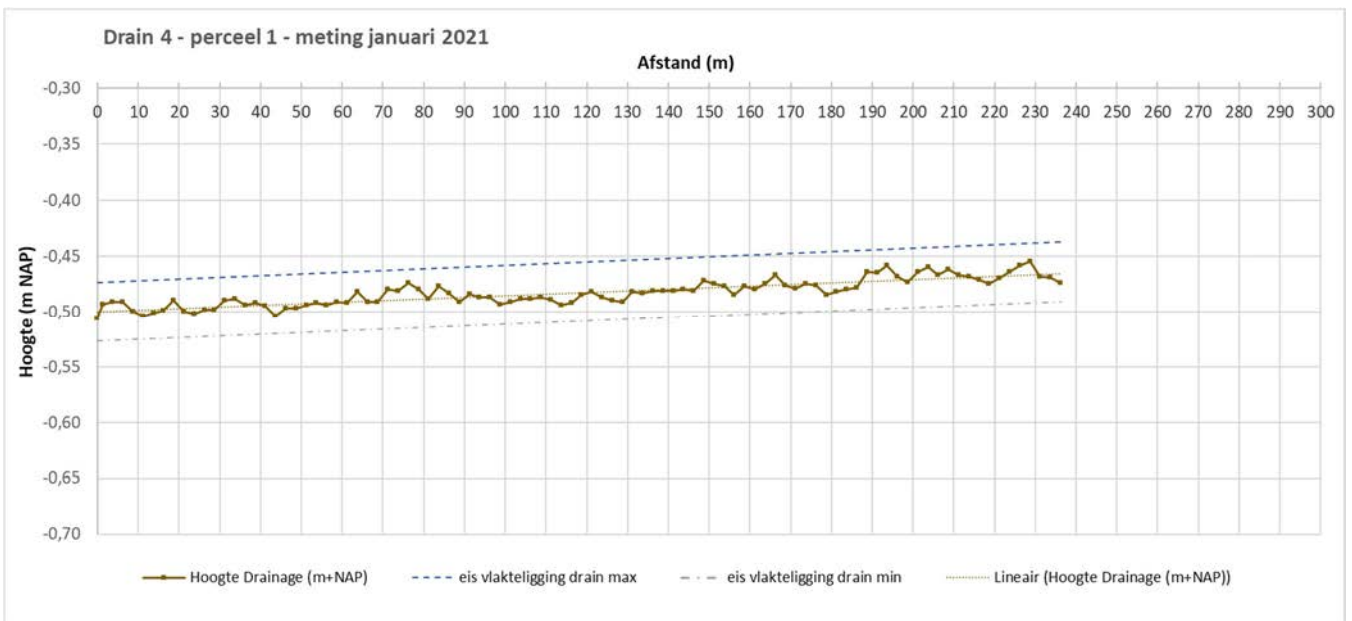
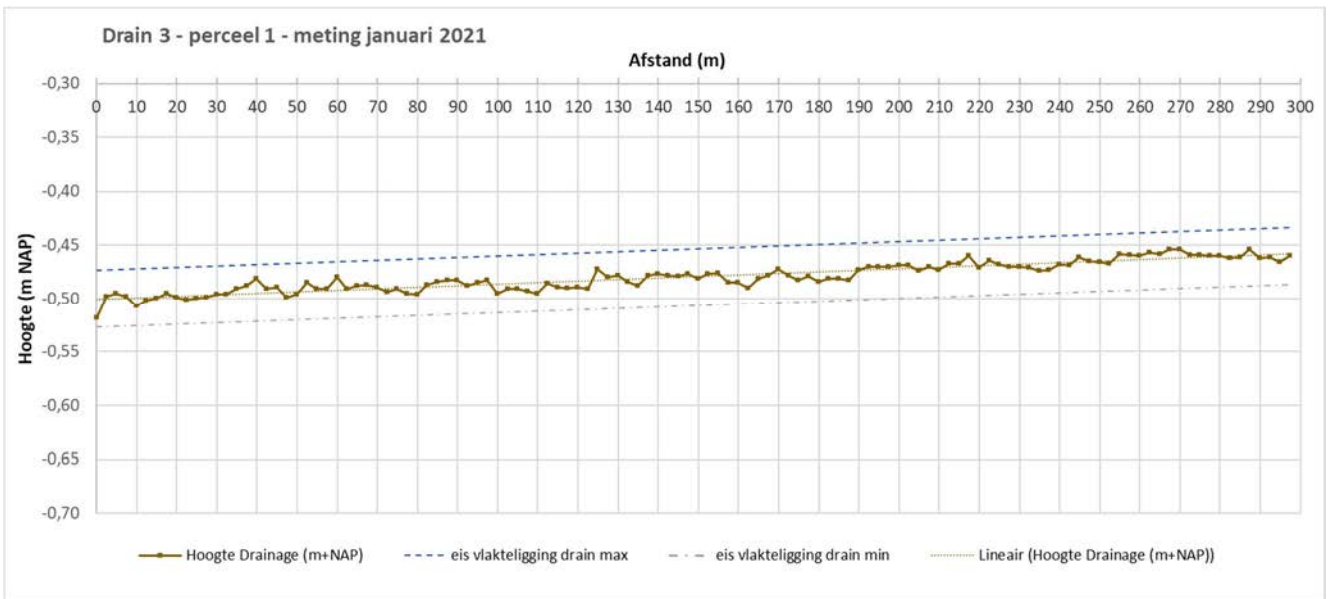


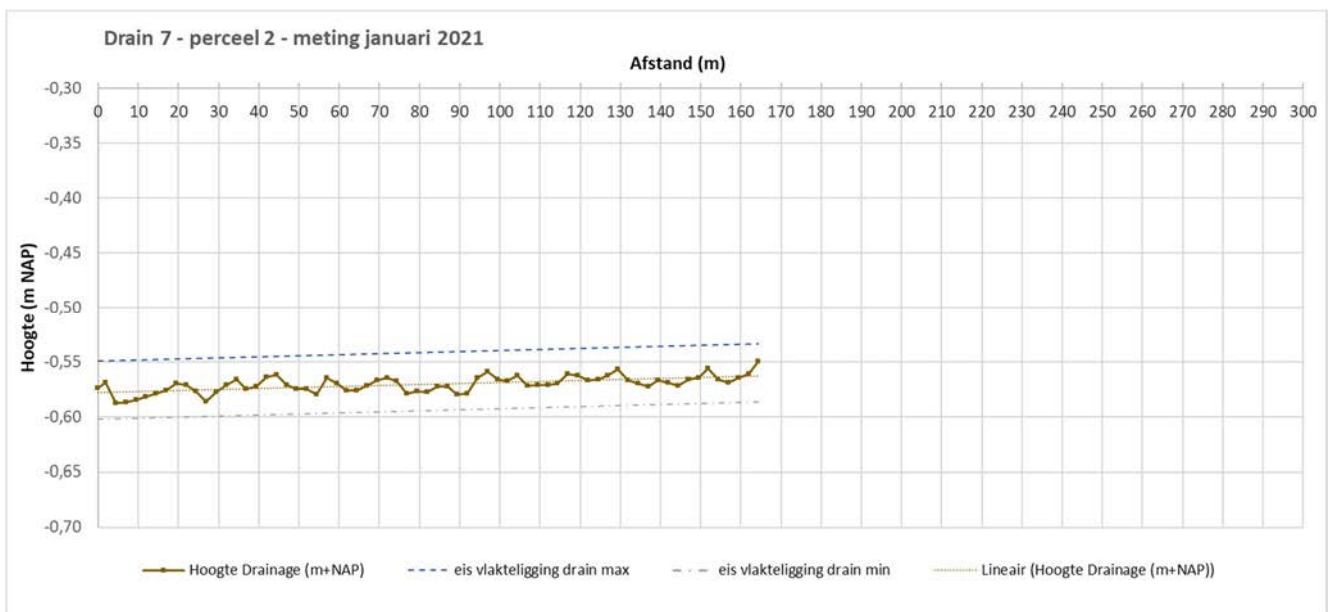
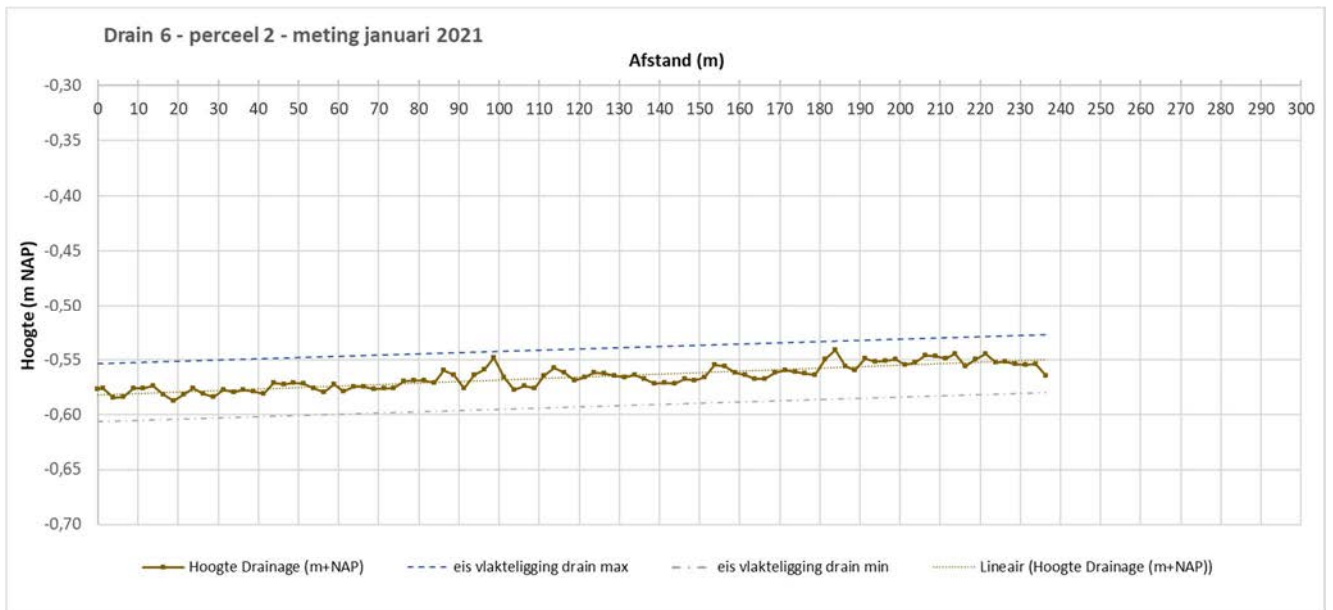
 **inventec b.v.**

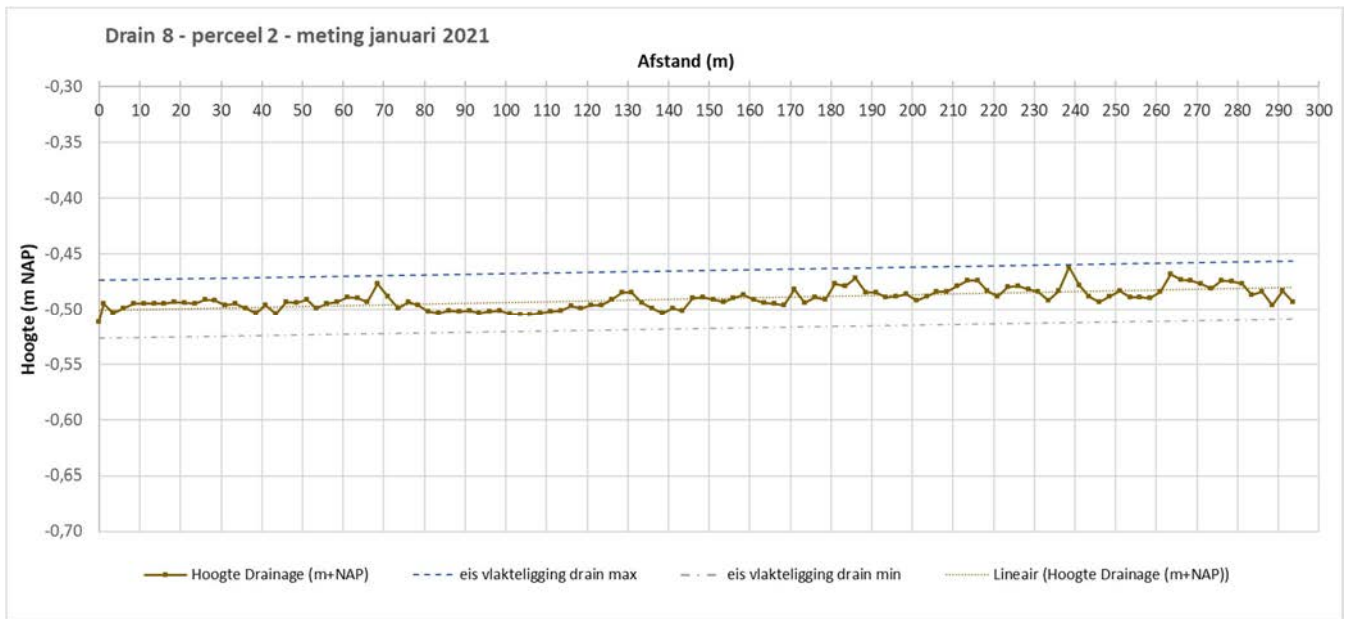
Postbus 497 Tel. +31-341-274470
8070 AL Nunspeet Fax. +31-341-274471
Nederland
Email: info@inventec.nl
Internet: www.inventec.nl

Bijlage 10 Beoordeling vlakteligging en risico op luchtinsluiting
drainage Godlinze









Bijlage 11 Resultaten vlakteligging drainagemetingen
Loppersum

Meting hoogteligging drainageleidingen

Opdrachtgever Sweco Nederland B.V.
Locatie Loppersum
Onderdeel Hoogteligging drainage
Datum meting 31-03-2021 & 01-04-2021

Projectnummer 2106313000
Documentnummer 2106313502
Revisie 1
Datum rapportage 19-04-2021
Opgesteld door D.J. Groen
Gecontroleerd door R.J. Willeman



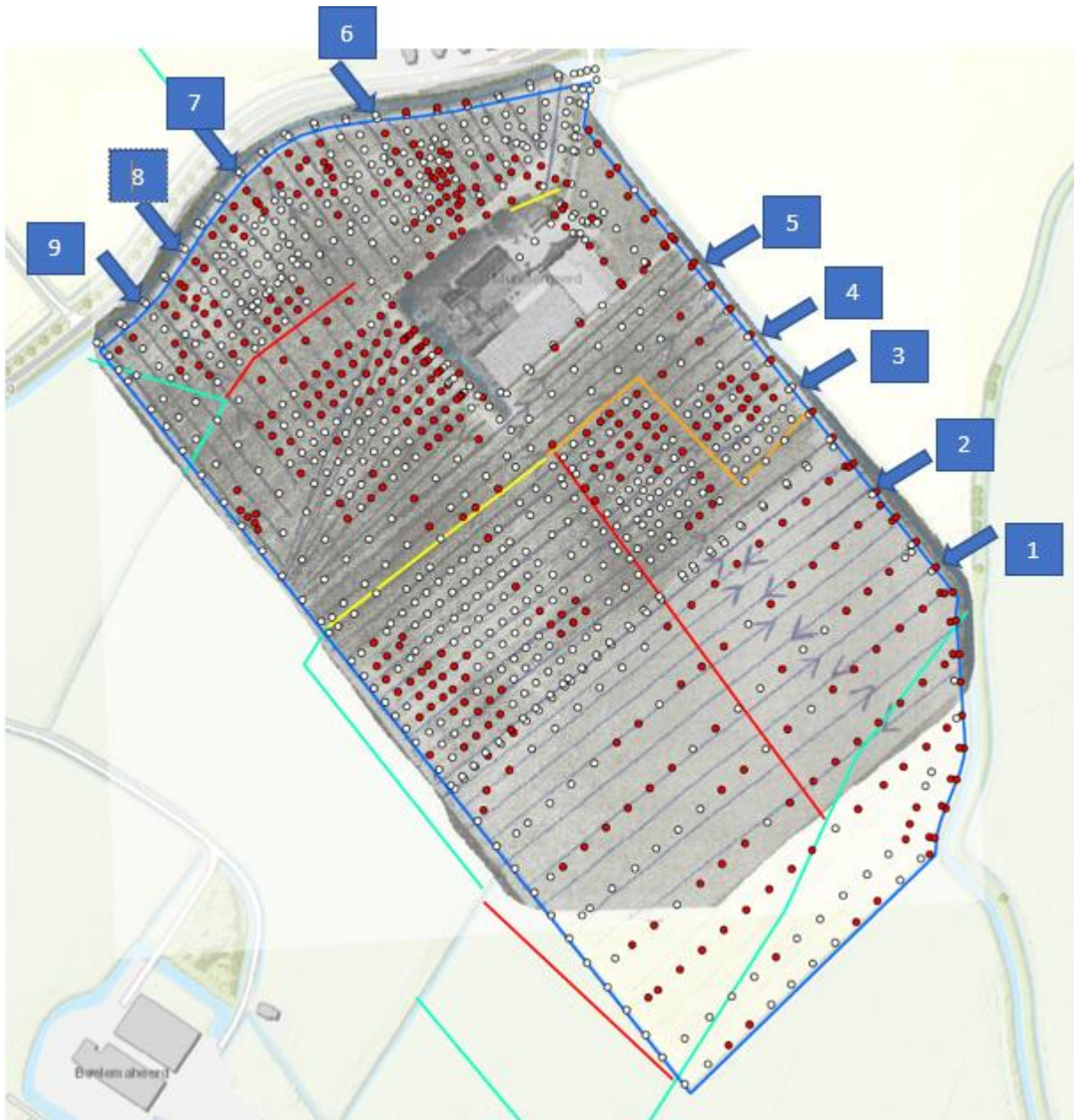
Galvaniweg 11
Postbus 497
8070 AL Nunspeet
T 0341-274470
F 0341-274471
E info@inventec.nl
W www.inventec.nl

Inleiding

Op 31 maart en 1 april heeft Inventec met het LPMH-meetsysteem de hoogteligging (lengteprofiel) van 9 drainageleidingen bepaald, met als doel voor de opdrachtgever om inzicht te krijgen in de mogelijke effecten van aardbevingen op landbouwdrainage.

Uitgangspunten

1. Het lengte-meetinterval van de meting van alle leidingen bedraagt 2.5 meter;
2. Als NAP-referentie is een piket gebruikt;
3. Dit rapport bevat per leiding een alfanumerieke en grafische presentatie van de meetresultaten;
4. De drainageleidingen zijn gemeten voor zover de meetsonde in de leiding kon worden gebracht;
5. Bij het invoeren van de meetsonde in leiding 5 is de leiding geknikt. De uitgelezen meetwaarden waren vervolgens dusdanig afwijkend dat deze onbetrouwbaar worden geacht en niet in deze rapportage zijn opgenomen;
6. Leidingen 1 extra en 2 extra zijn op aangeven van Jaap de Wit van Sweco in het veld bepaald. De coördinaten zijn 244487.891; 593997.175 (leiding 1 extra) en 244452.754; 594041.364 (leiding 2 extra);
7. Bij leidingen 2 (extra), 4 en 8 zijn in een boring de grondtemperaturen gemeten met behulp van een PT-100 thermokoppel met uitleesunit (nauwkeurigheid: -200°C tot $800^{\circ}\text{C} \pm 0,05\%$ van de meetwaarde plus $0,5^{\circ}\text{C}$). De grondtemperatuur is niet van invloed op de gemeten hoogtes omdat de sensor hiervoor gecompenseerd is.
8. Nadere informatie over het LPMH systeem is opgenomen als bijlage;
9. De locatie is weergegeven in onderstaande figuur;
10. De wijzingen ten opzichte van revisie 0 zijn de NAP-hoogtes van referenties van leidingen 8 en 9.



Figuur 1: Locatie overzicht

LPMH – HOOGTE / ZETTINGSMETING

Opdrachtgever : Sweco Nederland B.V.
Project : Hoogtemeting drainageleidingen
Locatie : Stedumerweg 1, Loppersum
Leidingnummer : 1
Sectie : -

Metingnummer : 2106M042

Meetinterval : 2.5 m
Leidinglengte : 81.9
Leidingdiameter : 60 mm
Soort leiding : Drainage
Leiding gespoeld : Ja

Type meetunit : LPMH-C-005
Druksensor : PS-004

Opmerkingen : Sensor handmatig ingevoerd.

ALLE HOOGTEMATEN BETREFFEN DE BINNENONDERKANT VAN DE LEIDING.

Datum: 31-03-2021

Operator: D.J. Groen

INVENTEC B.V.

POSTBUS 497, 8070 AL NUNSPEET
TEL. 0341-274470 FAX. 0341-274471

info@inventec.nl

www.inventec.nl

Hoogtemeting drainageleidingen
Sweco Nederland B.V.
Stedumerweg 1, Loppersum

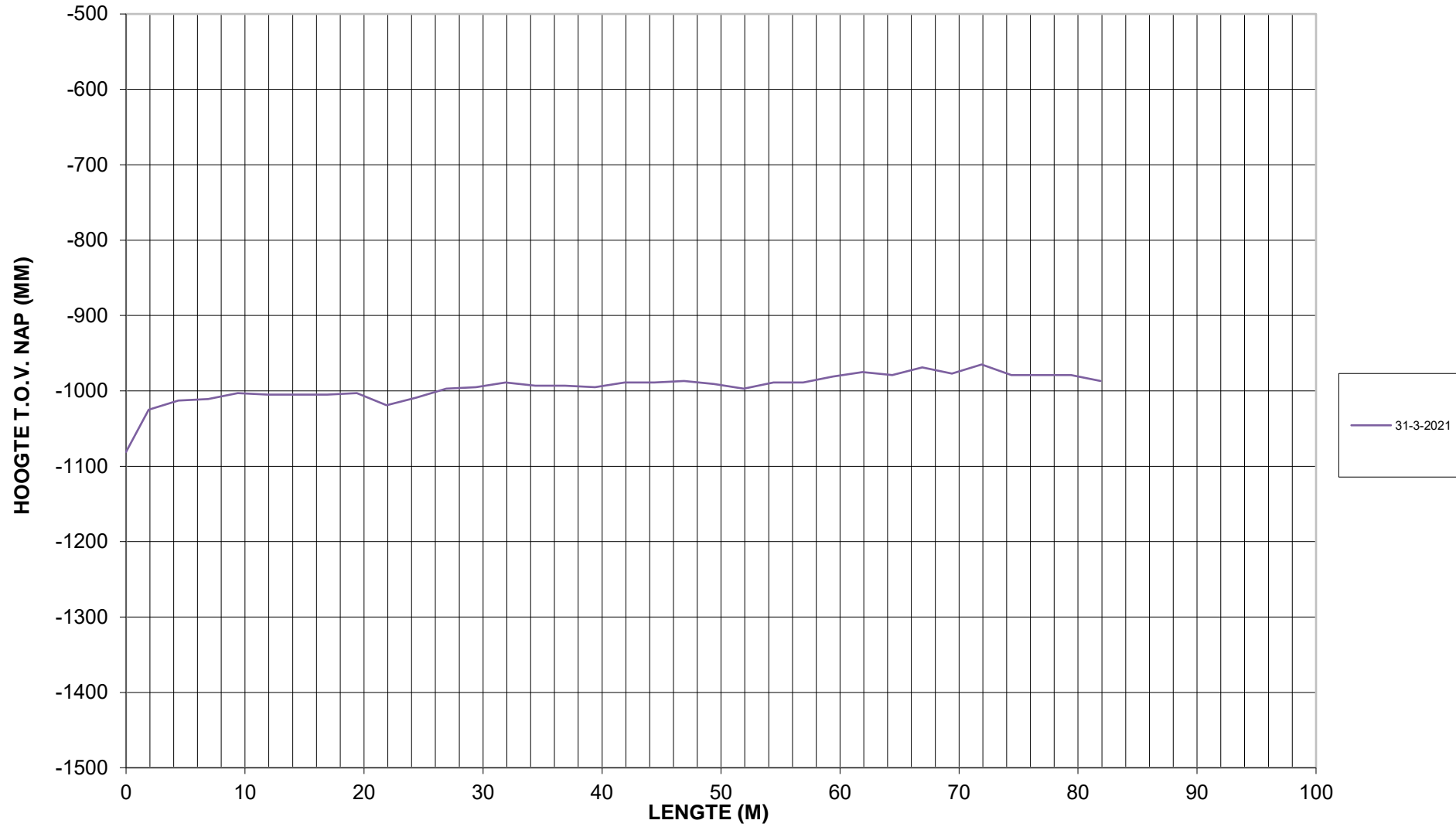
Leidingnummer 1
Meting: 2106M042
Datum: 31-3-2021
Referentie: piket
Referentiehoogte: -187 mm+NAP
Hoogte b.o.b. leiding: -1081 mm+NAP
Verschil referentie - b.o.b.: 894 mm

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
-----------------------	--------------------	--------------------

0.00	0.00	-1081
1.90	1.90	-1025
4.40	4.40	-1013
6.90	6.90	-1011
9.40	9.40	-1003
11.90	11.90	-1005
14.40	14.40	-1005
16.90	16.90	-1005
19.40	19.40	-1003
21.90	21.90	-1019
24.40	24.40	-1009
26.90	26.90	-997
29.40	29.40	-995
31.90	31.90	-989
34.40	34.40	-993
36.90	36.90	-993
39.40	39.40	-995
41.90	41.90	-989
44.40	44.40	-989
46.90	46.90	-987
49.40	49.40	-991

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
51.90	51.90	-997
54.40	54.40	-989
56.90	56.90	-989
59.40	59.40	-981
61.90	61.90	-975
64.40	64.40	-979
66.90	66.90	-969
69.40	69.40	-977
71.90	71.90	-965
74.40	74.40	-979
76.90	76.90	-979
79.40	79.40	-979
81.90	81.90	-987

Leiding 1



LPMH – HOOGTE / ZETTINGSMETING

Opdrachtgever : Sweco Nederland B.V.
Project : Hoogtemeting drainageleidingen
Locatie : Stedumerweg 1, Loppersum
Leidingnummer : 1 extra
Sectie : -

Metingnummer : 2106M045

Meetinterval : 2.5
Leidinglengte : 123.3
Leidingdiameter : 60 mm
Soort leiding : Drainage
Leiding gespoeld : Ja

Type meetunit : LPMH-C-005
Druksensor : PS-004

Opmerkingen : Gemeten vanaf zuidwest zijde.

ALLE HOOGTEMATEN BETREFFEN DE BINNENONDERKANT VAN DE LEIDING.

Datum: 31-03-2021

Operator: D.J. Groen

INVENTEC B.V.

POSTBUS 497, 8070 AL NUNSPEET
TEL. 0341-274470 FAX. 0341-274471

info@inventec.nl

www.inventec.nl

Hoogtemeting drainageleidingen
Sweco Nederland B.V.
Stedumerweg 1, Loppersum

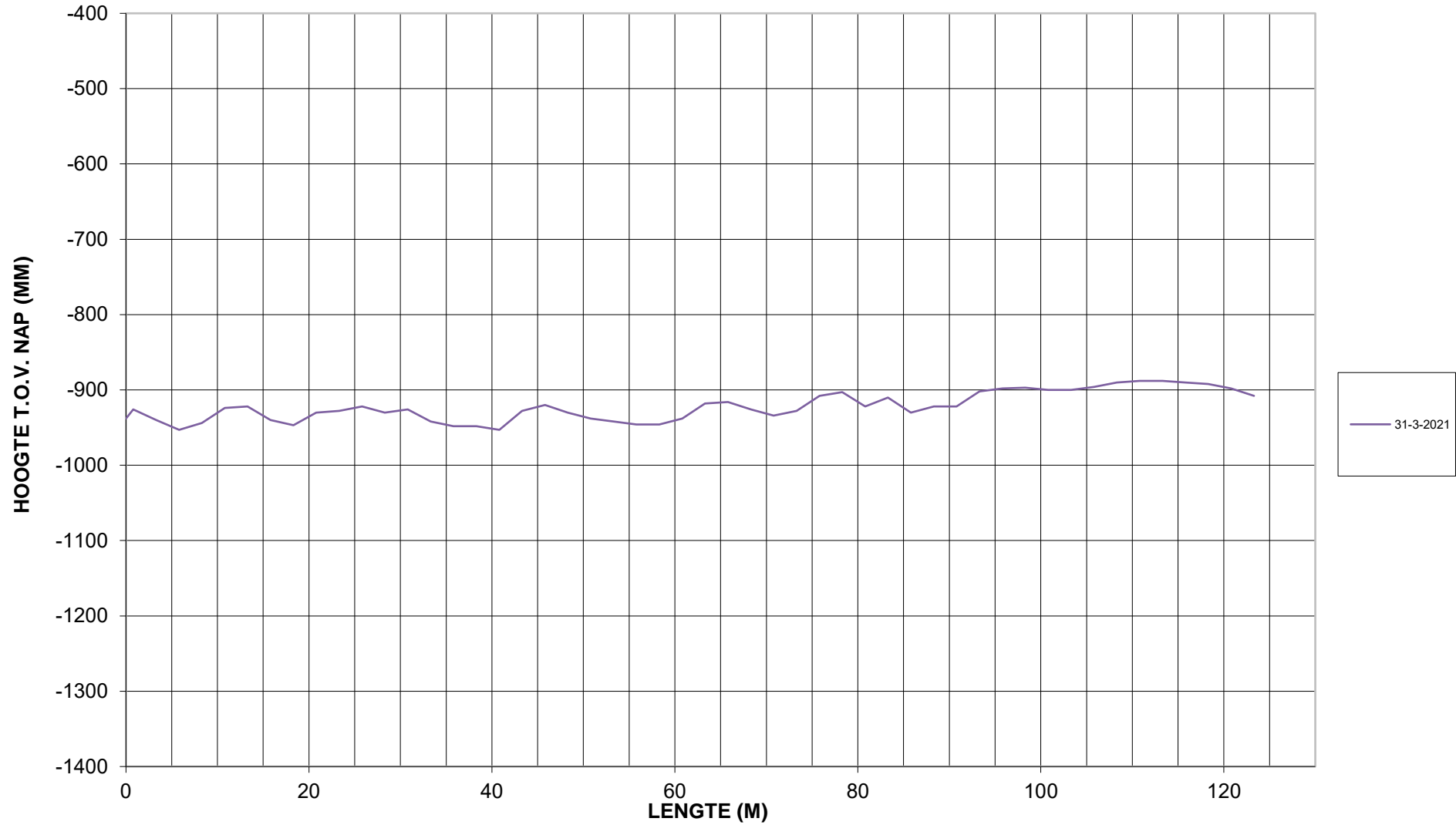
Leidingnummer 1 extra
Meting: 2106M045
Datum: 31-3-2021
Referentie: piket
Referentiehoogte: 241 mm+NAP
Hoogte b.o.b. leiding: -938 mm+NAP
Verschil referentie - b.o.b.: 1179 mm

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
-----------------------	--------------------	--------------------

0.00	0.00	-938
0.80	0.80	-926
3.30	3.30	-940
5.80	5.80	-953
8.30	8.30	-944
10.80	10.80	-924
13.30	13.30	-922
15.80	15.80	-940
18.30	18.30	-947
20.80	20.80	-930
23.30	23.30	-928
25.80	25.80	-922
28.30	28.30	-930
30.80	30.80	-926
33.30	33.30	-942
35.80	35.80	-948
38.30	38.30	-948
40.80	40.80	-953
43.30	43.30	-928
45.80	45.80	-920
48.30	48.30	-930

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
50.80	50.80	-938
53.30	53.30	-942
55.80	55.80	-946
58.30	58.30	-946
60.80	60.80	-938
63.30	63.30	-918
65.80	65.80	-916
68.30	68.30	-926
70.80	70.80	-934
73.30	73.30	-928
75.80	75.80	-908
78.30	78.30	-903
80.80	80.80	-922
83.30	83.30	-910
85.80	85.80	-930
88.30	88.30	-922
90.80	90.80	-922
93.30	93.30	-902
95.80	95.80	-898
98.30	98.30	-897
100.80	100.80	-900
103.30	103.30	-900
105.80	105.80	-896
108.30	108.30	-890
110.80	110.80	-888
113.30	113.30	-888
115.80	115.80	-890
118.30	118.30	-892
120.80	120.80	-898
123.30	123.30	-908

Leiding 1 extra



LPMH – HOOGTE / ZETTINGSMETING

Opdrachtgever : Sweco Nederland B.V.
Project : Hoogtemeting drainageleidingen
Locatie : Stedumerweg 1, Loppersum
Leidingnummer : 2 extra
Sectie : -

Metingnummer : 2106M046

Meetinterval : 2.5
Leidinglengte : 152.9
Leidingdiameter : 60 mm
Soort leiding : Drainage
Leiding gespoeld : Ja

Type meetunit : LPMH-C-005
Druksensor : PS-004

Opmerkingen : Gemeten vanaf zuidwest zijde, gemeten temperatuur naast het begin van de leiding: 8.6°C

ALLE HOOGTEMATEN BETREFFEN DE BINNENONDERKANT VAN DE LEIDING.

Datum: 31-03-2021

Operator: D.J. Groen

INVENTEC B.V.

POSTBUS 497, 8070 AL NUNSPEET
TEL. 0341-274470 FAX. 0341-274471

info@inventec.nl

www.inventec.nl

Hoogtemeting drainageleidingen
Sweco Nederland B.V.
Stedumerweg 1, Loppersum

Leidingnummer 2 extra
Meting: 2106M046
Datum: 31-3-2021
Referentie: piket
Referentiehoogte: 253 mm+NAP
Hoogte b.o.b. leiding: -990 mm+NAP
Verschil referentie - b.o.b.: 1243 mm

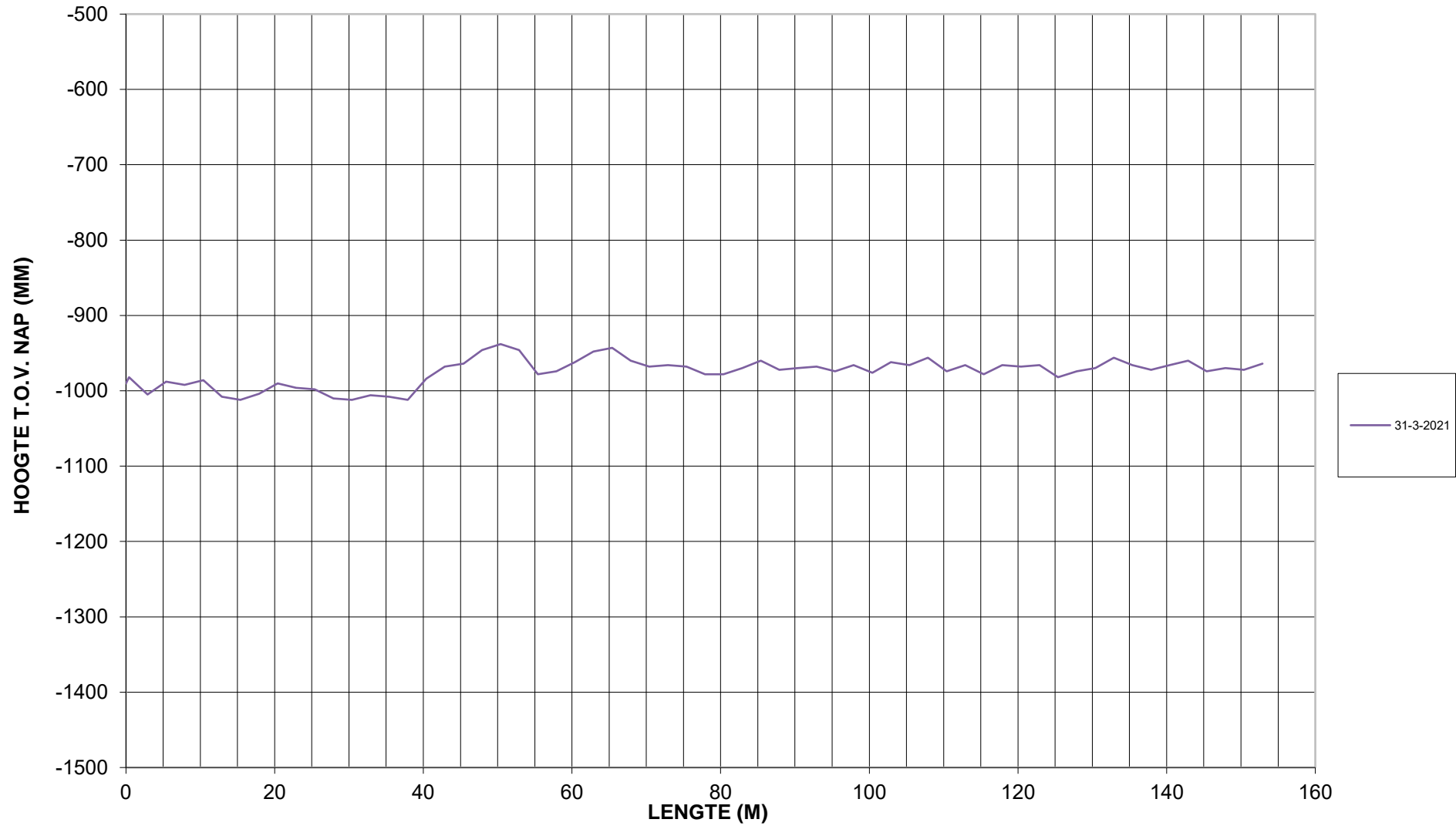
Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
-----------------------	--------------------	--------------------

0.00	0.00	-990
0.40	0.40	-982
2.90	2.90	-1005
5.40	5.40	-988
7.90	7.90	-992
10.40	10.40	-986
12.90	12.90	-1008
15.40	15.40	-1012
17.90	17.90	-1004
20.40	20.40	-990
22.90	22.90	-996
25.40	25.40	-998
27.90	27.90	-1010
30.40	30.40	-1012
32.90	32.90	-1006
35.40	35.40	-1008
37.90	37.90	-1012
40.40	40.40	-984
42.90	42.90	-968
45.40	45.40	-964
47.90	47.90	-946

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
50.40	50.40	-938
52.90	52.90	-946
55.40	55.40	-978
57.90	57.90	-974
60.40	60.40	-962
62.90	62.90	-948
65.40	65.40	-943
67.90	67.90	-960
70.40	70.40	-968
72.90	72.90	-966
75.40	75.40	-968
77.90	77.90	-978
80.40	80.40	-978
82.90	82.90	-970
85.40	85.40	-960
87.90	87.90	-972
90.40	90.40	-970
92.90	92.90	-968
95.40	95.40	-974
97.90	97.90	-966
100.40	100.40	-976
102.90	102.90	-962
105.40	105.40	-966
107.90	107.90	-956
110.40	110.40	-974
112.90	112.90	-966
115.40	115.40	-978
117.90	117.90	-966
120.40	120.40	-968
122.90	122.90	-966
125.40	125.40	-982
127.90	127.90	-974

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
130.40	130.40	-970
132.90	132.90	-956
135.40	135.40	-966
137.90	137.90	-972
140.40	140.40	-966
142.90	142.90	-960
145.40	145.40	-974
147.90	147.90	-970
150.40	150.40	-972
152.90	152.90	-964

Leiding 2 extra



LPMH – HOOGTE / ZETTINGSMETING

Opdrachtgever : Sweco Nederland B.V.
Project : Hoogtemeting drainageleidingen
Locatie : Stedumerweg 1, Loppersum
Leidingnummer : 3
Sectie : -

Metingnummer : 2106M043

Meetinterval : 2.5
Leidinglengte : 71.1
Leidingdiameter : 60 mm
Soort leiding : Drainage
Leiding gespoeld : Ja

Type meetunit : LPMH-C-005
Druksensor : PS-004

Opmerkingen :

ALLE HOOGTEMATEN BETREFFEN DE BINNENONDERKANT VAN DE LEIDING.

Datum: 31-03-2021

Operator: D.J. Groen

INVENTEC B.V.

POSTBUS 497, 8070 AL NUNSPEET
TEL. 0341-274470 FAX. 0341-274471

info@inventec.nl

www.inventec.nl

Hoogtemeting drainageleidingen
Sweco Nederland B.V.
Stedumerweg 1, Loppersum

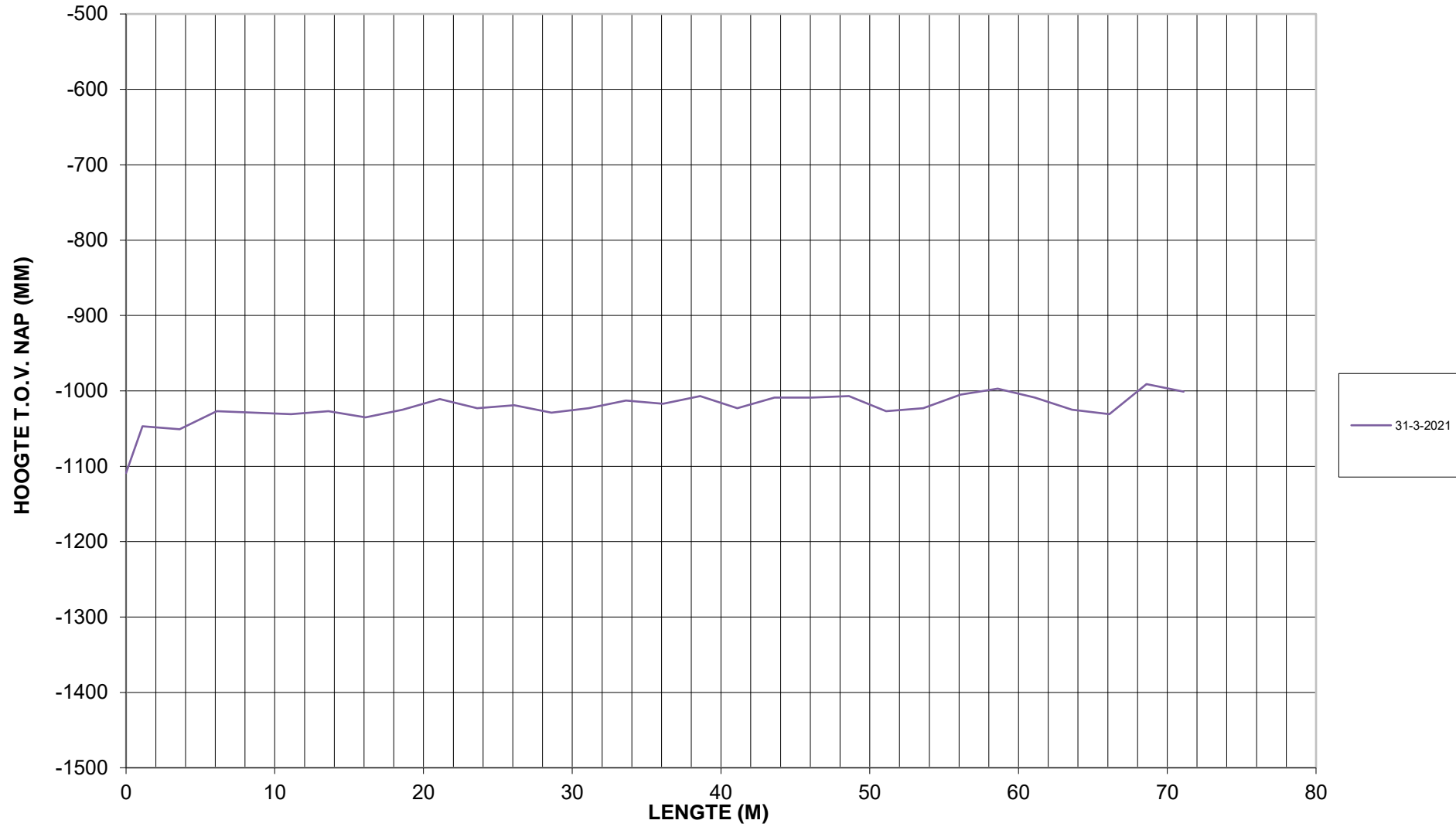
Leidingnummer 3
Meting: 2106M043
Datum: 31-3-2021
Referentie: piket
Referentiehoogte: 124 mm+NAP
Hoogte b.o.b. leiding: -1109 mm+NAP
Verschil referentie - b.o.b.: 1233 mm

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
-----------------------	--------------------	--------------------

0.00	0.00	-1109
1.10	1.10	-1047
3.60	3.60	-1051
6.10	6.10	-1027
8.60	8.60	-1029
11.10	11.10	-1031
13.60	13.60	-1027
16.10	16.10	-1035
18.60	18.60	-1025
21.10	21.10	-1011
23.60	23.60	-1023
26.10	26.10	-1019
28.60	28.60	-1029
31.10	31.10	-1023
33.60	33.60	-1013
36.10	36.10	-1017
38.60	38.60	-1007
41.10	41.10	-1023
43.60	43.60	-1009
46.10	46.10	-1009
48.60	48.60	-1007

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
51.10	51.10	-1027
53.60	53.60	-1023
56.10	56.10	-1005
58.60	58.60	-997
61.10	61.10	-1009
63.60	63.60	-1025
66.10	66.10	-1031
68.60	68.60	-991
71.10	71.10	-1001

Leiding 3



LPMH – HOOGTE / ZETTINGSMETING

Opdrachtgever : Sweco Nederland B.V.
Project : Hoogtemeting drainageleidingen
Locatie : Stedumerweg 1, Loppersum
Leidingnummer : 4
Sectie : -

Metingnummer : 2106M044

Meetinterval : 2.5
Leidinglengte : 112.8
Leidingdiameter : 60 mm
Soort leiding : Drainage
Leiding gespoeld : Ja

Type meetunit : LPMH-C-005
Druksensor : PS-004

Opmerkingen : Gemeten temperatuur naast het begin van de leiding: 8.3°C

ALLE HOOGTEMATEN BETREFFEN DE BINNENONDERKANT VAN DE LEIDING.

Datum: 31-03-2021

Operator: D.J. Groen

INVENTEC B.V.

POSTBUS 497, 8070 AL NUNSPEET
TEL. 0341-274470 FAX. 0341-274471

info@inventec.nl

www.inventec.nl

Hoogtemeting drainageleidingen
Sweco Nederland B.V.
Stedumerweg 1, Loppersum

Leidingnummer 4
Meting: 2106M044
Datum: 31-3-2021
Referentie: piket
Referentiehoogte: 134 mm+NAP
Hoogte b.o.b. leiding: -1089 mm+NAP
Verschil referentie - b.o.b.: 1223 mm

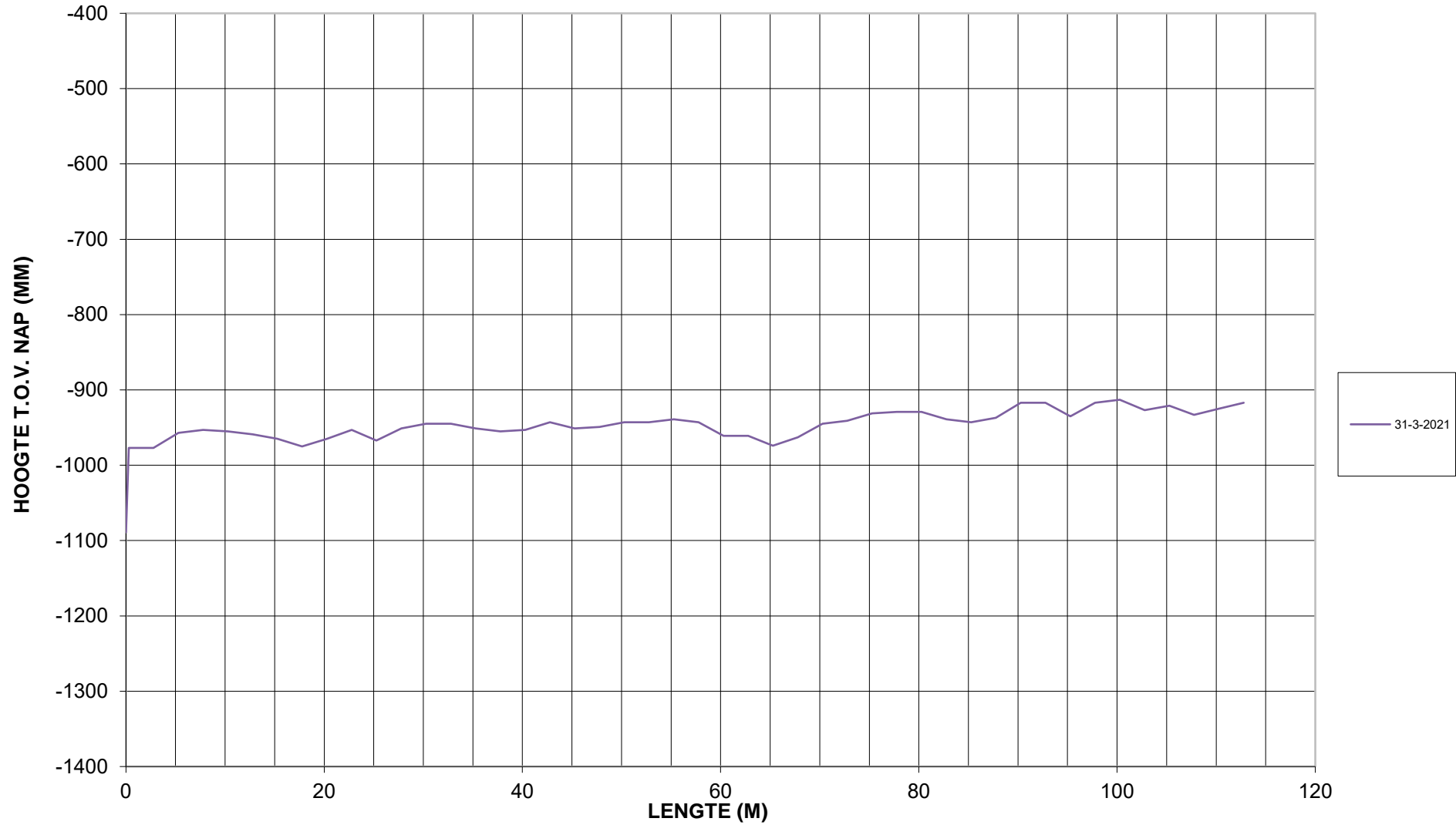
Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
-----------------------	--------------------	--------------------

0.00	0.00	-1089
0.30	0.28	-977
2.80	2.78	-977
5.30	5.28	-957
7.80	7.78	-953
10.30	10.28	-955
12.80	12.78	-959
15.30	15.28	-965
17.80	17.78	-975
20.30	20.28	-965
22.80	22.78	-953
25.30	25.28	-967
27.80	27.78	-951
30.30	30.28	-945
32.80	32.78	-945
35.30	35.28	-951
37.80	37.78	-955
40.30	40.28	-953
42.80	42.78	-943
45.30	45.28	-951
47.80	47.78	-949

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
-----------------------	--------------------	--------------------

50.30	50.28	-943
52.80	52.78	-943
55.30	55.28	-939
57.80	57.78	-943
60.30	60.28	-961
62.80	62.78	-961
65.30	65.28	-974
67.80	67.78	-963
70.30	70.28	-945
72.80	72.78	-941
75.30	75.28	-931
77.80	77.78	-929
80.30	80.28	-929
82.80	82.78	-939
85.30	85.28	-943
87.80	87.78	-937
90.30	90.28	-917
92.80	92.78	-917
95.30	95.28	-935
97.80	97.78	-917
100.30	100.28	-913
102.80	102.78	-927
105.30	105.28	-921
107.80	107.78	-933
110.30	110.28	-925
112.80	112.78	-917

Leiding 4



LPMH – HOOGTE / ZETTINGSMETING

Opdrachtgever : Sweco Nederland B.V.
Project : Hoogtemeting drainageleidingen
Locatie : Stedumerweg 1, Loppersum
Leidingnummer : 6
Sectie : -

Metingnummer : 2106M047

Meetinterval : 2.5
Leidinglengte : 58.8
Leidingdiameter : 60 mm
Soort leiding : Drainage
Leiding gespoeld : Ja

Type meetunit : LPMH-C-005
Druksensor : PS-004

Opmerkingen :

ALLE HOOGTEMATEN BETREFFEN DE BINNENONDERKANT VAN DE LEIDING.

Datum: 01-04-2021

Operator: D.J. Groen

INVENTEC B.V.

POSTBUS 497, 8070 AL NUNSPEET
TEL. 0341-274470 FAX. 0341-274471

info@inventec.nl

www.inventec.nl

Hoogtemeting drainageleidingen
Sweco Nederland B.V.
Stedumerweg 1, Loppersum

Leidingnummer 6
Meting: 2106M047
Datum: 1-4-2021
Referentie: piket
Referentiehoogte: -64 mm+NAP
Hoogte b.o.b. leiding: -1185 mm+NAP
Verschil referentie - b.o.b.: 1121 mm

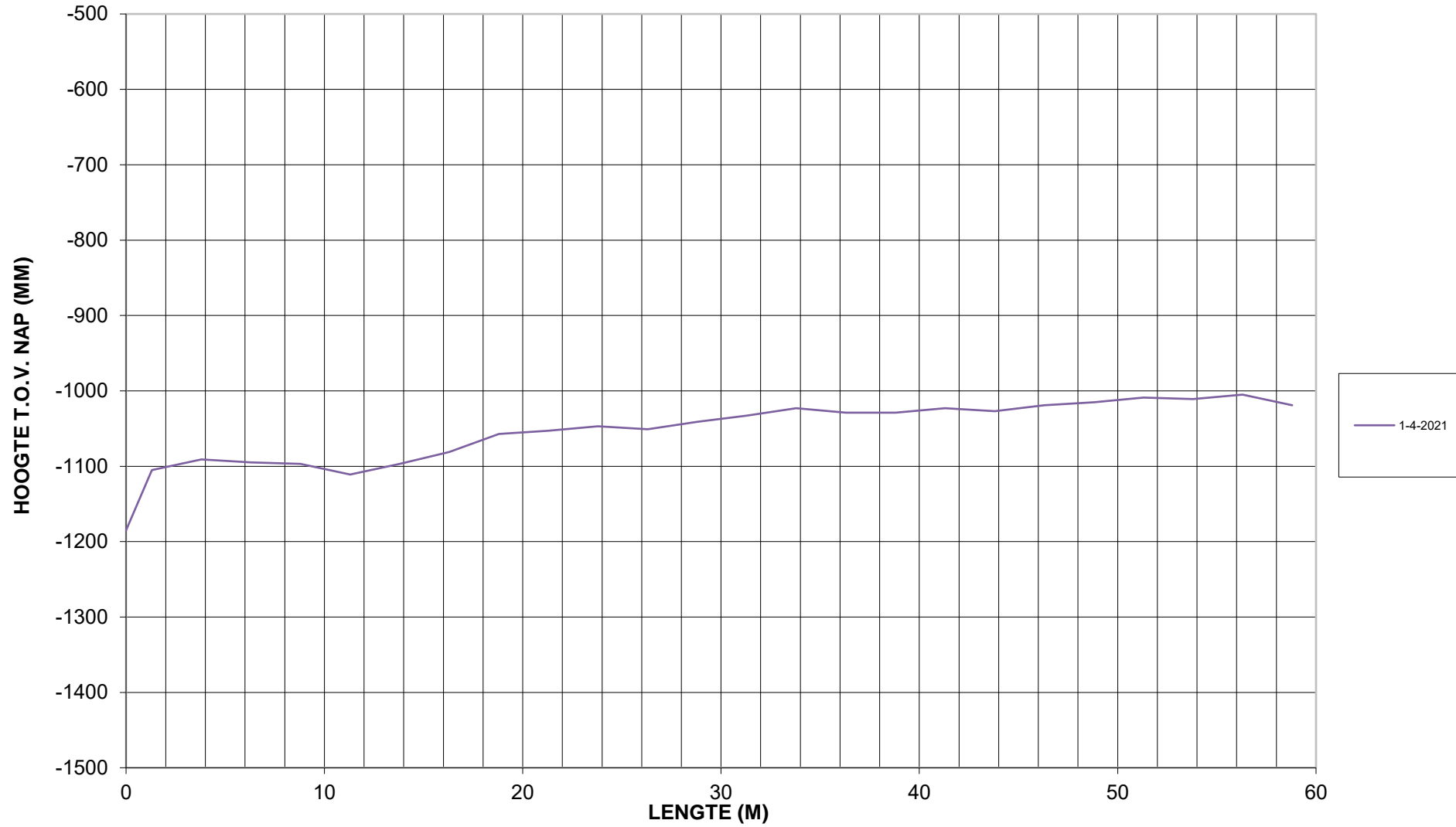
Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
-----------------------	--------------------	--------------------

0.00	0.00	-1185
1.30	1.30	-1105
3.80	3.80	-1091
6.30	6.30	-1095
8.80	8.80	-1097
11.30	11.30	-1111
13.80	13.80	-1097
16.30	16.30	-1081
18.80	18.80	-1057
21.30	21.30	-1053
23.80	23.80	-1047
26.30	26.30	-1051
28.80	28.80	-1041
31.30	31.30	-1033
33.80	33.80	-1023
36.30	36.30	-1029
38.80	38.80	-1029
41.30	41.30	-1023
43.80	43.80	-1027
46.30	46.30	-1019
48.80	48.80	-1015

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
-----------------------	--------------------	--------------------

51.30	51.30	-1009
53.80	53.80	-1011
56.30	56.30	-1005
58.80	58.80	-1019

Leiding 6



LPMH – HOOGTE / ZETTINGSMETING

Opdrachtgever : Sweco Nederland B.V.
Project : Hoogtemeting drainageleidingen
Locatie : Stedumerweg 1, Loppersum
Leidingnummer : 7
Sectie : -

Metingnummer : 2106M048

Meetinterval : 2.5
Leidinglengte : 72.5
Leidingdiameter : 60 mm
Soort leiding : Drainage
Leiding gespoeld : Ja

Type meetunit : LPMH-C-005
Druksensor : PS-004

Opmerkingen :

ALLE HOOGTEMATEN BETREFFEN DE BINNENONDERKANT VAN DE LEIDING.

Datum: 01-04-2021

Operator: D.J. Groen

INVENTEC B.V.

POSTBUS 497, 8070 AL NUNSPEET
TEL. 0341-274470 FAX. 0341-274471

info@inventec.nl

www.inventec.nl

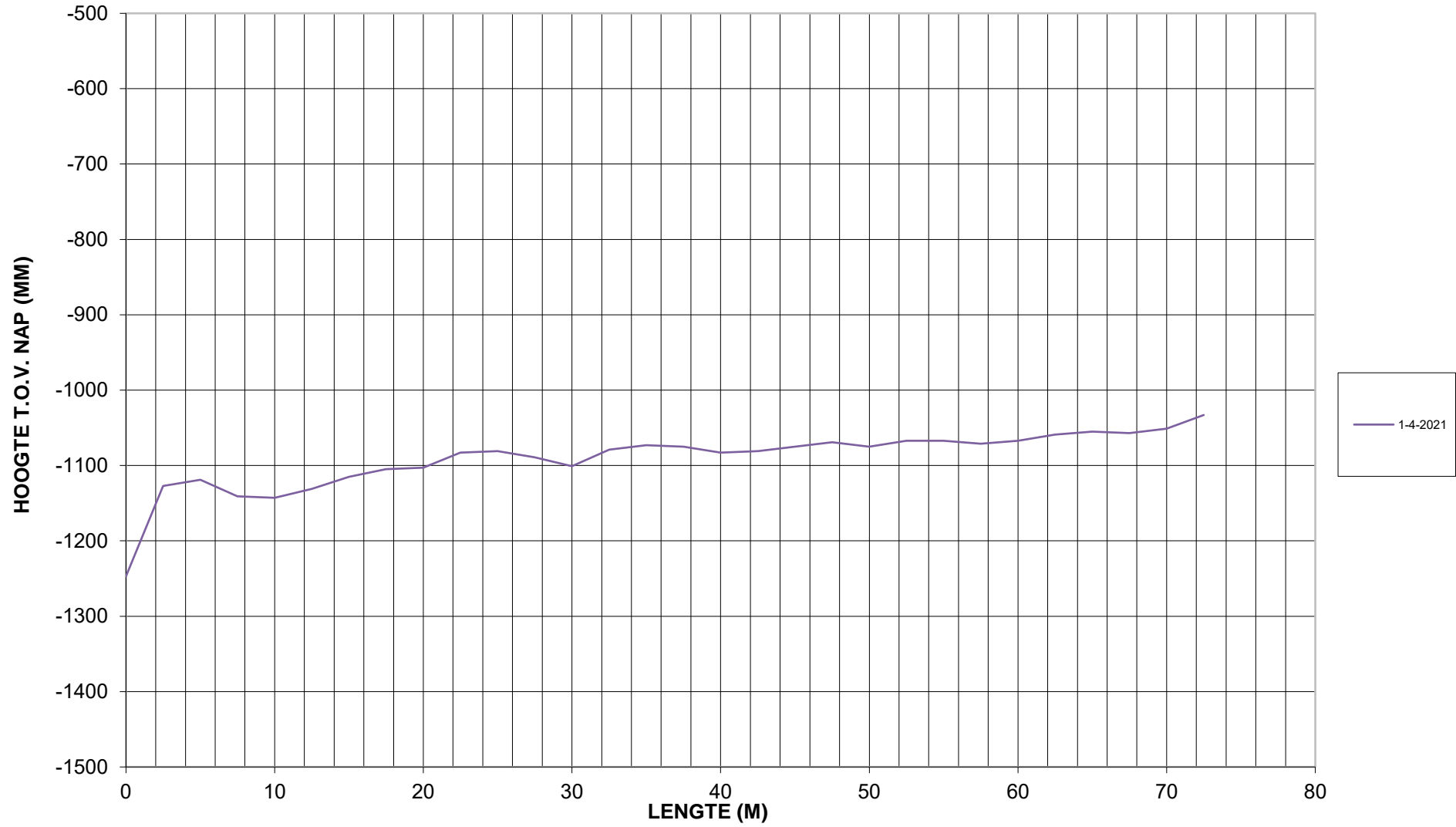
Hoogtemeting drainageleidingen
Sweco Nederland B.V.
Stedumerweg 1, Loppersum

Leidingnummer 7
Meting: 2106M048
Datum: 1-4-2021
Referentie: piket
Referentiehoogte: -42 mm+NAP
Hoogte b.o.b. leiding: -1247 mm+NAP
Verschil referentie - b.o.b.: 1205 mm

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
0.00	0.00	-1247
2.50	2.50	-1127
5.00	5.00	-1119
7.50	7.50	-1141
10.00	10.00	-1143
12.50	12.50	-1131
15.00	15.00	-1115
17.50	17.50	-1105
20.00	20.00	-1103
22.50	22.50	-1083
25.00	25.00	-1081
27.50	27.50	-1089
30.00	30.00	-1101
32.50	32.50	-1079
35.00	35.00	-1073
37.50	37.50	-1075
40.00	40.00	-1083
42.50	42.50	-1081
45.00	45.00	-1075
47.50	47.50	-1069
50.00	50.00	-1075

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
52.50	52.50	-1067
55.00	55.00	-1067
57.50	57.50	-1071
60.00	60.00	-1067
62.50	62.50	-1059
65.00	65.00	-1055
67.50	67.50	-1057
70.00	70.00	-1051
72.50	72.50	-1033

Leiding 7



LPMH – HOOGTE / ZETTINGSMETING

Opdrachtgever : Sweco Nederland B.V.
Project : Hoogtemeting drainageleidingen
Locatie : Stedumerweg 1, Loppersum
Leidingnummer : 8
Sectie : -

Metingnummer : 2106M049

Meetinterval : 2.5
Leidinglengte : 82.5
Leidingdiameter : 60 mm
Soort leiding : Drainage
Leiding gespoeld : Ja

Type meetunit : LPMH-C-005
Druksensor : PS-004

Opmerkingen : Gemeten temperatuur 1 meter naast het begin van de leiding:
8.3°C

ALLE HOOGTEMATEN BETREFFEN DE BINNENONDERKANT VAN DE LEIDING.

Datum: 01-04-2021

Operator: D.J. Groen

INVENTEC B.V.

POSTBUS 497, 8070 AL NUNSPEET
TEL. 0341-274470 FAX. 0341-274471
info@inventec.nl
www.inventec.nl

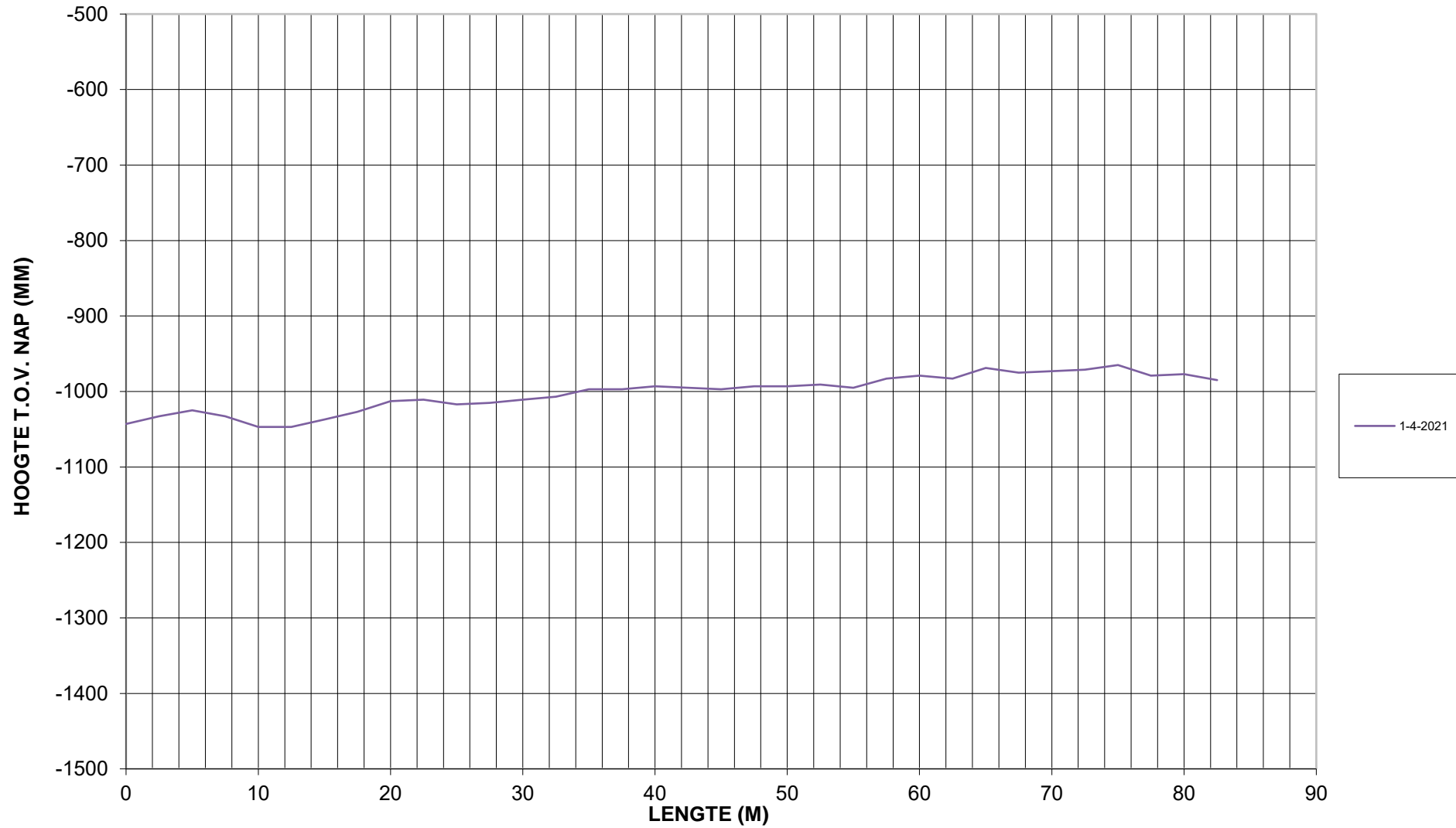
Hoogtemeting drainageleidingen
Sweco Nederland B.V.
Stedumerweg 1, Loppersum

Leidingnummer 8
Meting: 2106M049
Datum: 1-4-2021
Referentie: piket
Referentiehoogte: -40 mm+NAP
Hoogte b.o.b. leiding: -1043 mm+NAP
Verschil referentie - b.o.b.: 1003 mm

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
0.00	0.00	-1043
2.50	2.50	-1033
5.00	5.00	-1025
7.50	7.50	-1033
10.00	10.00	-1047
12.50	12.50	-1047
15.00	15.00	-1037
17.50	17.50	-1027
20.00	20.00	-1013
22.50	22.50	-1011
25.00	25.00	-1017
27.50	27.50	-1015
30.00	30.00	-1011
32.50	32.50	-1007
35.00	35.00	-997
37.50	37.50	-997
40.00	40.00	-993
42.50	42.50	-995
45.00	45.00	-997
47.50	47.50	-993
50.00	50.00	-993

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
52.50	52.50	-991
55.00	55.00	-995
57.50	57.50	-983
60.00	60.00	-979
62.50	62.50	-983
65.00	65.00	-969
67.50	67.50	-975
70.00	70.00	-973
72.50	72.50	-971
75.00	75.00	-965
77.50	77.50	-979
80.00	80.00	-977
82.50	82.50	-985

Leiding 8



LPMH – HOOGTE / ZETTINGSMETING

Opdrachtgever : Sweco Nederland B.V.
Project : Hoogtemeting drainageleidingen
Locatie : Stedumerweg 1, Loppersum
Leidingnummer : 9
Sectie : -

Metingnummer : 2106M050

Meetinterval : 2.5
Leidinglengte : 184.3
Leidingdiameter : 60 mm
Soort leiding : Drainage
Leiding gespoeld : Ja

Type meetunit : LPMH-C-005
Druksensor : PS-004

Opmerkingen :

ALLE HOOGTEMATEN BETREFFEN DE BINNENONDERKANT VAN DE LEIDING.

Datum: 01-04-2021

Operator: D.J. Groen

INVENTEC B.V.

POSTBUS 497, 8070 AL NUNSPEET
TEL. 0341-274470 FAX. 0341-274471

info@inventec.nl

www.inventec.nl

Hoogtemeting drainageleidingen
Sweco Nederland B.V.
Stedumerweg 1, Loppersum

Leidingnummer 9
Meting: 2106M050
Datum: 1-4-2021
Referentie: piket
Referentiehoogte: -19 mm+NAP
Hoogte b.o.b. leiding: -1306 mm+NAP
Verschil referentie - b.o.b.: 1287 mm

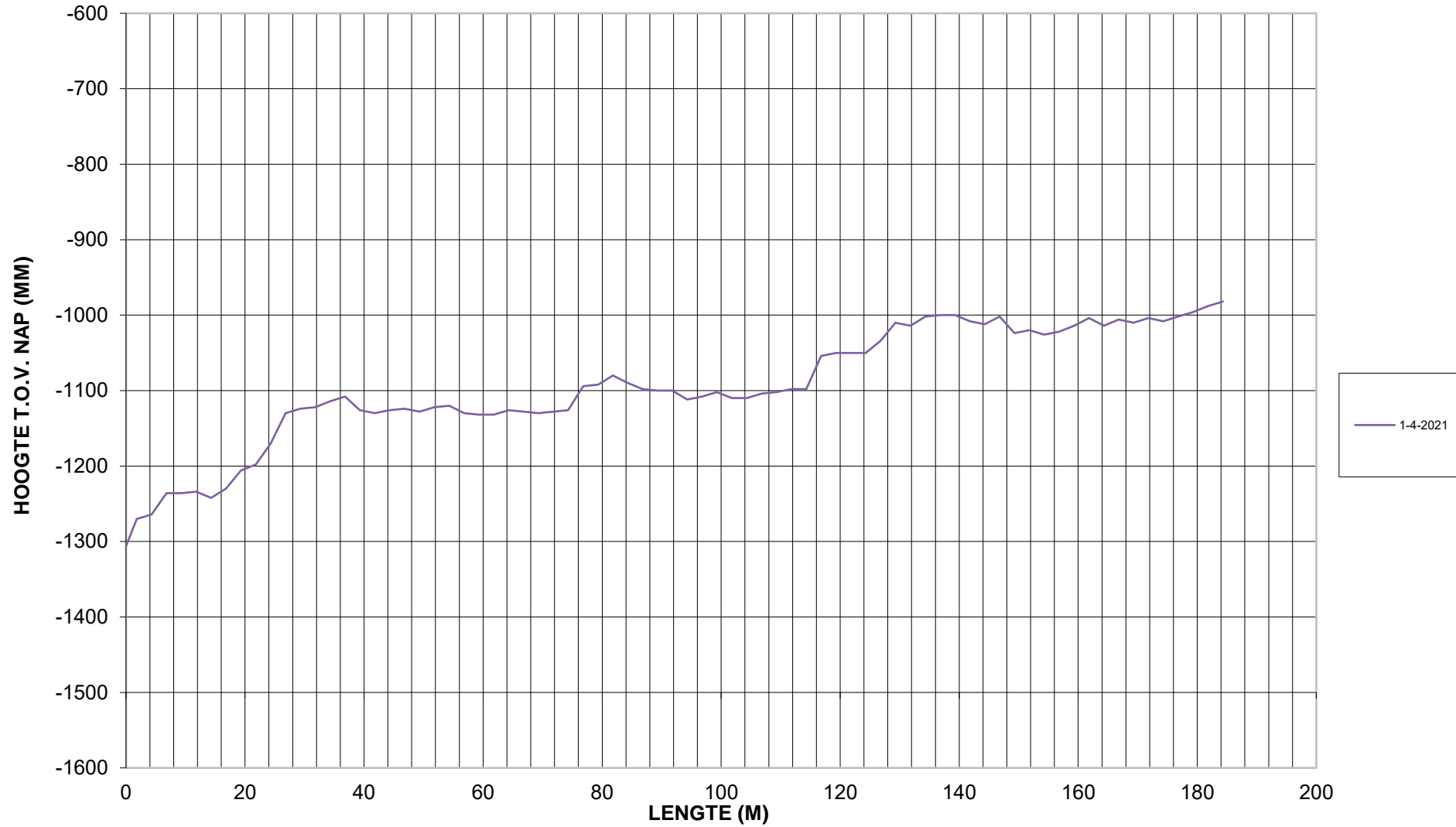
Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
-----------------------	--------------------	--------------------

0.00	0.00	-1306
1.80	1.80	-1270
4.30	4.30	-1264
6.80	6.80	-1236
9.30	9.30	-1236
11.80	11.80	-1234
14.30	14.30	-1242
16.80	16.80	-1230
19.30	19.30	-1206
21.80	21.80	-1198
24.30	24.30	-1170
26.80	26.80	-1130
29.30	29.30	-1124
31.80	31.80	-1122
34.30	34.30	-1114
36.80	36.80	-1108
39.30	39.30	-1126
41.80	41.80	-1130
44.30	44.30	-1126
46.80	46.80	-1124
49.30	49.30	-1128

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
51.80	51.80	-1122
54.30	54.30	-1120
56.80	56.80	-1130
59.30	59.30	-1132
61.80	61.80	-1132
64.30	64.30	-1126
66.80	66.80	-1128
69.30	69.30	-1130
71.80	71.80	-1128
74.30	74.30	-1126
76.80	76.80	-1094
79.30	79.30	-1092
81.80	81.80	-1080
84.30	84.30	-1090
86.80	86.80	-1098
89.30	89.30	-1100
91.80	91.80	-1100
94.30	94.30	-1112
96.80	96.80	-1108
99.30	99.30	-1102
101.80	101.80	-1110
104.30	104.30	-1110
106.80	106.80	-1104
109.30	109.30	-1102
111.80	111.80	-1098
114.30	114.30	-1098
116.80	116.80	-1054
119.30	119.30	-1050
121.80	121.80	-1050
124.30	124.30	-1050
126.80	126.80	-1034
129.30	129.30	-1010

Lengte leiding (m)	Lengte hor. (m)	Hoogte (mm+NAP)
131.80	131.80	-1014
134.30	134.30	-1002
136.80	136.80	-1000
139.30	139.30	-1000
141.80	141.80	-1008
144.30	144.30	-1012
146.80	146.80	-1002
149.30	149.30	-1024
151.80	151.80	-1020
154.30	154.30	-1026
156.80	156.80	-1022
159.30	159.30	-1014
161.80	161.80	-1004
164.30	164.30	-1014
166.80	166.80	-1006
169.30	169.30	-1010
171.80	171.80	-1004
174.30	174.30	-1008
176.80	176.80	-1002
179.30	179.30	-996
181.80	181.80	-988
184.30	184.30	-982

Leiding 9



LPMH-systeem: voor de exacte hoogteligging van leidingen en zettingen

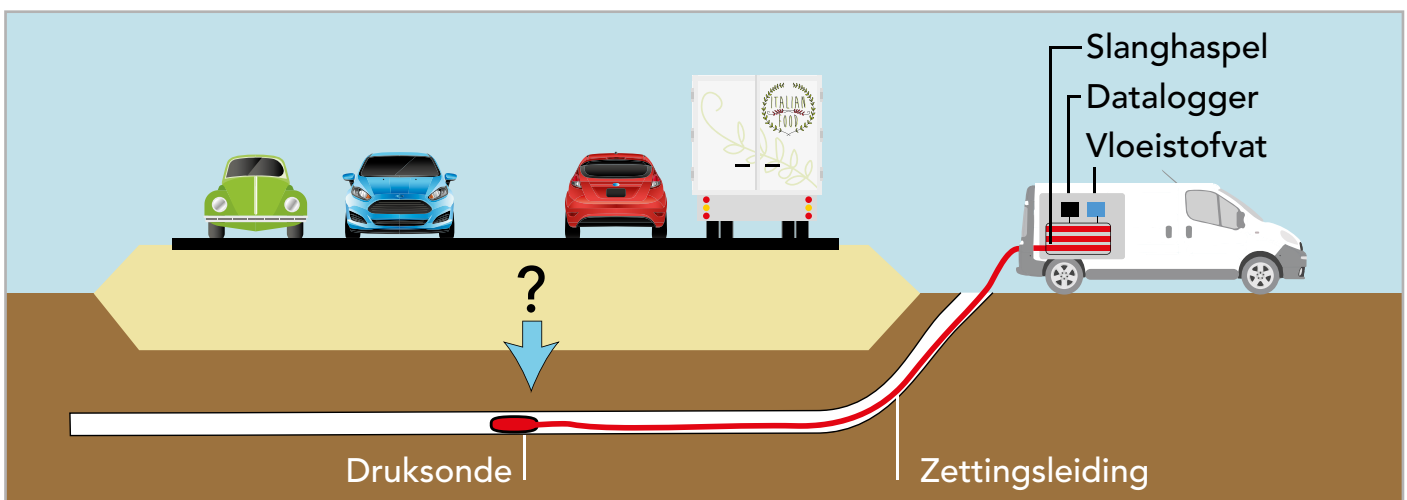
- Ophogingen
- Spoorwegen
- Geluidswallen
- Wegfunderingen
- Afvalstortplaatsen
- Pijp- en drainageleidingen
- Gestuurde boringen
- Riolen



Ons unieke LPMH-systeem

Met het LPMH-systeem wordt de hoogteligging bepaald van (zettings)leidingen. Desgewenst ten opzichte van NAP. Door de metingen in de tijd te herhalen wordt inzicht verkregen in tussentijds opgetreden zettingen. Het systeem werkt met een meetsonde staat via een slang op haspel in verbinding met een eigen vloeistofreservoir. De sonde wordt door de zettingsleiding getrokken. Door in opeenvolgende punten (met intervallen van b.v. 1,00m) de hydrostatische druk te meten, wordt de relatieve

hoogteligging van de leiding bepaald. Door met de sonde tevens een punt in de omgeving op te meten waarvan het NAP-niveau bekend is, wordt het leidingverloop vastgelegd in absolute waarden t.o.v. NAP. Om de vereiste nauwkeurigheid te waarborgen worden de metingen automatisch gecompenseerd voor variaties in temperatuur en atmosferische luchtdruk. Door het met tijdsintervallen herhalen van de metingen wordt het zettingsverloop nauwkeurig in kaart gebracht.

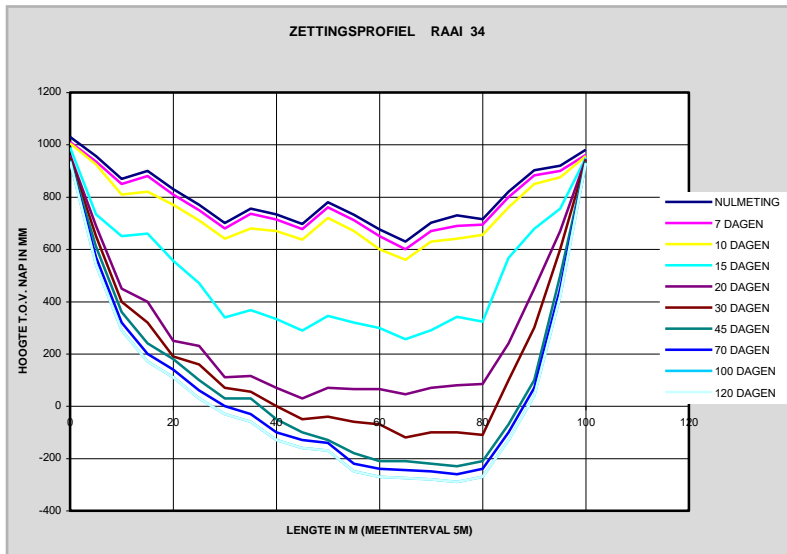


Voordelen

- Geen verstoring of beschadiging door grondverzetmachines of andere invloeden van buitenaf.
- Geen puntsgewijze meting, maar integrale monitoring van het zettingsverloop over het gehele langs- of dwarsprofiel.
- Voor ieder willekeurig lengte-metinterval kan zonder extra moeite een tijd-zettingsdiagram geproduceerd worden. Dit resulteert in een grotere dichtheid c.q. meer keuze in aantal en locatie van tijd-zettingsmetingen.
- Door betere hoogtemeting is het zettingsverloop nauwkeuriger te volgen. Daardoor zijn rest-zettingen beter te voorspellen en is het beter te beoordelen wanneer een eventuele overhoogte kan worden verwijderd.
- De metingen kunnen worden voortgezet na gereedkomen van het werk.

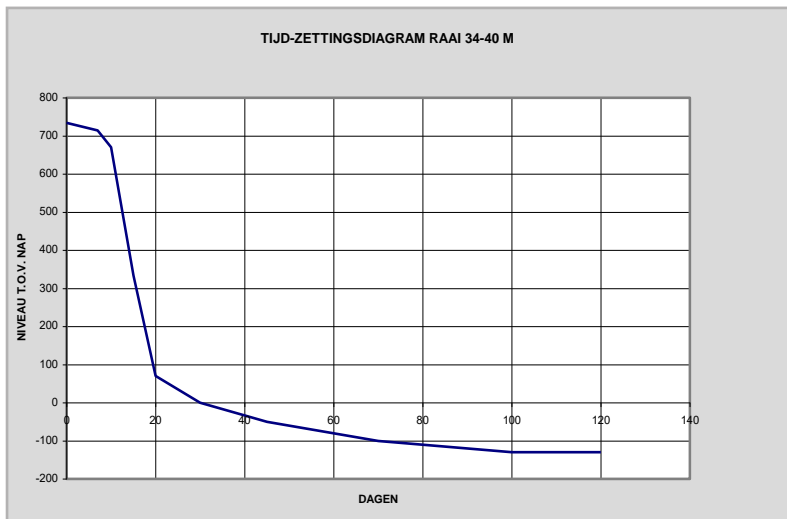
Meetrapportage

Per zettingsleiding wordt de rapportage opgeleverd in de vorm van tabellen en grafisch weergegeven hoogteprofiel. De meetresultaten worden tevens digitaal aangeleverd.



Hoogteprofiel

De successievelijk opgemeten hoogteprofielen worden per zettingsleiding in één grafiek gepresenteerd. Dit geeft een duidelijk beeld van het zettingsverloop over de gehele lengte van elke zettingsleiding.



Tijd-zettingsdiagram

Voor elk willekeurig meetinterval langs het hoogteprofiel kan een tijd-zettingsdiagram geproduceerd worden. In het voorbeeld hiernaast is dat het punt op 40m van het afstands-nulpunt in zettingsleiding 34.



Betrouwbaar en nauwkeurig

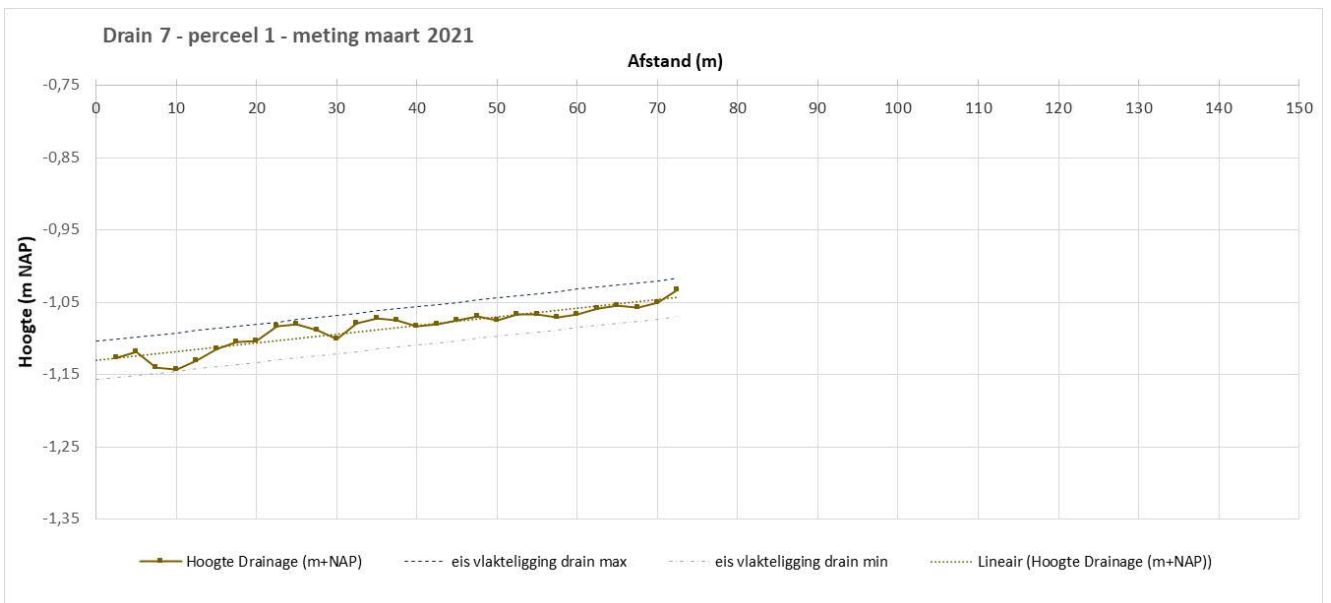
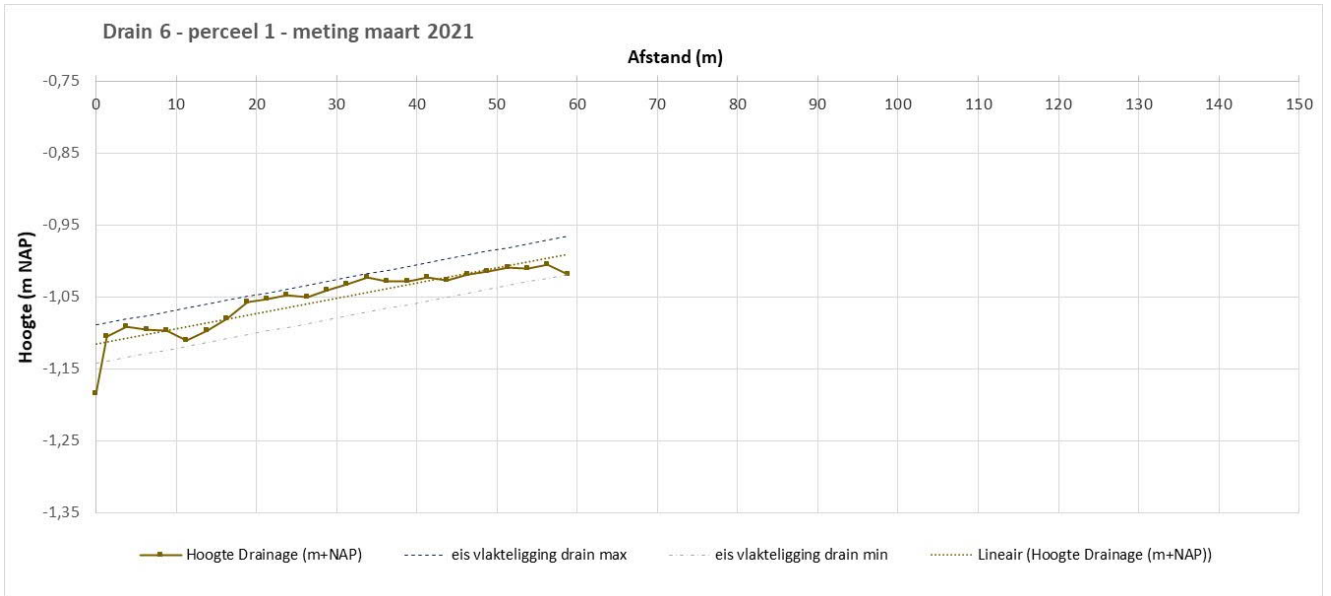
- De LPMH-unit werkt geheel autonoom op basis van zijn eigen vloeistofinhoud. Of de leiding met water gevuld is of leeg staat maakt niets uit.
- De sensor stopt op elk meetinterval.
- De hoogteligging wordt gemeten met een nauwkeurigheid van enkele millimeters.

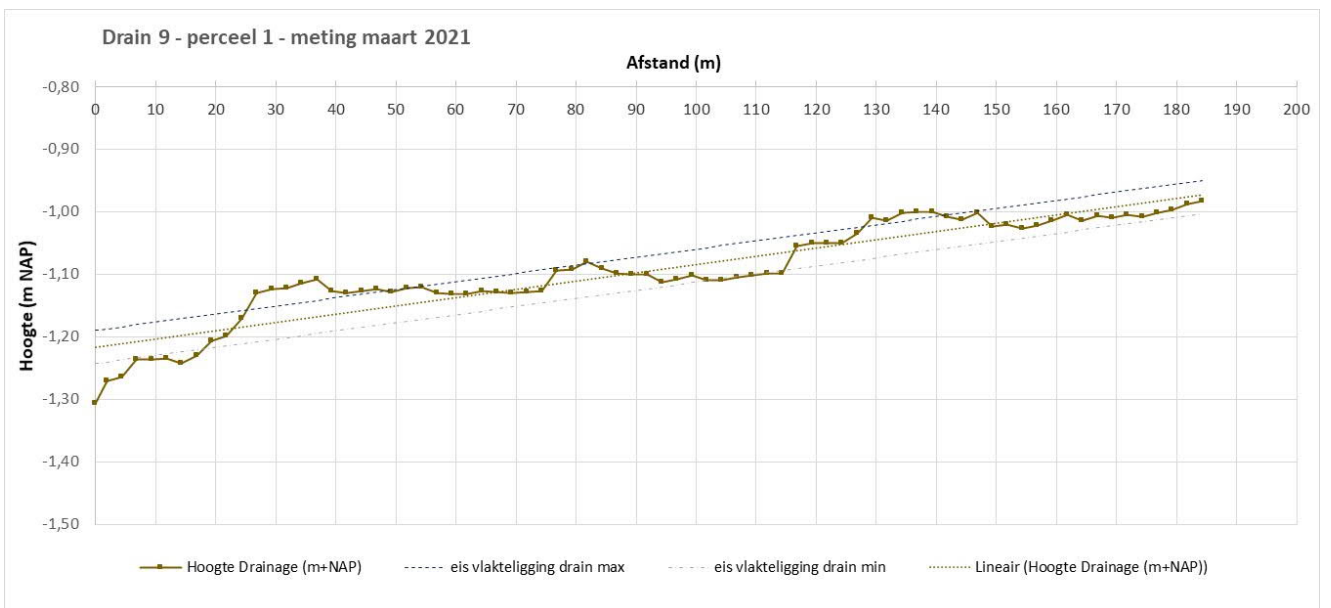
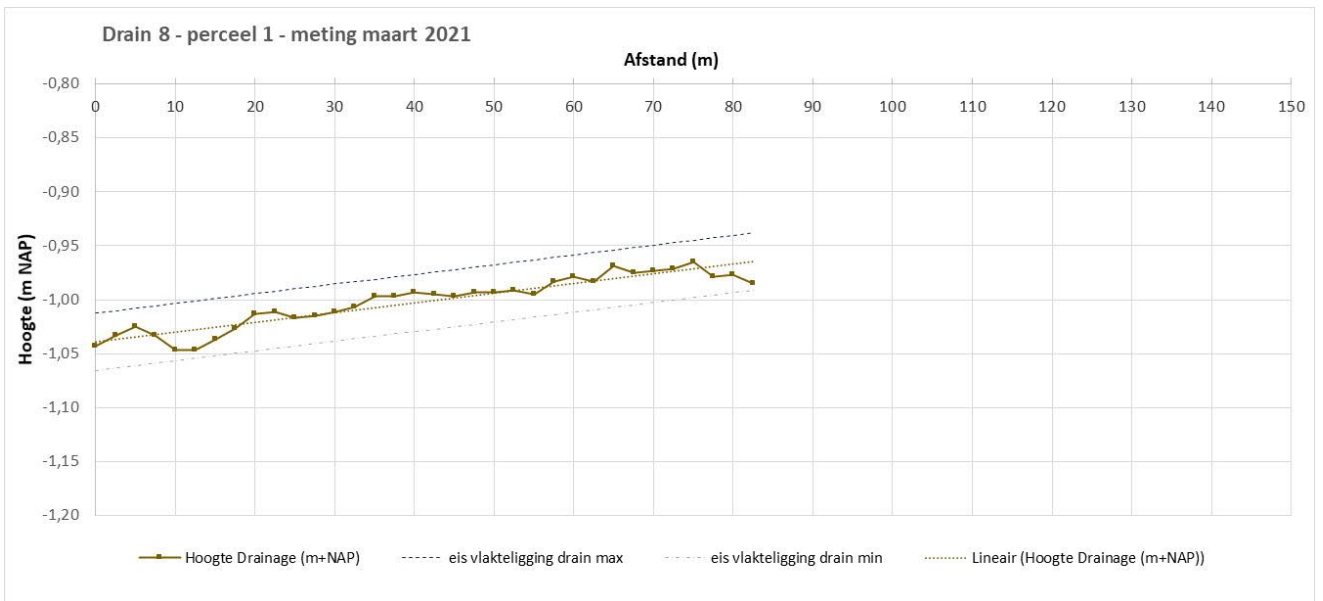
Een beproefd concept

Het LPMH-systeem heeft zich in de praktijk al ruimschoots bewezen door de talloze metingen die wij inmiddels uitgevoerd hebben op infrastructurele projecten, in de leiding- en riooltechniek en op afvalstortplaatsen.

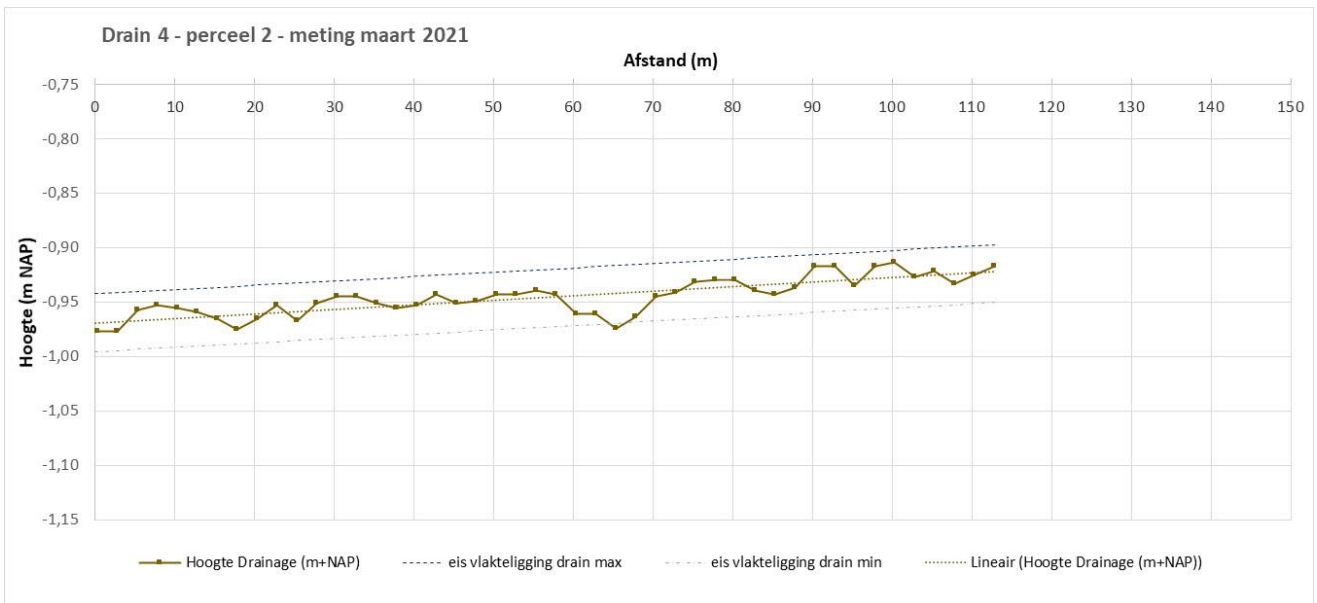
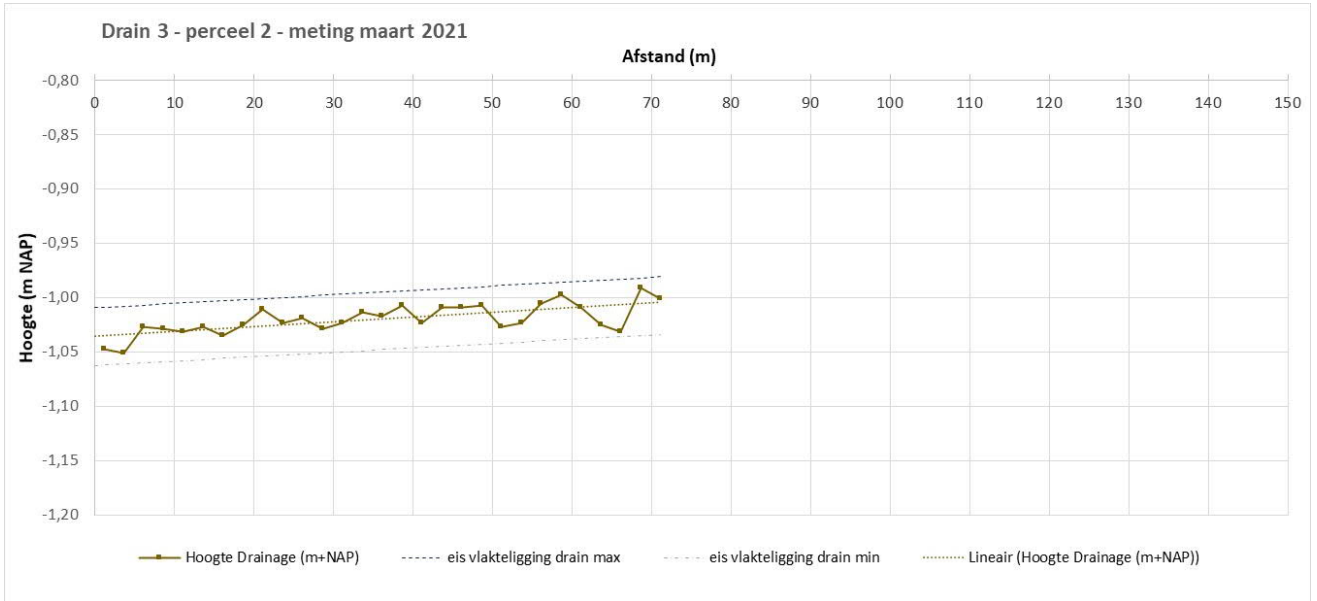
Bijlage 12 Beoordeling vlakteligging en risico op luchtinsluiting
drainage Loppersum

Perceel 1





Perceel 2



Perceel 3

