

Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Verkennd onderzoek ongelijkmatige bodemdaling
landbouwpercelen op twee pilotlocaties

Definitief

Commissie Bodemdaling
Postbus 610
9700 HP GRONINGEN

Sweco Nederland B.V.
Houten, 5 september 2016

Verantwoording

Titel : Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Subtitel : Verkennend onderzoek ongelijkmatige bodemdaling
landbouwpercelen op twee pilotlocaties

Projectnummer : 341156

Referentienummer : SWNL0191333

Revisie : D4

Datum : 5 september 2016

Auteur(s) : ir. J. de Wit

E-mail adres : jaap.dewit@sweco.nl

Gecontroleerd door : ir. P.B.M. Oude Boerrigter & ing. R. Muntjewerff

Paraaf gecontroleerd : 

Goedgekeurd door : ing. M.P. Spoolder

Paraaf goedgekeurd : 

Contact : Sweco Nederland B.V.
De Molen 48
3994 DB Houten
Postbus 119
3990 DC Houten
T +31 88 811 66 00
www.sweco.nl

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	6
1 Inleiding.....	10
1.1 Inleiding.....	10
1.2 Onderzoeksvragen.....	10
1.3 Doel.....	10
1.4 Afbakening	11
1.5 Leeswijzer	11
2 Werkwijze onderzoek pilotlocaties	12
2.1 Fasering	12
2.2 Onderzoeklocaties	12
2.3 Locatiebezoek grondeigenaren	14
2.4 Bureauonderzoek.....	15
2.5 Uitvoering veldwerkzaamheden.....	17
2.5.1 Landmeetkundige opname	17
2.5.2 Bodemkundig onderzoek	17
2.6 Dataverwerking	18
2.7 Interpretatie resultaten	18
3 Bodemdalingsprocessen.....	19
3.1 Inleiding.....	19
3.2 Oorzaken en achterliggende processen	19
3.2.1 Tektonische daling en isostasie	19
3.2.2 Compactie door gaswinning.....	19
3.2.3 Prognose NAM bodemdaling ter plaatse van de pilotlocaties in 2015	21
3.2.4 Oxidatie en krimp van veen	23
3.2.5 Samendrukking van bovenlagen.....	24
3.2.6 Rijping	24
3.2.7 (Ongelijkmatige) zakking door verdichting bij verweking van los gepakte zand- en siltlagen	24
3.3 Invloed van menselijke activiteiten	25
3.4 Effecten van ongelijkmatige bodemdaling	26
4 Inventarisatie locatie pilot 1.....	28
4.1 Huidige situatie	28
4.2 Historie	28
4.3 Hoogte- en vlakteligging	29
4.4 Geomorfologie	31
4.5 Bodem.....	32
4.5.1 Beschrijving volgens de Bodemkaart.....	32
4.5.2 Bodemopbouw 2015	33
4.5.3 Veendieptekaart.....	35
4.6 Waterhuishouding	35
4.6.1 Grondwater	35
4.6.2 Oppervlaktewater	36
4.6.3 Drooglegging.....	36

4.7	Meest invloedrijke aardbevingen	36
4.8	Slootdempingen	37
4.9	Verweking	38
5	Inventarisatie locatie pilot 2.....	39
5.1	Huidige situatie	39
5.2	Historie	39
5.3	Hoogte- en vlakteligging	40
5.4	Geomorfologie	42
5.5	Bodem	43
5.5.1	Beschrijving volgens de Bodemkaart.....	43
5.5.2	Bodemopbouw 2015	44
5.6	Waterhuishouding	46
5.6.1	Grondwater	46
5.6.2	Oppervlaktewater	46
5.6.3	Drooglegging	46
5.7	Meest invloedrijke aardbevingen	47
5.8	Slootdempingen	47
5.9	Verweking	48
6	Analyse ongelijkmatige bodemdaling	49
6.1	Inleiding	49
6.2	Overwegingen en betrouwbaarheid van de gegevens	49
6.3	Locatie pilot 1	52
6.3.1	Maaiveld daling periode 1960 – 2015	55
6.3.2	Autonome bodemdaling periode 1960 - 2015.....	59
6.3.3	Maaiveld daling periode 2009 – 2015	60
6.3.4	Effect van de veendiepte	60
6.3.5	Kwalitatieve waardering	60
6.3.6	Conclusie bodemdaling locatie pilot 1	62
6.4	Locatie pilot 2	62
6.4.1	Maaiveld daling periode 1960 – 2015	65
6.4.2	Autonome bodemdaling periode 1960 - 2015.....	68
6.4.3	Maaiveld daling periode 2009 - 2015.....	69
6.4.4	Impact van de slootdemping perceel 1	70
6.4.5	Kwalitatieve waardering	70
6.4.6	Conclusie bodemdaling locatie pilot 2	71
7	Conclusies en aanbevelingen	72
7.1	Betrouwbaarheid en onzekerheden	72
7.2	Conclusie	72
7.2.1	Locatie pilot 1	72
7.2.2	Locatie pilot 2	74
7.3	Aanbevelingen	75
	Referenties	76

BIJLAGEN

- Bijlage 1: Situatie locatie pilot 1 en locatie pilot 2 met onderzoekpercelen
- Bijlage 2: Resultaten hoogtemeting en situatie boringen
- Bijlage 3: Boorprofielen, inclusief verklaringsblad
- Bijlage 4: Foto's pilotlocaties
- Bijlage 5: Geïnterpoleerde hoogtekaarten locatie pilot 1
- Bijlage 6: Geïnterpoleerde hoogtekaarten locatie pilot 2
- Bijlage 7: Geomorfologische kaart locatie pilot 1 en
- Bijlage 8: locatie pilot 2
- Bijlage 9: Analyse bodemdaling locatie pilot 1 (tabel + kaarten)
- Bijlage 10: Analyse bodemdaling locatie pilot 2 (tabel + kaarten)
- Bijlage 11: AHN-2 locatie pilot 1 en locatie pilot 2
- Bijlage 12: Geïnterpoleerde hoogteverschilkaarten locatie pilot 1
- Bijlage 13: Geïnterpoleerde hoogteverschilkaarten locatie pilot 2
- Bijlage 14: Bodemdalingscontouren prognose bodemdaling compactie gasreservoir
- Bijlage 15: Slootdempingen
- Bijlage 16: Locaties berekende maaiveldverhogingen
- Bijlage 17: Schematische weergave drooglegging en veendiepte locatie pilot 1

Samenvatting

Inleiding

Agrariërs in het gaswinningsgebied in Groningen hebben bij de Commissie Bodemdaling klachten geuit over de aanwezigheid van ingesloten laagtes als gevolg van lokale verzakkingen in landbouwpercelen. Hierdoor blijft na regenval langdurig water op de percelen staan wat de agrariërs in de bedrijfsvoering hindert. De agrariërs wijten deze laagtes aan toegenomen lokale ongelijkmatige maaiveldzakking als gevolg van de gaswinning.

Sweco onderzocht in opdracht van de Commissie Bodemdaling in twee pilots de omvang en de mogelijke oorzaken van (toegenomen) ongelijkmatige bodemdaling op perceelniveau en de bijdrage daarvan door gaswinning, geïnduceerde aardbevingen en autonome (ondiepe) bodemprocessen. De pilots zijn, in samenspraak met LTO Noord en de Federatie Particulier Grondbezit, uitgevoerd op een locatie van een melkveehouderij met graslandpercelen met een bodemprofiel van veen en klei op zand (locatie pilot 1) en op een akkerbouwbedrijf met bouwlandpercelen met een bodemprofiel van klei op zand (locatie pilot 2).

Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van beschikbare hoogtegegevens (TopHoogteMD-bestand en het Actueel Hoogtebestand Nederland) en uitgevoerde hoogtemetingen waarmee berekeningen zijn uitgevoerd. Om inzicht te krijgen in de bodemopbouw en grondwaterstanden is veldonderzoek (boringen) verricht.

Omvang van de (ongelijkmatige) bodemdaling sinds de gaswinning

De omvang van de berekende maaiveldddaling tussen 1960 en 2015 bedraagt op locatie pilot 1 gemiddeld circa 45 cm en op locatie pilot 2 gemiddeld 29 cm. Op basis van metingen en prognoses van de NAM bedraagt de bodemdaling door compactie van het gasreservoir circa 30 cm waarmee de berekende daling voor locatie pilot 2 volledig en voor locatie pilot 1 grotendeels, door compactie van het gasreservoir wordt verklaard. Op locatie pilot 1 is tussen 1960 en 2015 gemiddeld circa 15 cm meer bodemdaling berekend dan de bodemdaling door compactie van het gasreservoir.

Het kwantificeren van (ongelijkmatige) opgetreden maaiveldddaling sinds de gaswinning blijkt complex. Dit komt doordat historische hoogtemetingen uit de periode voor de gaswinning (1960) niet beschikbaar zijn (gekomen) en door de dichtheid en onbekendheid van de exacte locaties van de wel beschikbare hoogtecijfers (één punt per hectare en afgerond op decimeter). Een tweede oorzaak is de onnauwkeurigheid en variabiliteit van de beschikbare hoogtegegevens na het starten van de gaswinning zoals hoogtegegevens die zijn ingewonnen in de periode 1997 – 1999 (AHN-1) en de periode februari – maart 2009 (AHN-2). De foutmarges van deze gegevens kunnen oplopen tot 10 à 20 cm. De absolute waarden van de berekende maaiveldddaling in dit onderzoek dienen daarom te allen tijde met deze kanttekeningen te worden gebruikt.

Oorzaken van ongelijkmatige bodemdaling

De mogelijke oorzaken voor de opgetreden bodemdaling op de pilotlocaties zijn divers van aard en onder te verdelen in oorzaken die gerelateerd zijn aan de gaswinning (G), oorzaken die gerelateerd zijn aan menselijke ingrepen (I) en autonome bodemdalingsprocessen (A). Voor beide onderzoeklocaties zijn de mogelijke oorzaken onderzocht en is de aannemelijkheid van de mogelijke oorzaken kwalitatief gewaardeerd (zie tabel 1 voor de resultaten van locatie pilot 1 en tabel 2 voor de resultaten van locatie pilot 2).

Voor beide pilotlocaties lijkt het niet aannemelijk dat ongelijkmatige bodemdaling op perceelniveau door de gaswinning wordt veroorzaakt dan wel wordt versterkt. Bodemdaling door compactie van het gasreservoir verloopt namelijk traag met een gradiënt die visueel op perceelniveau niet waarneembaar is.

Ongelijkmatige bodemdaling door verweking, verdichting van losgepakte zand- en siltlagen als het gevolg van geïnduceerde aardbevingen, lijkt niet aannemelijk blijkt op basis van de huidige wetenschappelijke inzichten, recente satellietmetingen met InSAR en het ontbreken van waarnemingen op de onderzoeklocaties zoals wellen ('zandfonteinen of sandboils') of scheefgezakte objecten.

De meest aannemelijke oorzaken van lokale maaiveldddaling zijn het optreden van autonome bodemdalingsprocessen en in het verleden uitgevoerde menselijke ingrepen of een combinatie hiervan. Hiermee kan de circa 15 cm bodemdaling op locatie pilot 1 mede vanwege de bodemopbouw die uit (slappe) klei en veenlagen bestaat, worden verklaard.

Het (incidenteel) berijden van de percelen door (zware) landbouwmachines is geen oorzaak van de opgetreden bodemdaling.

Omvang van de (ongelijkmatige) bodemdaling na 2009

Agrariërs in het gebied geven aan dat vooral sinds de toename van het aantal geïnduceerde aardbevingen ongelijkmatige maaiveldzakking is versterkt, de jaren vanaf omstreeks 2009. Uit het onderzoek blijkt dat op basis van het AHN-2 en uitgevoerde hoogtemetingen lokaal meer dan 15 cm hoogteverschil is ontstaan tussen 2009 en 2015 op plaatsen waar de grondeigenaren verzakkingen hebben geconstateerd. Deze berekende bodemdaling kan grotendeels worden verklaard door de in tabel 1 en tabel 2 weergegeven oorzaken en door de onnauwkeurigheid en variabiliteit van de AHN-2 gegevens. Met de in het onderzoek uitgevoerde hoogtemeting kunnen vanwege het gehanteerde meetgrid geen hoogteverschillen binnen een afstand van 25 m worden aangetoond.

Aanbevolen wordt om nader onderzoek te doen naar mogelijk ontstane hoogteverschillen sinds de toename van het aantal en de kracht van de aardbevingen, met behulp van het AHN-3 dat komende jaren beschikbaar zal komen.

De toegenomen zakking van één van de laagtes op locatie pilot 2 kan deels worden verklaard door de variabiliteit in de hoogtegegevens van het AHN-2. Indien uit een vergelijking met het AHN-3 blijkt dat deze laagte dieper is geworden, wordt aanbevolen om ter plaatse een meer gedetailleerde hoogtemeting en intensiever grondonderzoek uit te voeren. Ook kan de hoogte- en vlakteligging van de drainagebuizen in deze percelen worden onderzocht op diepteligging en vlakheid.

Voortbouwend op de verzamelde gegevens en uitgevoerde analyses wordt aanbevolen om van de onderzochte pilotlocaties de hoogte- en vlakteligging te monitoren, indien krachtige bevingen in de nabijheid van deze locaties hebben plaatsgevonden.

TABEL 1: LOCATIE PILOT 1

Mogelijke oorzaken ongelijkmatige bodemdaling	Beoordeling	Verklaring
G Compactie van het gasreservoir	-	> Minimale (niet waarneembare) gradiënt op perceelniveau. > Gelijkmatic en traag verloop van de bodemdaling.
G Geïnduceerde aardbevingen	-	> Maximaal opgetreden piekversnelling < 0,1 g waardoor theoretisch geen verweking kan zijn opgetreden. > Geen waarneming van effecten van verweking in praktijk (wellen en/of scheefgezakte objecten). > Geen toename in variabiliteit bodemdaling op basis van InSAR-data.
G Peilverlaging compensatie bodemdaling	-	> De drooglegging van de percelen is vanaf de start van de gaswinning afgenomen. Hierdoor is de dikte van het veenpakket dat in de zomermaanden droogvalt afgenomen en de snelheid van de maaiveld daling door autonome bodemdalingsprocessen (veenoxidatie) vermindert.
I Slootdempingen	+	> Tussen 1960 en 2015 zijn sloten gedempt. > Hoogteverschillen zijn waarneembaar op het AHN ter plaatse van slootdempingen. > Heterogene bodemopbouw en zettingsvoeligheid bodemprofiel (klei en veen) leidt tot grotere kans op ongelijkmatige nazakkingen.
I Drainage / begreppeling	+	> Drainage ligt vermoedelijk deels in veenlaag waardoor veen kan oxideren. > Door aanleg drainage ten tijde van de ruilverkaveling zijn grondwaterstanden mogelijk beïnvloed. > Op percelen werden voorheen greppels gemaakt waarbij vrijkomende grond op het land naast de greppel is verspreid. > Op het AHN-2 zijn onnatuurlijke lijn- en ruitenpatronen zichtbaar (vermoedelijk greppels).
I Ophoging / grondverzet	+/-0	> Vrijkomende grond uit gegraven mestkelder (uitbreiding stal) is voor slootdemping gebruikt. > Verhoging maaiveld zichtbaar op AHN-2 ter plaatse van slootdemping.
I Peilbeheer	+	> Sinds 1957 is door het gevoerde peilbeheer oxidatie van veenlagen mogelijk. De gemiddeld laagste grondwaterstanden (GLG) zijn in de loop van de tijd vermoedelijk beperkt gewijzigd. > Als gevolg van de bodemdaling is de drooglegging van de percelen afgenomen en door veenoxidatie is de dikte van de (droogvallende) veenlagen geleidelijk afgenomen. Hierdoor is in de loop van de tijd de snelheid van veenoxidatie ook iets afgenomen. > In de huidige situatie worden waterpeilen gehanteerd waarbij de grondwaterstanden (GLG) tot in het veenpakket kunnen uitzakken en veenoxidatie zal blijven optreden. De dikte van het droogvallende veenpakket is waarschijnlijk geringer, waardoor bodemdaling minder snel verloopt. > In de periode kort na de peilverlaging (1983) kunnen autonome bodemdalingsprocessen (kortdurend) zijn versneld.
A Oxidatie en krimp van veen	+	> Veenlagen rondom Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) aanwezig, waardoor onder droge omstandigheden veen oxideert. > Sterke variatie in dikte en diepteligging van het veen leidt tot grotere kans op ongelijkmatige bodemdaling.
A Samendrukking van bovenlagen / zetting	+	> Bodemopbouw is zettingsgevoelig door aanwezigheid van veen en klei. > Bodemopbouw is heterogeen, grotere kans op ongelijkmatige bodemdaling.
A Rijping	+/-0	> Bodemprofiel bestaat deels uit (ongerijpte) kleilagen. > Kleigronden rijpen door ontwatering/drainage.

TOELICHTING

G	Oorzaak is gerelateerd aan gaswinning
I	Oorzaak is gerelateerd aan menselijke ingrepen/activiteiten
A	Oorzaak is (grotendeels) gerelateerd aan autonome bodemprocessen
-	Oorzaak is niet aannemelijk
0	Onvoldoende informatie om aannemelijkheid te beoordelen
+	Oorzaak is aannemelijk

TABEL 2: LOCATIE PILOT 2	Mogelijke oorzaken ongelijkmatige bodemdaling		Beoordeling	Verklaring
	G	Compactie van het gasreservoir	-	> Minimale (niet waarneembare) gradiënt op perceelniveau > Gelijkmatic en traag verloop van de bodemdaling
	G	Geïnduceerde aardbevingen	-	> Maximaal opgetreden piekversnelling < 0,1 g waardoor theoretisch geen verweking kan zijn opgetreden > Geen waarneming van effecten van verweking in praktijk (wellen en/of scheefgezakte objecten) > Geen toename in variabiliteit bodemdaling op basis van InSAR-data
	G	Peilverlaging compensatie bodemdaling	-	> In 2000 is het waterpeil met 6 cm verlaagd volgend op de opgetreden bodemdaling
	I	Slootdempingen	+	> Tussen 1960 en 2015 zijn sloten gedempt > Hoogteverschillen waarneembaar op AHN-2 ter plaatse van slootdempingen
	I	Drainage / begreppeling	-	> Geen veen in bodemprofiel en kans op oxideren van veen rond de drains > Geen begreppeling
	I	Ophoging / grondverzet	-	> Geen ophogingen of grondverzet uitgevoerd volgens eigenaar
	I	Peilbeheer	-	> Geen peilverlagingen ten behoeve van landbouwkundige ontwatering uitgevoerd
	A	Oxidatie en krimp van veen	-	> Geen veen in bodemprofiel
	A	Samendrukking van bovenlagen / zetting	0/+	> Bodemopbouw is licht zettingsgevoelig door aanwezigheid van kleilagen
	A	Rijping	0/+	> Bodemprofiel bestaat deels uit (ongerijpte) kleilagen > Kleigronden rijpen door ontwatering/drainage
TOELICHTING				
G	Oorzaak is gerelateerd aan gaswinning			
I	Oorzaak is gerelateerd aan menselijke ingrepen/activiteiten			
A	Oorzaak is (grotendeels) gerelateerd aan autonome bodemprocessen			
-	Oorzaak is niet aannemelijk			
0	Onvoldoende informatie om aannemelijkheid te beoordelen			
+	Oorzaak is aannemelijk			

1 Inleiding

1.1 Inleiding

In opdracht van de commissie Bodemdaling heeft Sweco onderzoek uitgevoerd naar ongelijkmatige bodemdaling van landbouwpercelen in het aardbevingsgebied in Groningen. Dit onderzoek is ontstaan uit eerdere werkzaamheden die Sweco (onder de naam Grontmij) in opdracht van de NAM, onder begeleiding van LTO Noord en in samenwerking met een expertgroep, heeft uitgevoerd. Deze werkzaamheden bestonden uit het opstellen van onderzoeksprotocollen waarmee schade als gevolg van geïnduceerde aardbevingen aan mestkelders en landbouwdrainage kan worden beoordeeld. Tijdens dat onderzoek is door betrokken partijen aangegeven dat, naast effecten op landbouwdrainage en mestkelders, tevens ongelijkmatige maai-veldzakking op landbouwpercelen als probleem wordt ervaren. Agrariërs in het gaswinningsgebied hebben aangegeven dat (lokaal) ongelijkmatige bodemdaling door geïnduceerde aardbevingen is toegenomen. Hierdoor blijft na regenval langdurig water op de percelen staan wat de agrariërs in de bedrijfsvoering hindert.

Tegen deze achtergrond is door Sweco en de NAM met de Commissie Bodemdaling op 28 augustus 2014 overleg gevoerd om samen te beoordelen of het onderzoek mogelijk kan worden uitgebreid met het onderzoeken van deze lokale ongelijkmatige bodemdalingsproblematiek.

1.2 Onderzoeksvragen

Om inzicht te krijgen in deze lokale ongelijkmatige bodemdaling op landbouwpercelen zijn, mede op basis van het overleg van 28 augustus 2014, de onderstaande onderzoeksvragen door de Commissie Bodemdaling geformuleerd:

- 1) Wat is de omvang van de bodemdaling en de bijdrage daaraan door:
 - gaswinning (diepe compactie reservoir);
 - (ondiepe) bodemprocessen als rijping, oxidatie en zettingen;
 - mogelijke verdichting van eventuele losgepakte zand- en siltlagen tijdens aardbevingen.
- 2) Wat is het mogelijke effect van bodemdaling op de afwatering, het beheer van het oppervlaktewater, landbouwdrainage en golving van landbouwpercelen?
- 3) Welke andere oorzaken zijn er voor schade aan landbouwdrainage en golving van landbouwpercelen (bijvoorbeeld belasting door landbouwmachines)?

Sweco is door de Commissie Bodemdaling gevraagd deze onderzoeksvragen in het lopende onderzoek (opstellen protocollen en uitvoering pilots) te beantwoorden.

1.3 Doel

Doel van het onderzoek is om op basis van een pragmatisch en praktisch uit te voeren onderzoek door middel van pilots inzicht te krijgen in de mogelijk opgetreden ongelijkmatige bodemdaling en de hieraan ten grondslag liggende oorzaken voor twee verschillende onderzoekslocaties (locatie pilot 1 en locatie pilot 2) in het aardbevingsgebied.

1.4 Afbakening

Bij aanvang van het onderzoek is de volgende afbakening vastgesteld.

- Vanwege de gefaseerde aanpak (zie hoofdstuk 2) wordt in dit rapport voornamelijk ingegaan op de eerste onderzoeksvraag zoals omschreven in §1.2.
- Het onderzoek is uitgevoerd op twee pilotlocaties van circa 25 hectare.
- Onderzoek naar op welke wijze diepe en ondiepe bodemdalingsprocessen elkaar (kunnen) beïnvloeden valt buiten de scope van dit onderzoek.
- Onderzoek naar het optreden van verweking is verkennend en kwalitatief op basis van beschikbare informatie en expert judgement uitgevoerd.

1.5 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt de werkwijze van het onderzoek beschreven. Hoofdstuk 3 geeft uitleg over processen die (ongelijkmatige) bodemdaling kunnen veroorzaken. In hoofdstuk 4 en 5 zijn de resultaten van de inventarisatie van respectievelijk locatie pilot 1 en locatie pilot 2 opgenomen. In hoofdstuk 6 volgen de resultaten van de analyses van opgetreden bodemdaling voor respectievelijk locatie pilot 1 en locatie pilot 2. Tot slot volgen in hoofdstuk 7 de conclusies en aanbevelingen.

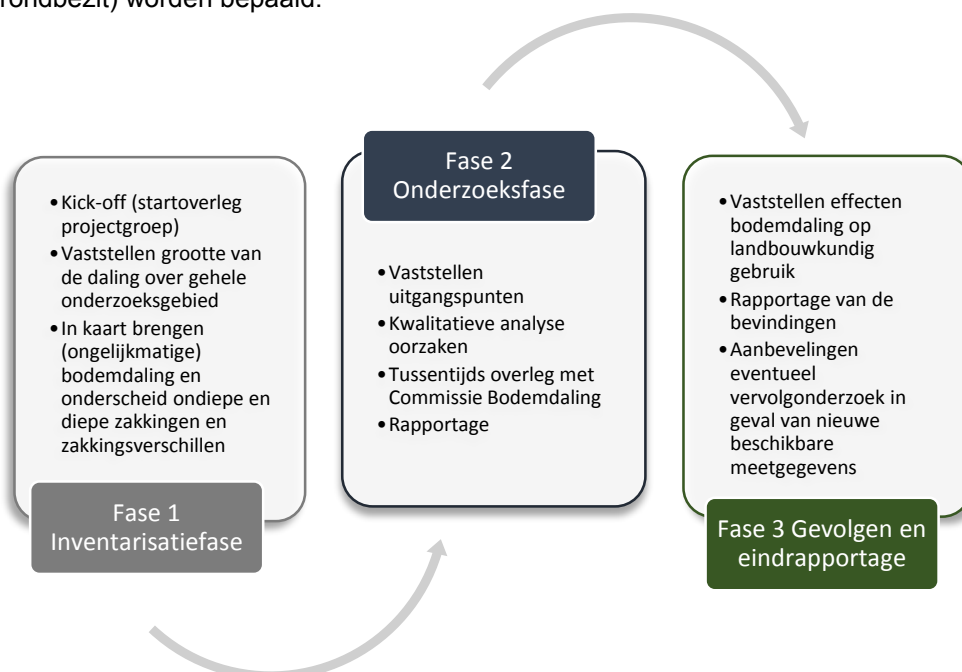
2 Werkwijze onderzoek pilotlocaties

2.1 Fasering

Het onderzoek is gefaseerd uitgevoerd (zie figuur 2.1). Er is gestart met een inventarisatie (fase 1), gevolgd door een onderzoeksfase (fase 2) waarin een kwalitatieve bepaling van de oorzaken van (ongelijkmatige) bodemdaling is uitgevoerd. De werkzaamheden die hiervoor zijn uitgevoerd, zijn in dit hoofdstuk beschreven.

Deze rapportage is te beschouwen als afronding van deze fase.

Of en op welke wijze de vervolgfases (beantwoording van onderzoeksvraag 2 en 3) worden uitgevoerd, zal in overleg met de begeleidingscommissie (LTO Noord en de Federatie Particulier Grondbezit) worden bepaald.



Figuur 2.1 Gefaseerde opzet analyse ongelijkmatige bodemdaling

2.2 Onderzoeklocaties

In overleg met de Commissie Bodemdaling en de begeleidingscommissie zijn twee pilotlocaties gekozen. Er is gekozen voor twee verschillende locaties die aan de volgende criteria voldoen:

- er is sprake van een klacht over ongelijkmatige bodemdaling;
- de locatie ligt binnen de risicocontour van aardbevingen;
- de locatie ligt binnen de contour van het bodemdalingsgebied (hiermee wordt de grootschalige bodemdaling bedoeld die wordt veroorzaakt door compactie van het gasreservoir. Dit proces wordt nader toegelicht in § 3.2.2);
- de locaties hebben een representatieve bodemopbouw voor het aardbevingsgebied, maar verschillen onderling in bodemopbouw.

De twee pilotlocaties zijn gekozen op de twee meest in provincie Groningen voorkomende typen ondiepe ondergrond, te weten: veen (locatie pilot 1) en klei (locatie pilot 2).

De Commissie Bodemdaling kent 13 agrariërs in het gaswinningsgebied op veengronden waar klachten zijn over lokale maaiveld-daling. In dit veengebied zijn percelen (in deze rapportage aangeduid als locatie pilot 1) onderzocht. Deze locatie is gekozen, omdat er percelen zijn waar volgens de eigenaar sprake is van ongelijkmatige bodemdaling en daarnaast zijn er percelen waar geen klachten zijn (referentieperceel). Bovendien zijn het percelen waar volgens de grondeigenaar geen ingrepen zijn uitgevoerd die van invloed zijn op de ongelijkmatige bodemdaling (zoals slootdempingen, ophogingen, egalisatie etc.).

Locatie pilot 2 is aangedragen door één van de leden van de begeleidingscommissie. De keuze is mede bepaald vanwege de verschillen in bodemopbouw. De bodemopbouw van locatie pilot 1 is op hoofdlijnen te karakteriseren als klei op veen en van locatie pilot 2 als klei en geen veen in de ondergrond. Daarnaast ligt locatie pilot 2 in de 1^{ste} schil van de Electraboezem en bevindt zich in het diepste deel van het bodemdalingsgebied. Deze locatie ligt tevens op zeer korte afstand van de zwaarste bevingen in het gebied. Bovendien is dit een akkerbouwgebied, zodat zowel grasland (locatie pilot 1) als akkerbouw (locatie pilot 2) in het onderzoek zijn meegenomen. Zeer indicatief zijn de regio's, waarin de pilotlocaties zijn gelegen, weergegeven in figuur 2.2.

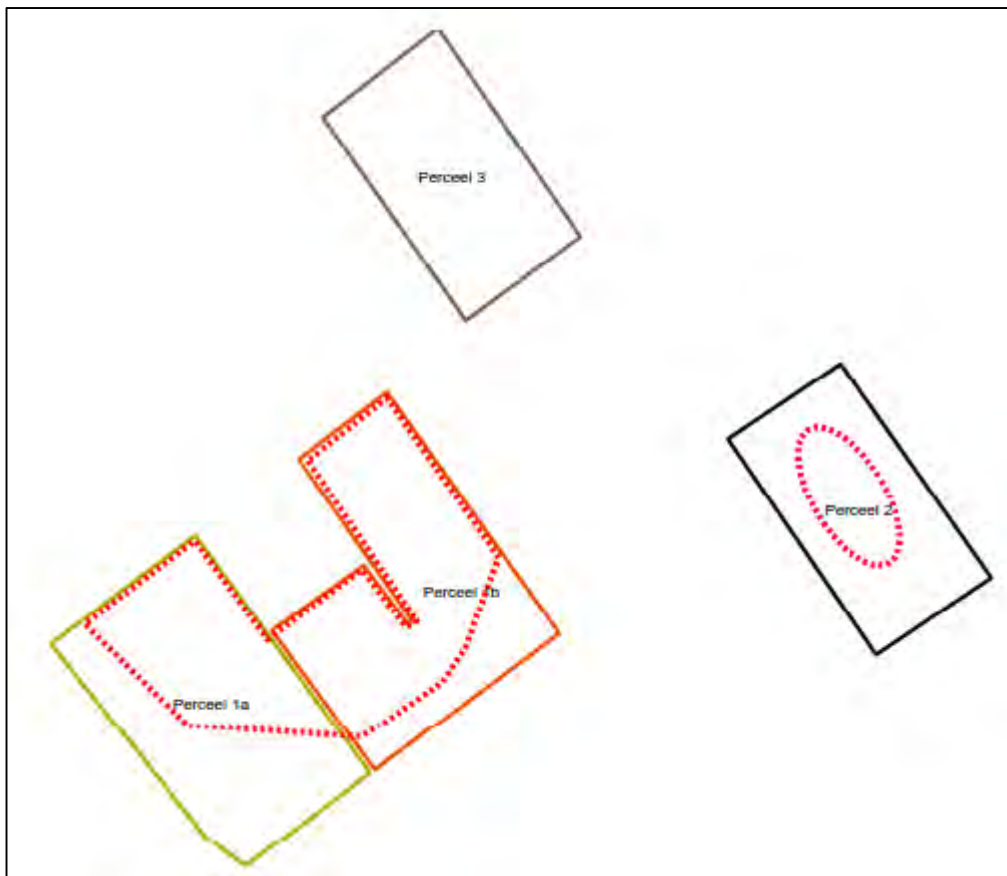


Figuur 2.2 Indicatieve aanduiding regio's met ligging locatie pilot 1 – klei op veen (witte contour) en locatie pilot 2 - klei (oranje contour)

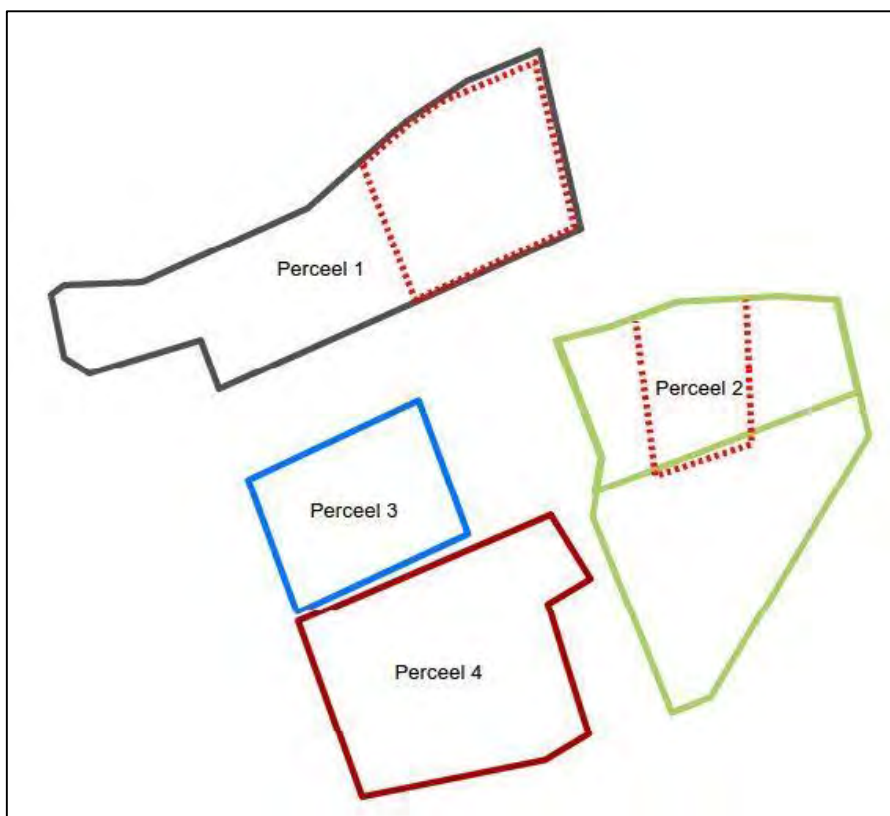
2.3 Locatiebezoek grondeigenaren

Na het vaststellen van de onderzoeklocaties zijn in april 2015 de grondeigenaren van beide locaties door Sweco bezocht. Tijdens deze gesprekken is informatie verzameld over de exacte ligging van de percelen met ongelijkmatige bodemdaling en de in het verleden op de percelen (mogelijk) uitgevoerde activiteiten die van invloed kunnen zijn op de hoogte- en vlakteligging. Voorbeelden zijn egalisatiewerkzaamheden, slootdempingen etc. Tevens is een toelichting gegeven op de uit te voeren veldwerkzaamheden en zijn afspraken gemaakt onder welke omstandigheden en op welke wijze de veldwerkzaamheden kunnen worden uitgevoerd. Dit in verband met het voorkomen van gewasschade en structuurschade aan de bodem.

In figuur 2.3 en 2.4 zijn met rode contouren (onderbroken lijn) de locaties van de percelen aangegeven waar volgens de grondeigenaren sprake is van toegenomen ongelijkmatige bodemdaling. Volgens de grondeigenaren is deze toegenomen ongelijkmatige bodemdaling het gevolg van de toename van geïnduceerde aardbevingen. Tevens zijn in de figuur de overige (delen van) percelen weergegeven waar onderzoek is uitgevoerd. De kaarten zijn tevens (op schaal) opgenomen in bijlage 1.



Figuur 2.3 Onderzoeklocaties locatie pilot 1 met locaties ongelijkmatige bodemdaling (rode contouren)



Figuur 2.4 Onderzoeklocaties locatie pilot 2 met locaties ongelijkmatige bodemdaling (rode contouren)

2.4 Bureauonderzoek

Ten behoeve van het onderzoek is bureauonderzoek verricht waarbij onder andere de volgende bronnen zijn geraadpleegd. De volledige lijst met geraadpleegde bronnen is opgenomen in de referentielijst achterin het rapport¹.

- Website www.watwaswaar.nl – een website met historische gegevens van Nederland, voor dit onderzoek zijn onder andere historische topografische kaarten (1953, 1970, 1982 en 1990) geraadpleegd (gedurende het onderzoek, december 2015, is deze website beëindigd).
- Website www.topotijdreis.nl – een website met historische topografische gegevens van Nederland (gedurende het onderzoek, september 2015, is deze website beschikbaar gekomen).
- Websites google.maps.nl en www.bing.com/maps, onder andere luchtfoto's.
- Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000, kaartblad 3 West Uithuizen, 1987, en kaartblad 7 Oost Groningen, 1979.
- Geomorfologische kaart van Nederland, J. A. M. ten Cate en G. C. Maarleveld. 1977, schaal 1:50.000, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen, Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN-2 en AHN-1), www.ahn.nl.
- DINOloket, www.dinoloket.nl.
- Informatie waterschap Noorderzijlvest, informatie medegedeeld via de e-mail (Floris Knot, Watersysteembeheerder).
- Diverse kaarten die zijn opgesteld in het kader van de ruilverkavelingen. Het betreft ruilverkaveling Stedum-Loppersum en ruilverkaveling De Noordpolder.
- TophoogteMD-bestand: voor het bepalen van de oorspronkelijke maaiveldhoogtegegevens (de nulsituatie voor de gaswinning) is gebruik gemaakt van het TOPhoogteMD-bestand (zie kader voor een nadere toelichting).

¹ Nummering van de bronnen is weergegeven met corresponderend nummer tussen de haken [x], zoals opgenomen in referentielijst

TophoogteMD-bestand

Het TophoogteMD-bestand is een landdekkend, digitaal hoogtebestand van Nederland, vervaardigd in 1992 en bestaat voor het grootste deel uit hoogtepunten die gedigitaliseerd zijn van oude hoogtekaarten die door de toenmalige Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat (MD) werden gemaakt [2]. Deze hoogtepunten zijn in de periode 1942-1983 ingewonnen. Opdrachtgever voor het maken van dit bestand was onder andere de Topografische Dienst. Het bestand wordt niet meer geactualiseerd. Voor perceel 1 van locatie pilot 2 zijn deze gegevens ter illustratie hieronder opgenomen.

De Meetkundige Dienst [1] beschrijft dat deze hoogtepunten door veldmetingen zijn ingewonnen. De z-waarde is hierbij ten opzichte van NAP afgerond op de decimeter.

Door Rijkswaterstaat [2] is aangegeven dat de hoogtekaart van Nederland, het TopHoogteMD-bestand, (schaal 1:10.000) is uitgegeven door de Topografische Dienst. De hoogtegetallen zijn afgerond op decimeter en met een dichtheid van één punt per hectare op de kaart aangegeven. De decimaalstip in ieder hoogtegetal geeft de plaats van het hoogtegetal aan. Bovenaan de kaart is in een diagram aangegeven door welke instantie de hoogtemeting is verricht en wanneer deze heeft plaatsgevonden. Vaak komen op deze voor derden Diensten verstrekte gegevens (schaal 1:5.000) meerdere hoogtegetallen dan 1 per ha voor (meestal 3 à 4 punten per hectare en afgerond op cm) [2].

Navraag bij Rijkswaterstaat [3] over de nauwkeurigheid van het TopHoogteMD-bestand heeft de volgende informatie opgeleverd.

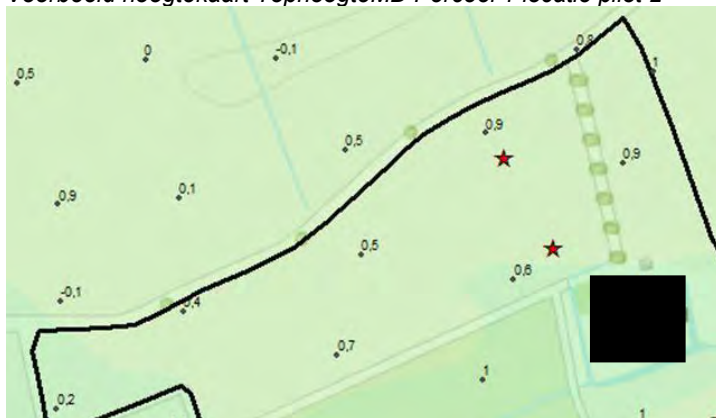
- De atlas is een digitalisering van de oude hoogtekaarten van de Meetkundige Dienst, die in zeer uiteenlopende jaren zijn ingewonnen. Volgens de metadata van het digitale bestand zijn de hoogtes bepaald door middel van waterpassingen en terrestrische metingen (hiermee kan dus ook waterpassing worden bedoeld).
- Naast de nauwkeurigheid van de hoogtemeting zelf is van belang te melden dat de hoogtes zijn bepaald voor kaarten met een schaal 1:10.000 en dat de positie dus niet nauwkeurig bekend hoefde te zijn. Dit maakt het moeilijk om die hoogtes te vergelijken met recentere hoogtes uit bijvoorbeeld het AHN.
- Er kan geen uitspraak worden gedaan over de nauwkeurigheid van het TopHoogteMD-bestand.

Onbekend is waar er een filtering op de oorspronkelijke hoogtepunten heeft plaatsgevonden. Mogelijk dat de gegevens nog beschikbaar zijn bij de diverse partijen die hebben meegewerkt aan de inmeting van deze gegevens [4]. De gegevens blijken niet bij Rijkswaterstaat, het Groninger Archief en verschillende universiteitsbibliotheken beschikbaar.

Voor de hoogtekaart schaal 1:10.000 waren deze eventuele 'meer gedetailleerde' gegevens niet van meerwaarde geweest gezien de gebruikte inmeettechnieken en plaatsbepaling van destijds. Als de plaats van een punt op deze kaart een afwijking van 1 millimeter heeft, levert dit in het veld dus al een verschil van 10 meter op. Voor deze kaartschaal is destijds besloten dat deze visualisatie toen het hoogst haalbare was [4].

Ten behoeve van dit onderzoek is uitgegaan van het TopHoogteMD-bestand. Dit was de best beschikbare informatie over de maaiveldhoogte voor de start van de gaswinning. Hierbij is als uitgangspunt gehanteerd dat de meetpunten op de kaart overeenkomen met de hoogte van het maaiveld voor de start van de gaswinning.

Voorbeeld hoogtekaart TophoogteMD Perceel 1 locatie pilot 2



2.5 Uitvoering veldwerkzaamheden

2.5.1 Landmeetkundige opname

Om inzicht te krijgen in de huidige hoogte- en vlakteligging is op de percelen een hoogtemeting uitgevoerd. De hoogtemeting is uitgevoerd door het Veldwerkbureau (mei 2015). Hierbij zijn naast de locaties van de hoogtepunten van het TopHoogteMD-bestand tevens de percelen ingemeten in een ruitengrid van 25 x 25 m. Tevens zijn de onderzoeklocaties (boorpunten) ingemeten.

Van elk meetpunt zijn de coördinaten (x, y, z) met GPS vastgelegd. De hoogtemeting met een GPS wordt door een correctiesignaal, gestuurd vanuit een vaste opstelling op een Rijksdriehoekpunt die nauwkeuring in x, y en z bekend is, gecorrigeerd naar cm nauwkeurigheid.

De metingen zijn uitgevoerd met een tweekanaal-ontvanger om de atmosferische en multipath invloed te neutraliseren. Met deze manier van meten is de nauwkeurigheid in de x en y ± 1 cm en in de hoogte ± 2 cm. Uit controlemetingen blijkt dat de meeste hoogtemetingen ook vaak uitkomen op een nauwkeurigheid van ± 1 cm.

De meetstok is bij elke meting op een representatief meetpunt geplaatst. Factoren die de meting zouden kunnen beïnvloeden, zoals grondkluiten, rijsporen, molshopen en dergelijke, zijn vermeden.

Op locatie pilot 1 is ter plaatse van het referentieperceel (perceel 3) geen hoogtemeting verricht. Aangenomen is dat ter plaatse, mede op basis van informatie van de grondeigenaar, geen lokale maaiveldzakkingen als gevolg van geïnduceerde aardbevingen zijn opgetreden.

Op locatie pilot 2 is ter plaatse van de gerstpercelen een aangepast meetgrid aangehouden om gewasschade te voorkomen. Hier zijn de spuitsporen gevolgd (tussenafstand circa 33 m) waarbij de metingen direct naast de paden zijn uitgevoerd. De resultaten van de hoogtemetingen zijn voor beide locaties weergegeven op de tekeningen in bijlage 2.

2.5.2 Bodemkundig onderzoek

Om inzicht te krijgen in de bodemopbouw en grondeigenschappen is bodemkundig onderzoek verricht. De volgende werkzaamheden zijn uitgevoerd:

- het uitvoeren van handboringen tot een diepte van 5 à 6 m -mv ter plaatse van alle percelen op elk punt waar een hoogtecijfer uit het TOPHoogteMD-bestand beschikbaar is;
- het uitvoeren van enkele aanvullende handboringen tot 5,0 m -mv ter plaatse van de locaties met lokale maaiveldzakking. Enkele boringen zijn dieper doorgezet, indien het Pleistocene zand niet binnen 6,0 m -mv is bereikt;
- het steken van kopeckyringen ter plaatse van de te onderscheiden lagen tot 2,0 m -mv;
- het opnemen van de grondwaterstanden in de open boorgaten.

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).

Er is bij de keuze van de boorlocaties zo veel mogelijk getracht in raaien te werken, rekening houdend met de locaties met lokale maaiveldzakking en de beschikbare hoogtecijfers uit het TopHoogteMD-bestand. Tevens zijn op basis van visuele waarneming en op aanwijzing van de grondeigenaar (locatie pilot 2) enkele aanvullende boringen in de laagste delen van de percelen uitgevoerd.

In de onderzoeksopzet is ervoor gekozen om op beide locaties naast de percelen met ongelijkmatige bodemdaling ook een zogenaamd referentieperceel te onderzoeken. Op dit referentieperceel wordt door de grondeigenaar geen hinder ondervonden van ongelijkmatige bodemdaling en zijn geen activiteiten uitgevoerd die van invloed kunnen zijn op de hoogteligging, zoals slootdempingen, grondverzet, egalisatie en dergelijke.

De locaties van de onderzochte percelen en de locaties van de boringen zijn opgenomen in bijlage 2. De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd door het Veldwerkbureau (mei 2015) en door Sweco begeleid.

De resultaten van de boringen zijn middels getekende boorprofielen opgenomen in bijlage 3. Vanwege het bodemkundig karakter van dit onderzoek zijn de profielen volgens Stiboka-legenda gepresenteerd en in de tekst van dit rapport op die manier beschreven. Volledigheids-halve zijn de profielen ook volgens de NEN5104-beschrijving in bijlage 3 opgenomen.

2.6 Dataverwerking

Met behulp van ArcGis zijn de onderzoeksgegevens en het kaartmateriaal verwerkt. Door middel van interpolatie zijn vlakdekkende hoogtekarten gemaakt. Historische kaarten zijn in ArcGis gegeogerefeerd, zodat ze overeenkomen met de coördinaten van de onderzoeklocaties. Voor het maken van de hoogtekarten en de veendieptekarten is de natural neighbor interpolatietechniek gebruikt.

Voor de analyse van de opgetreden bodemdaling is gebruik gemaakt van het AHN-2 (Actueel Hoogtebestand Nederland) en het AHN-1. De hoogteopname van het AHN-2 dateert van 2009 [7] de opname van het AHN-1 van 1997 tot 1999. Voor de analyse van de hoogte van het AHN-1 is uitgegaan van het jaartal 1998.

Om inzicht te krijgen in de bodemdaling tussen 2009 en 2015 zijn van de in 2015 gemeten hoogtes, de hoogtes, zoals deze in 2009 waren, aan de hand van het AHN-2 bepaald. Vervolgens zijn deze hoogtes geïnterpoleerd en is een hoogteverschilkaart gemaakt.

2.7 Interpretatie resultaten

Per perceel zijn op basis van expert judgement en literatuur de resultaten geïnterpreteerd en is de mate van (ongelijkmatige) bodemdaling beoordeeld en zijn de (mogelijke) oorzaken benoemd. In de beschrijving van de resultaten wordt daarom per perceel aandacht besteed aan de volgende onderwerpen:

- de opgetreden maaiveld daling tussen 1960 en 2015;
- de bodemdaling als gevolg van compactie van het gasreservoir;
- de opgetreden autonome bodemdaling tussen 1960 en 2015;
- de opgetreden (autonome) bodemdaling tussen 2009 en 2015;
- de (mogelijk) opgetreden bodemprocessen en historische activiteiten (slootdempingen en dergelijke).

3 Bodemdalingsprocessen

3.1 Inleiding

Bodemdaling is feitelijk het zakken van het niveau van het maaiveld ten opzichte van een vast referentiepunt, bijvoorbeeld het Normaal Amsterdams Peil (NAP). Op lokale schaal is bodemdaling alleen waar te nemen als er zich in het gebied waar daling plaatsvindt, een referentiepunt aanwezig is dat niet of minder snel daalt. Bodemdaling wordt veroorzaakt door een aantal processen die deels door de mens worden beïnvloed. In dit hoofdstuk worden de processen die bodemdaling veroorzaken besproken.

3.2 Oorzaken en achterliggende processen

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

1. Tektonische daling en isostasie
2. Compactie door gaswinning
3. Oxidatie en krimp van veen
4. Samendrukking bovenlagen
5. Rijping

Hieronder volgt per proces een toelichting.

3.2.1 *Tektonische daling en isostasie*

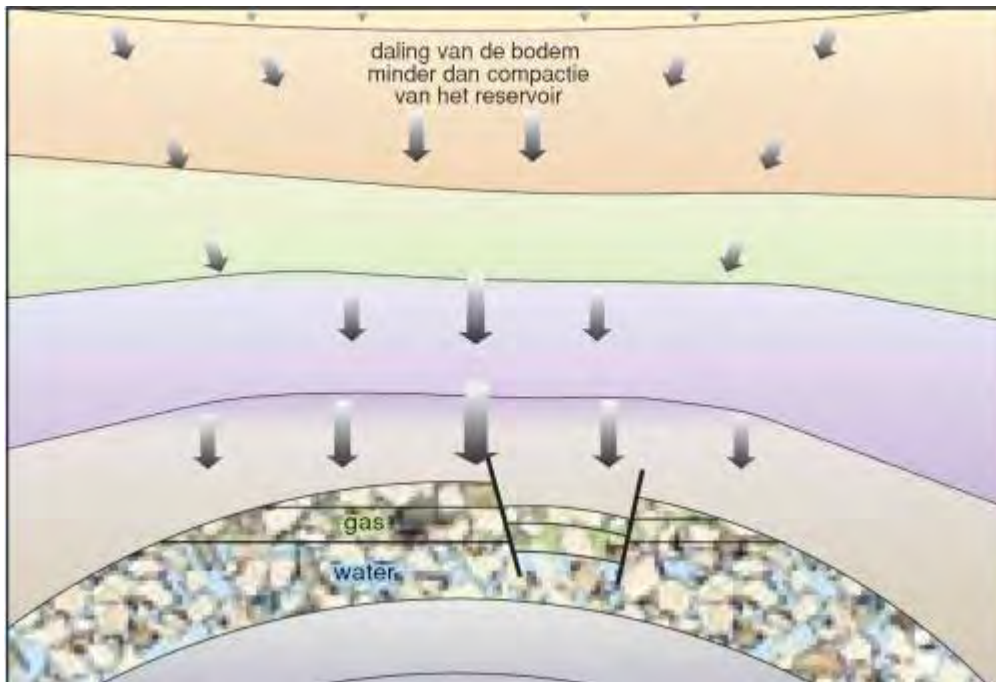
Tektonische daling treedt op als gevolg van geologische processen in de diepe ondergrond. De tektonische daling in Nederland wordt geschat op maximaal 1,8 cm per, wat neerkomt op 0,18 mm/jaar [22].

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 [23] geschat op maximaal 0,3 mm/jaar.

In het bodemdalingsgebied van de gaswinning in Groningen bedraagt de daling 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 [6].

3.2.2 *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. 3.1 Ontstaan van de bodemdalingsskom door compactie van het reservoir [5]

Teneinde de bodemdaling door diepe compactie als gevolg van aardgaswinning te kunnen Bepalen, is door NAM in 2010 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. september 2010 [5]. 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 tot eind 2008².

Eénmaal per vijf jaar wordt de gemeten bodemdaling en een nieuwe prognose gepubliceerd in het zogenaamde Statusrapport. Voor het meten van de compactie van de gashoudende laag zijn in het verleden elf observatieputten ingericht. Van deze observatieputten zijn er nu nog zeven in gebruik. Uit de metingen blijkt de compactie lineair met de drukdaling te zijn toegenomen [6].

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 (onder andere voor het jaar 2025).

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 [5].

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

² In de eindfase van dit onderzoek is het Statusrapport 2015 Bodemdaling door Aardgaswinning door de NAM gepubliceerd (december 2015). De resultaten van deze rapportage zijn niet in dit onderzoek meegenomen.

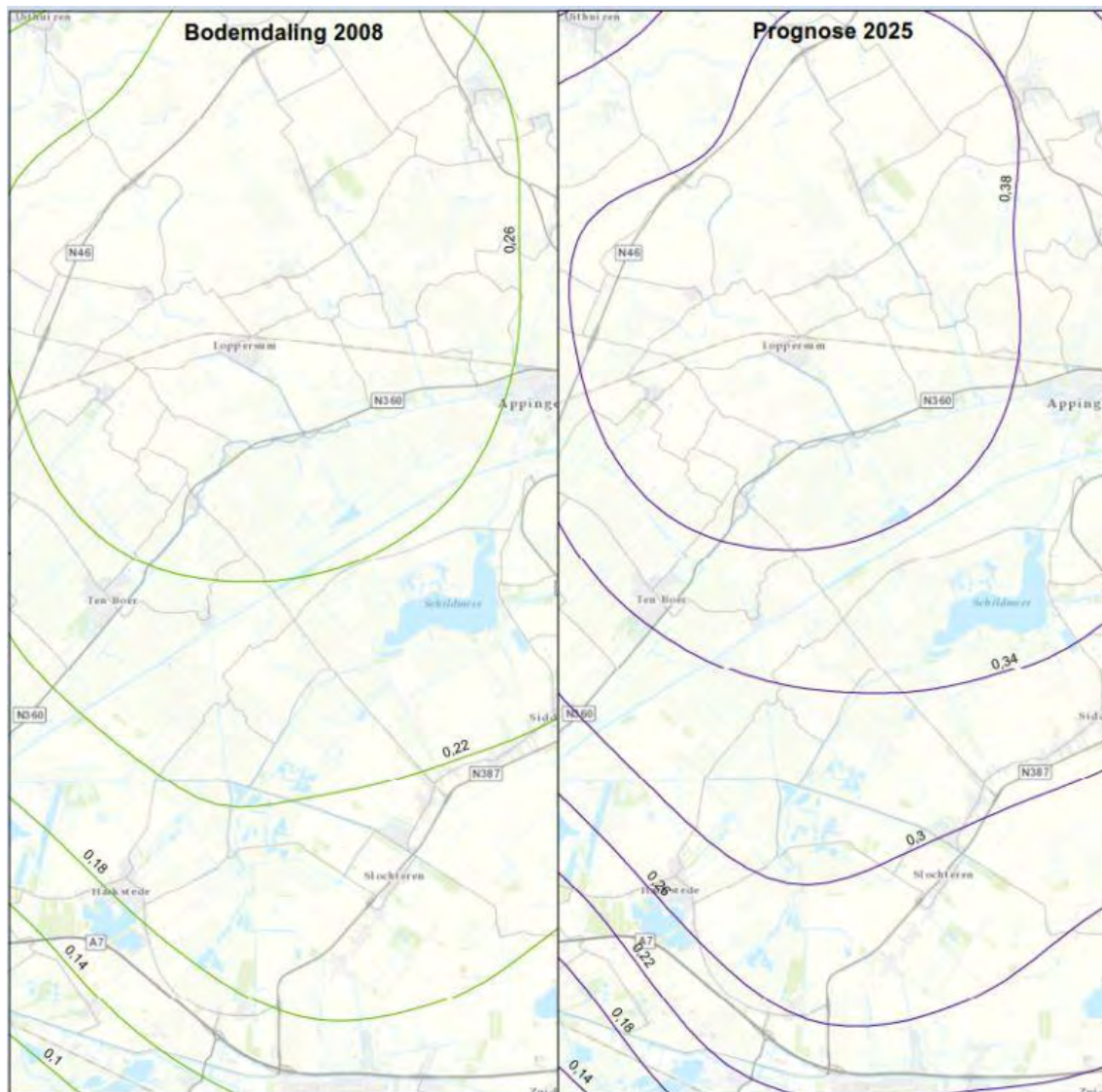
Middeldiepe compactie

Om een onderscheid te maken tussen de bodemdaling veroorzaakt door diepe compactie ten gevolge van gaswinning en middeldiepe compactie (compactie tussen 20 en 400 m beneden maaiveld) veroorzaakt door bijvoorbeeld peilverlagingen of natuurlijke klink, is tussen 1970 en 2003 de compactie van de middeldiepe ondergrond in veertien ondiepe compactieputten gemeten. De middeldiepe compactie werd gemeten tussen 20 m (fundatie meetgebouw) en 400 m beneden maaiveld. De dalingssnelheid bleek (na de zetting van de fundering van de meetgebouwen gedurende de eerste zeven jaar) over een periode van 25 jaar constant te zijn per locatie, variërend van 0 tot 1 mm per jaar. Om deze reden zijn de metingen, na overleg met de Commissie Bodemdaling Groningen en SodM in 2003, beëindigd waarna de middeldiepe compactieputten in de provincie Groningen zijn verlaten. Een uitgebreide analyse van de meetresultaten leidde tot de conclusie dat de middeldiepe compactie van plaats tot plaats varieert en niet over grotere gebieden kan worden geëxtrapoleerd. De metingen geven een goede lokale indicatie van de middeldiepe compactie, maar zijn niet geschikt om de bodemdaling veroorzaakt door de middeldiepe compactie over geheel Groningen te bepalen. Hierdoor wordt de bodemdaling ten gevolge van de middeldiepe compactie meegenomen in de bodemdaling door gaswinning [6]. In Annerveen wordt een ondiepe compactie gemeten van 0,2 mm per jaar [5].

3.2.3 Prognose NAM bodemdaling ter plaatse van de pilotlocaties in 2015

Door NAM zijn de bodemdalingscontouren voor 2008 en de prognose voor 2025 beschikbaar gesteld (zie figuur 3.2 en 3.3). Deze contouren geven inzicht in de volgens NAM opgetreden bodemdaling als gevolg van compactie door de gaswinning (sinds 1960) en de nog te verwachten bodemdaling tot 2025. De beide kaarten zijn tevens (op schaal) opgenomen in bijlage 13.

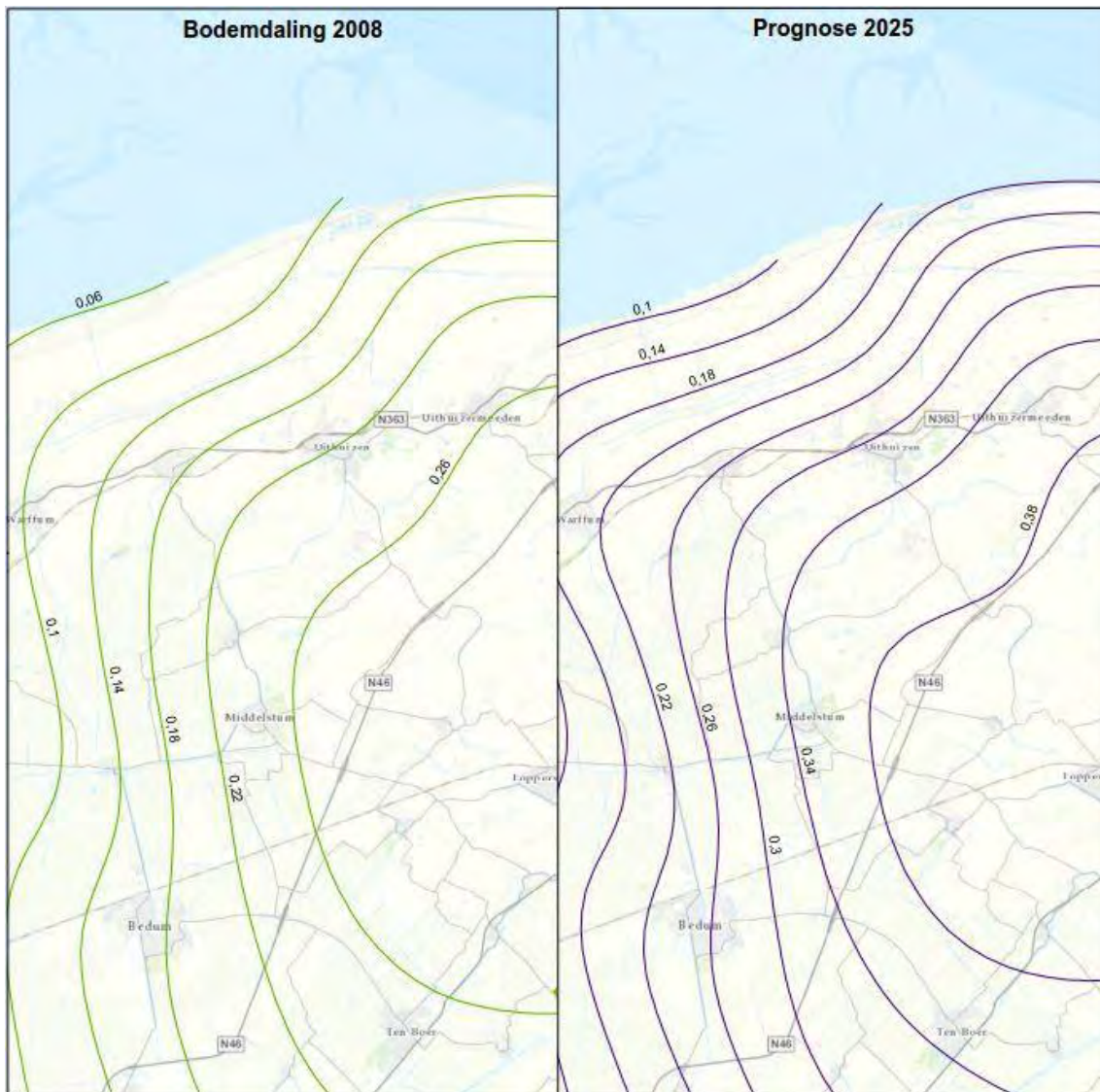
Uit de bodemdalingscontouren is opgemaakt dat locatie pilot 1 in de contour ligt van 0,26 m bodemdaling in 2008 en een prognose van 0,38 m bodemdaling in 2025. Uitgaande van een lineair verloop van de daling wordt voor 2015 uitgegaan van in totaal 0,31 m opgetreden (gelijkmatige) bodemdaling als de gevolg van compactie van het gasreservoir.



Figuur 3.2 Bodemdalingscontouren locatie pilot 1: links contour bodemdaling 2008 (groen), rechts prognose bodemdaling 2025 (paars) [13].

Op basis van de contouren bedraagt de tussenafstand van de dichtstbijzijnde contouren in 2008 circa 5.800 m, resulterend in een gradiënt in de bodemdaling voor 2008 van 4 cm op circa 5.500 m (< 1 cm per km). In 2025 bedraagt deze gradiënt 4 cm op circa 4.000 m (ongeveer 1 cm per km). Dit verschil in gradiënt is visueel op perceelniveau niet waarneembaar.

Locatie pilot 2 ligt tussen de bodemdalingscontouren (2008) van 0,22 en 0,26 m. Tot 2008 wordt uitgegaan van 0,24 m bodemdaling. De prognose van de bodemdaling in 2025 bedraagt 0,34 m. Uitgaande van een lineair verloop wordt voor 2015 uitgegaan van in totaal 0,28 m bodemdaling als de gevolg van compactie van het gasreservoir.



Figuur 3.3 Bodemdalingcontouren locatie pilot 2: links contouren bodemdaling 2008 (groen), rechts prognose bodemdaling 2025 (paars) [13].

Op basis van de contouren bedraagt de tussenafstand van de dichtstbijzijnde contouren in 2008 circa 3.000 m, resulterend in een gradiënt in de bodemdaling voor 2008 van 4 cm op circa 3.000 m (1,3 cm per km). In 2025 bedraagt deze gradiënt 8 cm op circa 5.500 m (ongeveer 1,5 cm per km). Dit verschil in gradiënt is op perceelniveau visueel niet waarneembaar.

3.2.4 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 'verbrandt'. 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 grondwaterniveau.

Uit langjarig onderzoek door Van den Akker blijkt dat maaiveldddaling in veenweidegebied sterk gerelateerd is aan de grondwaterstanden aan het einde van de zomer. De grondwaterstanden zijn dan op zijn diepst en de bodemtemperatuur op zijn hoogst. Dit zijn optimale omstandigheden voor oxidatie. Van den Akker heeft een langjarige gemiddelde maaiveldddaling vastgesteld van 0,6 cm per jaar bij ondiepe grondwaterstanden (< 40 cm -mv) tot 1,2 cm per jaar bij diepere grondwaterstanden (ca. 60 cm -mv) [8].

Voor de pilotlocaties zijn geen gegevens over de bodemdaling door veenoxidatie beschikbaar. In het beheersgebied van Waterschap Hunze en Aa's daalt de bodem onder andere in het noordelijk deel (ten zuiden van het Eemskanaal) met 1 à 2 cm per jaar door veenoxidatie met de opmerking dat de verschillen van plaats tot plaats sterk kunnen variëren [6].

3.2.5 *Samendrukking van bovenlagen*

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 sterkte-parameters 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. Er zijn geen gegevens beschikbaar over de bodemdaling als gevolg van samendrukking van bovenlagen voor de pilotlocaties.

3.2.6 *Rijping*

Rijping 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 toegedrukt (is toename korrelspanning). Gevolg hiervan is dat de grond in elkaar wordt gedrukt (krimpt) 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. Er zijn geen gegevens beschikbaar over de bodemdaling als gevolg van rijping voor de pilotlocaties.

3.2.7 *(Ongelijkmatige) zakking door verdichting bij verweking van los gepakte zand- en siltlagen*

Een belangrijk effect van aardbevingen in relatie tot drainage en maaiveldzakking is verweking en verdichting van de ondergrond door trillingscompactie. Als gevolg hiervan kunnen losgepakte 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.

In zowel de NPR 9998:2015 (Beoordeling van de constructieve veiligheid van een gebouw bij nieuwbouw, verbouw en afkeuren - Grondslagen voor aardbevingsbelastingen: geïnduceerde aardbevingen) als de Handreiking voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen voor bedrijven in de industriegebieden Delfzijl en Eemshaven van Deltares (2015) wordt ingegaan op zakkings door compactie als gevolg van verweking. Op basis van de meest recente inzichten neemt de kans op verweking toe bij piekversnellingen (PGA, de hoogste waarde van de versnelling aan het maaiveld tijdens een aardbeving) van 0,1 tot 0,15 g. In de NPR 9998:2015 is een PGA ondergrens van 0,1 g aangegeven waaronder beschouwing van de gevoeligheid voor verweking niet meer benodigd is. Aangezien tot op heden de maximaal opgetreden piekversnelling deze ondergrens niet heeft overschreden kan conform de NPR 9998 aannemelijk worden gemaakt dat er tot dusver geen relevante zakkings(verschillen) ten gevolge van verwekingseffecten hebben kunnen plaatsvinden.

Hanssen (2015) onderzocht de bodemdalingsvariabiliteit uit InSAR data [19]. Uit de resultaten blijkt dat er geen blijvende vervormingen van het maaiveld zijn opgetreden als gevolg van het optreden van geïnduceerde aardbevingen. Uit het rapport en aanvullende informatie [20] is opgemaakt dat met deze gegevens geen hoogteverschillen op perceelniveau kunnen worden aangetoond [20].

3.3 Invloed van menselijke activiteiten

Als gevolg van menselijke activiteiten kan (ongelijkmatige) bodemdaling ontstaan of worden versneld. De mogelijke activiteiten zijn inclusief toelichting opgenomen in onderstaande tabel.

Activiteit	Toelichting
Peilbeheer - peilaanpassingen - onderbemalingen	Om de productieomstandigheden voor de landbouw te verbeteren, zijn in het kader van ruilverkavelingen en herinrichtingen, de waterpeilen in veel gebieden aanzienlijk verlaagd en is de ontwatering en afwatering verbeterd. Als gevolg hiervan zijn ook de grondwaterstanden verlaagd. In de periode 1960 – 1985 zijn vrijwel overal peilverlagingen doorgevoerd variërend van enkele decimeters tot meer dan 1 meter [6]. Als gevolg van verlaging van het slootpeil of onderbemalingen kan het grondwater verder uitzakken waardoor bodemprofielen met veen in contact met zuurstof komen en oxideren. Kleigronden kunnen door rijping inklinken en zakken door samendrukking van bovenlagen. Ter compensatie van de bodemdaling door compactie van het gasreservoir zijn, en worden, ook peilwijzigingen doorgevoerd. Hierbij wordt het peil verlaagd nadat de bodemdaling is opgetreden, waardoor dit geen grondwaterstandverlaging veroorzaakt en geen verdere bodemdaling veroorzaakt.
Bemaling (tijdelijke grondwaterstandsverlaging)	Bij bemalingen wordt lokaal water weggepompt en dat zorgt voor een relatief groot verhang in de grondwaterstand. Door variatie in de bodemopbouw kan als gevolg van samendrukking van bovenlagen (slappe bodemlagen zoals klei- en veen) ongelijkmatige bodemdaling optreden.
Vochtonttrekking door gewas en bodem	Dit speelt vooral voor gronden met meer dan >8% lutum (kleideeltjes) en met organische bestanddelen is gebonden. Het waterverlies is groter naarmate een grond kleiiger en humeuzer is. Bij dergelijke ongerijpte gronden raken door vochtonttrekking de grotere poriën 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 toegedrukt. Gevolg hiervan is dat de grond in elkaar wordt gedrukt (krimpt), met als gevolg dat het maaiveld zakt.

Slootdempingen	In het verleden zijn veel kavelsloten gedempt om grotere percelen te verkrijgen die beter passen bij de huidige agrarische bedrijfsvoering. Ter plaatse van de gedempte sloten kan echter de bodem nazakken [6]. Als gevolg van belastingtoename op de ondergrond kunnen op slappe bodems (klei en veen) zettingen optreden. Tevens kan het dempingsmateriaal inklinken. Naast een verlaging kan een slootdemping ook voor een verhoging van het maaiveld zorgen, bijvoorbeeld wanneer veengronden inklinken en de slootdemping (waar dan geen veen is aangebracht) niet, of minder snel, meezakt.
Ophogingen/aanvullingen op maaiveld	Als gevolg van het aanbrengen van grond op een slappe ondergrond (klei en veen) kunnen zettingen (samendrukking van bovenlagen) optreden waardoor laagtes ontstaan. Ook kan door het aanbrengen van greppels vrijkomende grond op het perceel worden aangebracht waardoor hoogteverschillen ontstaan.
Ontgravingen (bv leidingaanleg) - nazakkingen sleuven - onvoldoende compensatie grondtekort	Wanneer grootschalige ontgravingen plaatsvinden voor bijvoorbeeld de aanleg van ondergrondse leidingen of kabeltracés kunnen bij aanvullingen nazakkingen optreden. Tevens kunnen grondtekorten ontstaan. Wanneer hier cultuurtechnisch niet juist is mee omgegaan, kunnen laagtes ter plaatse van de sleuf ontstaan.

Het gebruik van zwaardere landbouwmachines wordt in dit rapport niet als mogelijke oorzaak van bodemdaling benoemd. Uitgangspunt hierbij is dat in de praktijk inzet van machines plaatsvindt waarvan de wioldruk is afgestemd op het draagvermogen van de bodem. Incidenteel berijden (dynamische belasting) heeft dan geen (significant) effect op bodemdaling. Bodemdaling treedt vooral op als er sprake is van een continue belastingtoename.

Dit is gebaseerd op expert judgement en het ontbreken van literatuur dat aantoonde dat bodemdaling optreedt als gevolg van zwaardere machines. Bovendien kan bodemverdichting in kleigronden (grotendeels) worden opgeheven door natuurlijk herstel (krimpen en zwel) of bijvoorbeeld een grondbewerking.

De inzet van zware machines kan wel verdichting van het bodemprofiel tot gevolg hebben. Dit is vooral nadelig voor de bodemstructuur en de ontwatering, maar veroorzaakt geen structurele bodemdaling. Doorgaans worden de nadelige effecten bij een volgende grondbewerking weer opgeheven.

3.4 Effecten van ongelijkmatige bodemdaling

Dit onderzoek richt zich voornamelijk op ongelijkmatige bodemdaling. De term ongelijkmatige bodemdaling impliceert het eigenlijk al, de bodem of het maaiveld zakt niet integraal (gelijmatig) maar ongelijkmatig. Hierdoor kan een on-egaal perceel ontstaan met wateroverlast door ontstane laagtes of een verminderde ontwatering als gevolg.

De gewasopbrengst van een perceel is onder andere afhankelijk van de diepte van de grondwaterstand en het vochthoudend vermogen van het bodemprofiel. Bij een on-egaal perceel met een grondwatervlucht niveau binnen de invloedssfeer van het gewas bij gemiddelde terreinhoogte kan een deel van het perceel met wateroverlast te kampen hebben door een te geringe ontwatering (afstand tussen maaiveld en het grondwatervlucht niveau) [9]. Daarnaast kan plasvorming aan maaiveld ontstaan.

Oorzaken wateroverlast

Door ongelijkmatige bodemdaling kunnen (ingesloten) laagtes ontstaan. Wateroverlast in laagten kan behalve een te lage ligging van het maaiveld ten opzichte van het afwateringsniveau ook andere oorzaken hebben [9]:

- oppervlakkige afvoer van hoge naar lage delen;
- het voorkomen van een slecht doorlatende laag in het bodemprofiel, hetzij van nature aanwezig, hetzij ontstaan door bodemverdichting;
- onvoldoende infiltratiecapaciteit/doorlatendheid van de zodelaag bij grasland, bijvoorbeeld bij zware kleigronden.

- Slomp: bij verslumping is er te weinig binding tussen bodemdeeltjes. Door de inslag van regendruppels treedt schifting op en verstoppert de fijnere lutum- en siltdeeltjes de poriën in de bodem. Zo ontstaat een papperige slomplaag die na drogen een slompkorst vormt. Vooral lichte kleigronden en zavelgronden zijn gevoelig voor slomp. De grond kan hierdoor lang nat blijven en moeilijk bewerkbaar zijn.

Gevolgen van wateroverlast

Door genoemde oorzaken kan plasvorming optreden in laagten bij soms kleine hoogteverschillen. De gevolgen van plasvorming en wateroverlast kunnen zijn [9]:

- Uitwinteren (doodvriezen) van Engels Raaigras in grasland en van wintergewassen bij bouwland;
- vertraging van werkzaamheden (grondbewerking en gebruik) in het voorjaar door vochtige en koude omstandigheden. De vochttoestand van de toplaag in de depressies is vaak bepalend voor het tijdstip van aanvang van bepaalde werkzaamheden voor het gehele perceel, zowel bij bouwland als grasland;
- onregelmatige en vertraagde gewasgroei en daardoor lage opbrengsten;
- oogstmoeilijkheden in laagten (te geringe ontwatering) in de herfst bij hakvruchten en maïs op bouwland;
- onvoldoende draagkracht in natte perioden bij grasland met de gevolgen van opbrengstverlies door vertrapping en zodebeschadiging bij beweiding en door verdichting bij berijden met zware werktuigen.

Een vlakke ligging is tevens van belang bij beregening in verband met een gelijkmatige verdeling van het water over het land. Hierdoor wordt het water optimaal benut en een hogere productie bereikt.

4 Inventarisatie locatie pilot 1

4.1 Huidige situatie

Locatie pilot 1 betreft een graslandgebied (zie fig. 4.1). De boerderij (woning en bedrijfsgebouwen) is rond het jaar 2000 volledig nieuw gebouwd. Volgens de eigenaar zijn alle landbouwpercelen ten tijde van de ruilverkaveling gedraineerd. Hierbij is volgens de eigenaar de voordeligste methode van draineren gekozen (onbekend is wat deze methode is). Er is geen specifieke informatie beschikbaar (bijvoorbeeld de diepteligging, drainlengte- en afstanden, drainagetekeningen, jaren van aanleg). In bijlage 4 zijn een aantal foto's van deze pilotlocatie opgenomen.

Het gebied ligt in een knipkleilandschap en is over het algemeen vlak. De oorspronkelijke aanwezige kwelderbekkens zijn grotendeels overslibd door knipklei en brakwaterklei.



Figuur 4.1 Graspercelen locatie pilot 1 (links van de sloot perceel 1a, rechts van de sloot perceel 1b)

4.2 Historie

De percelen van deze locatie liggen binnen de ruilverkaveling Stedum – Loppersum (ruilverkavelingsperiode 1968 – 1994). In het kader hiervan zijn in 1972 bodemkarteringen uitgevoerd. De destijds verkregen boorprofielen van de onderzochte percelen zijn opgenomen in bijlage 8. Op de website watwaswaar.nl zijn historische topografische kaarten van dit gebied in te zien. Voor dit onderzoek zijn de kaarten van de jaren 1953, 1970, 1982 en 1990 geraadpleegd (zie ook bijlage 8). Om inzicht te krijgen in de jaren van slootdempingen is tevens de website www.topotijdreis.nl geraadpleegd.

4.3 Hoogte- en vlakteligging

Op basis van de resultaten van de hoogtemeting zijn door interpolatie kleurenkaarten gemaakt waarmee de hoogteverschillen zijn gevisualiseerd (blauw is laag, geel is hoog). Deze zijn in dit hoofdstuk gepresenteerd. Tevens zijn deze kaarten opgenomen in bijlage 5. In tabel 4.1. is per perceel de bandbreedte (laagste en hoogste punt) en de gemiddelde hoogteligging van de percelen weergegeven.

Tabel 4.1 Bandbreedte en gemiddelde hoogteligging percelen locatie pilot 1

Perceel	Hoogteligging 1960 (m NAP) ¹⁾			Hoogteligging 2015 (m NAP) ²⁾		
	Min	Max	Gemiddeld	Min	Max	Gemiddeld
1a	-0,9	-0,2	-0,7	-1,42	-0,54	-1,09
1b	-1,2	-0,2	-0,8	-1,71	-0,60	-1,23
2	-1,6	-0,9	-1,1	-2,05	-1,09	-1,47

¹⁾ bron TopHoogteMD-bestand

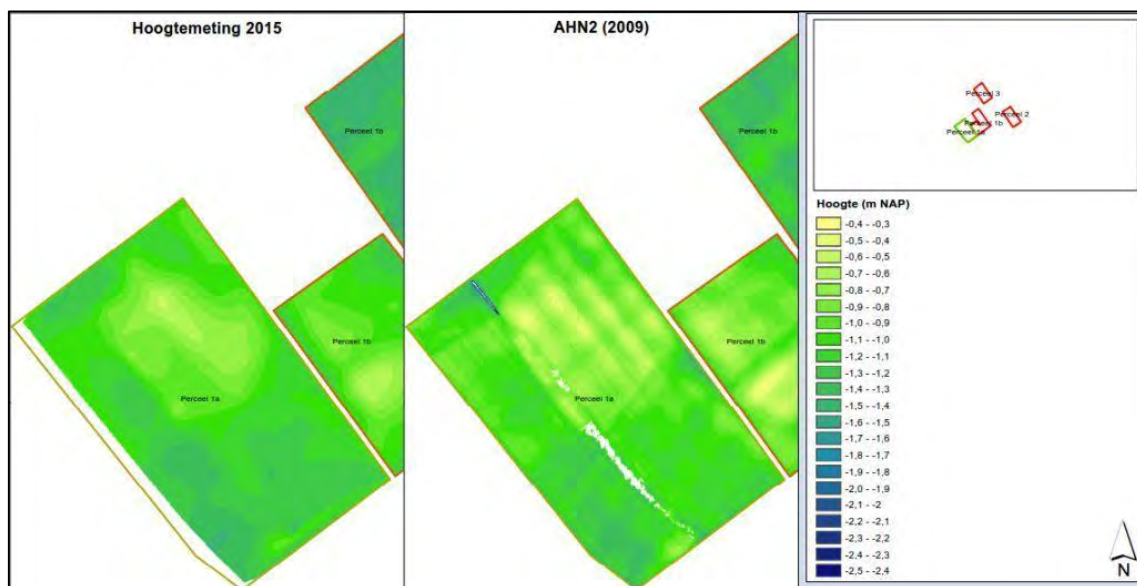
²⁾ bron hoogtemetingen 2015

Vanwege het grotere detailniveau zijn ook de AHN-2 (2009) kaarten per perceel opgenomen.

Perceel 1a

Het maaiveld ligt lager in het zuidelijke deel en de noordwestelijke hoek. De noordelijke hoek ligt hoger. Op basis van de meting is geen duidelijke golving van het maaiveld zichtbaar, dit is wel zichtbaar in de AHN-2. Dit perceel ligt duidelijk hoger ten opzichte van het oostelijke deel van perceel 1b.

Het hoogteverschil binnen het perceel in 1960 bedroeg 0,70 m. Het huidige hoogteverschil (2015) bedraagt 0,88 m.



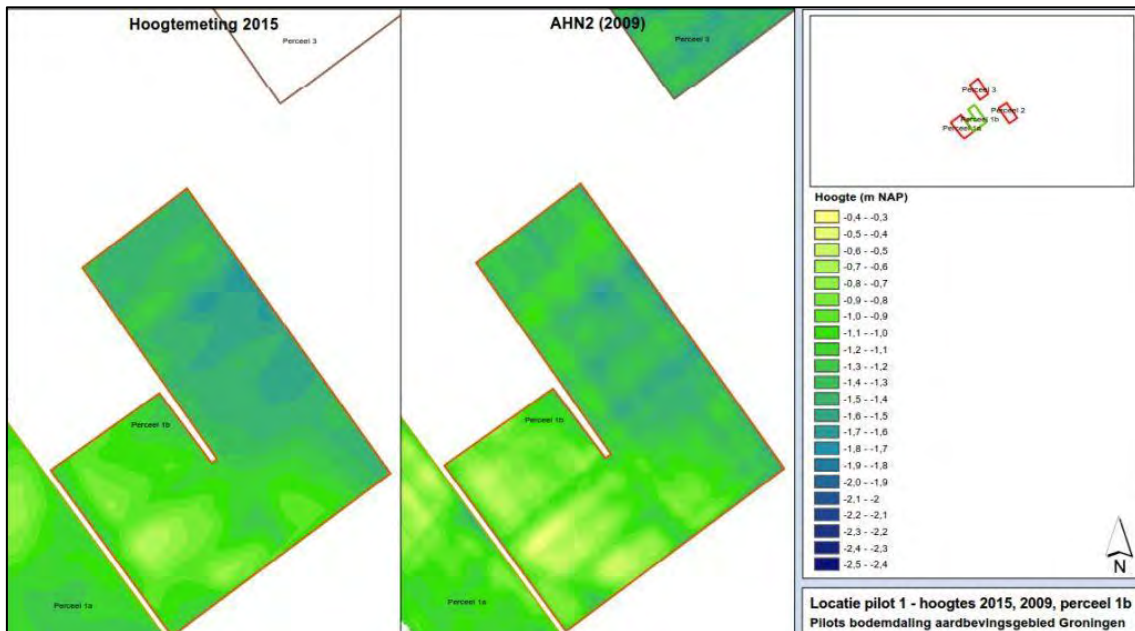
Figuur 4.2 Geïnterpoleerde hoogtekaart perceel 1a o.b.v. metingen 2015 en het AHN-2. (volledige kaart is op schaal opgenomen in bijlage 5).

In de AHN-2 kaart is een witte lijn te zien. Op dit gedeelte stond water op maaiveld ten tijde van de opname (februari-maart 2009). In de AHN-2 kaart zijn tevens enkele lijn- en ruitenpatronen te zien en ligt de noordelijke hoek het hoogst.

Perceel 1b

Het maaiveld ligt lager in het noordoostelijke deel van dit perceel (het langgerekte deel). Op basis van de metingen is enige golving van het maaiveld waarneembaar.

Het hoogteverschil binnen het perceel in 1960 bedroeg 1,0 m. Het huidige hoogteverschil bedraagt 1,11 m.

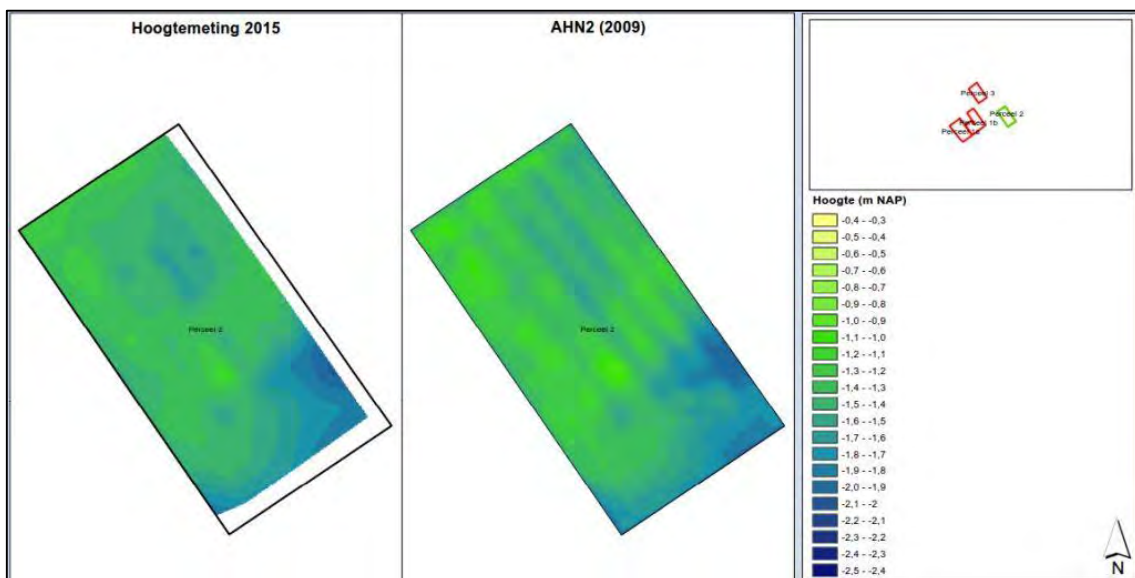


Figuur 4.3 Geïnterpoleerde hoogtekaart perceel 1b o.b.v. metingen 2015 en het AHN-2 (volledige kaart is op schaal opgenomen in bijlage 5).

In de AHN-2 kaart zijn enkele lijn- en ruitenpatronen te zien en blijkt dat het noordoostelijke deel (langgerekte deel van het perceel) lager ligt.

Perceel 2

Het maaiveld ligt lager in het middengedeelte van het noordelijke deel. Daarnaast ligt de zuidoostelijke hoek onder een helling en loopt richting de zuidoostelijke hoek af naar circa NAP -2,0 m. Op basis van de metingen is enige golving van het maaiveld waarneembaar. Het hoogteverschil binnen het perceel in 1960 bedroeg 0,70 m. Het huidige hoogteverschil (2015) bedraagt 0,84 m.



Figuur 4.4 Geïnterpoleerde hoogtekaart perceel 2 en het AHN-2 (volledige kaart is op schaal opgenomen in bijlage 5).

In de AHN-2 kaart zijn enkele lijnpatronen te herkennen.

4.4 Geomorfologie

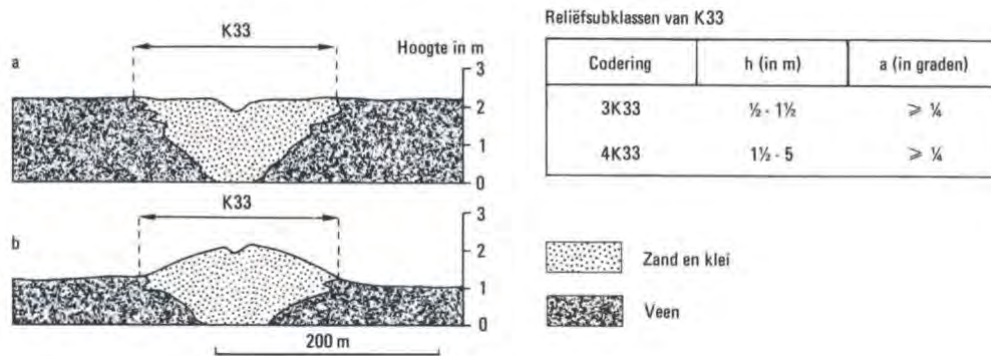
Volgens de geomorfologische kaart liggen de percelen grotendeels in een vlakte van getij-afzettingen (code 1M35). Perceel 1a en 1b liggen deels in een gebied van een getij-inversierug (code 3K33), zie figuur 4.5.



Figuur 4.5 Geomorfologische kaart (volledige kaart is opgenomen in bijlage 7).

In onderstaand kader wordt toegelicht waardoor hoogteverschillen door een getij-inversierug (kunnen) ontstaan.

Langs de kreek worden bij vloed smalle, zandige ruggen als oeverwallen gevormd, waarvan het hoogste deel aan de kreek grenst. Door klink van het omringende gebied zijn ze soms duidelijker herkenbaar (zie fig. 4.6.).



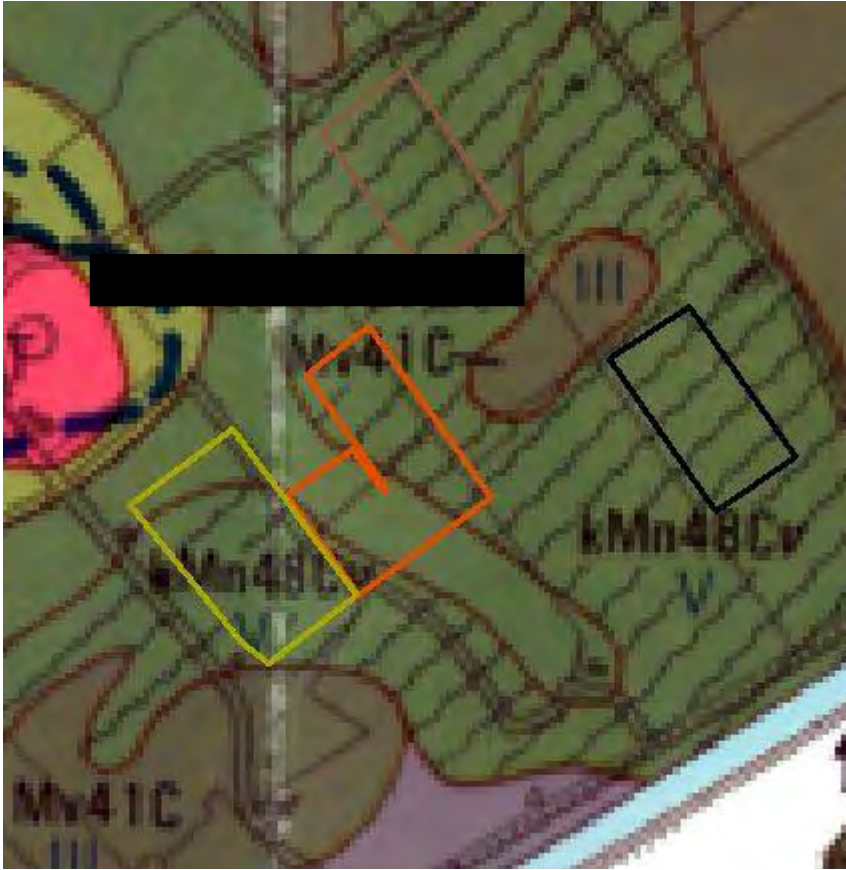
Figuur 4.6 Schematische doorsnede van een getij-inversierug (K33) voor (a) en na (b) de klink [10].

4.5 Bodem

4.5.1 Beschrijving volgens de Bodemkaart

Op basis van de Bodemkaart van Nederland komen verschillende bodemeenheden voor (zie figuur 4.7).

- kMn48Cv** : Knippoldervaaggronden bestaande uit zware klei. Onder de bovengrond is een zware knipkleilaag aanwezig. Tussen 0,80 en 1,20 m diepte begint moerig materiaal.
- Mv41C** : Kalkarme drechtvaaggronden bestaande uit zware klei. De 0,15 à 0,25 m dikke bovengrond bestaat uit humusarme tot humeuze kalkloze zware klei. Daaronder wordt in de regel zeer zware knipklei (50 à 70% < 2 μ m) aangetroffen. Het veen dat binnen 80 cm diepte begint, bestaat veelal uit veenmosveen, maar waar tijdens de groei aanvoer van voedselrijk water plaats vond bestaat het uit rietzeggeveen.
- kMn43C** : Knippoldervaaggronden bestaande uit zware klei. Het lutumgehalte van de bovengrond varieert van 35-40%. Het betreft in de meeste gevallen een verjongingsdek. De daaronder gelegen zware knipkleilaag is meestal 20 à 60 cm dik. Deze dikte is afhankelijk van de diepte waarop de oude kweldergrond begint. De zware knipkleilaag zwelt bij het nat worden en krimpt bij het uitdrogen. De duur van de swelling, waarbij alle poriën worden dichtgedrukt, hangt af van de ontwateringstoestand.



Figuur 4.7 Uitsnede Bodemkaart van Nederland (bron: Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000, uitgave 1979) inclusief ligging onderzoekpercelen.

4.5.2 Bodemopbouw 2015

Op basis van de veldonderzoeken in mei 2015 is de volgende bodemopbouw aangetroffen. Per perceel zijn de kenmerken conform Stiboka-legenda beschreven.

Perceel 1a

Op basis van de boringen is het bodemprofiel als volgt te karakteriseren.

- Van 0,00 tot 0,25 à 0,30 m -mv
Bouwvoor bestaande uit humusarme tot matig humeuze, zware zavel tot lichte klei.
- Van 0,25 à 0,30 m -mv tot 0,90 à 2,40 m -mv
Lichte tot matig zware, humusarme klei, lokaal gekenmerkt als stug (boring WL1-B02, WL1-B07). Bij boring WL1-B23 is op 0,70 m drainage aangetroffen.
- Van 0,90 à 2,40 m -mv tot 2,70 à 4,00 m -mv
Veen en lichte tot matig zware klei, de dikte van het veen varieert sterk namelijk van 0,20 tot 1,95 m. Ook de diepteligging van het veen varieert van 1,10 tot 2,40 m -mv.
- Van tot 2,70 à 4,00 m -mv tot 5,00 m -mv
Matig leemarm tot zwak lemig zand.



Figuur 4.8 Boring in perceel 1a, in de rechterfiguur het boorprofiel van boring WL1-B06 met links de kleibovengrond en rechts het veen (donkere kleur)

Bij de boring die in de laagte is geplaatst (boring WL1-B23) zijn geen bijzonderheden waargenomen. Wel is er drainage op een diepte van circa 0,70 m -mv aangetroffen.

Aan maaiveld was een laagte herkenbaar (midden van zuidelijk deel van perceel 1a) door weinig vegetatie. Bovendien was pitrus in de graszode aanwezig wat op natte omstandigheden duidt (zie figuur 4.9).



Figuur 4.9 Laagte in perceel 1a met weinig vegetatie (links) en pitrus (rechts)

Perceel 1b

Op basis van de boringen is het bodemprofiel als volgt te karakteriseren.

- Van 0,00 tot 0,20 à 0,40 m -mv
Bouwvoor bestaande uit humusarme tot matig humeuze, lichte klei.
- Van 0,20 à 0,40 m -mv tot 0,75 à 1,40 m -mv
Lichte tot matig zware, humusarme klei, lokaal gekenmerkt als stug (boring WL1-B19, WL1-B22). Bij boring WL1-B24 is de grond verwerkt (verstoord door menselijke ingreep).
- Van 0,75 à 1,40 m -mv tot 2,40 à 4,30 m -mv
Veen en lichte tot matig zware klei, de dikte van het veen varieert sterk, namelijk van 0,20 tot 2,50 m. Ook de diepteligging van het veen varieert van 0,70 tot 3,75 m -mv. Bij boring WL1-B12 en WL1-B15 is geen veen aangetroffen.

- Van 2,40 à 4,30 m -mv tot 5,00 à 6,50 m -mv
Matig leemarm tot sterk lemig zand, lokaal zandige leem. Boring WL1-B15 is dieper dan 5,0 m -mv doorgezet. Bij deze boring loopt de kleilaag tot circa 6,4 m -mv. Vervolgens is zand aangeboord.

Uit de boring die in de laagte is geplaatst (WL1-B24), blijkt dat de grond tot een diepte van 1,30 m -mv is verwerkt (verstoord door menselijke ingreep). Ter plaatse is een dunne veenlaag (circa 0,20 m) op een diepte van circa 3,8 m -mv aangetroffen.

Perceel 2

Op basis van de boringen is het bodemprofiel als volgt te karakteriseren.

- Van 0,00 tot 0,25 à 0,40 m -mv
Bouwvoor bestaande uit humusarme tot matig humeuze, lichte tot matig zware klei.
- Van 0,25 à 0,40 m -mv tot 0,65 à 1,20 m -mv
Lichte tot matig zware, humusarme klei.
- Van 0,65 à 1,20 m -mv tot 4,20 à 7,40 m -mv
Wisselende bodemopbouw bestaande uit veen, zware zavel, lichte en matig zware klei. De dikte van het veen varieert sterk namelijk van 0,15 tot 1,50 m. Ook de diepteligging van het veen varieert van 0,65 tot 2,80 m -mv.
- Van 4,20 à 7,40 m -mv tot 5,00 à 7,50 m -mv
Matig leemarm tot sterk lemig en kleilig zand. Boring WL2-B01 is dieper dan 5,0 m -mv doorgezet. Bij deze boring loopt de kleilaag tot circa 7,4 m -mv. Vervolgens is zand aangeboord.

Uit de boringen die in de laagte zijn geplaatst (WL2-B07 en WL2-B08), blijkt dat de grond bij boring B08 op een diepte van 0,40 tot 0,80 m is verwerkt (verstoord door menselijke ingreep). Verder zijn er geen bijzonderheden waargenomen. De dikte van de aangetroffen veenlaag ter plaatse bedraagt 0,15 tot 0,30 m en deze bevindt zich op een diepte van 1,0 à 1,3 m -mv.

Perceel 3 – Referentieperceel

Op basis van de boringen is het bodemprofiel als volgt te karakteriseren.

- Van 0,00 tot 0,25 à 0,35 m -mv
Bouwvoor bestaande uit humusarme tot matig humeuze, lichte tot matig zware klei.
- Van 0,25 à 0,35 m -mv tot 0,75 à 1,05 m -mv
Matig zware, humusarme klei. Bij boring WR-B01 en WR-B02 is op een diepte van 0,80 tot 1,05 m katteklei aangetroffen.
- Van 0,75 à 1,05 m -mv tot 3,30 à 4,25 m -mv
Veen, bij boring WR-B02 en B03 is een tussenlaag van lichte tot matig zware klei aanwezig met een dikte van 0,50 à 0,65 m.
- Van 3,30 à 4,25 m -mv tot 5,00 m -mv
Matig leemarm tot sterk lemig zand.

4.5.3 Veendieptekaart

Op basis van de boringen is een veendieptekaart gemaakt. Deze is opgenomen in bijlage 8. Hierin is tevens de veendieptekaart geïntegreerd die is opgesteld ten tijde van de ruilverkaveling (1972). De kaarten geven ruimtelijk de diepteligging van het veen aan en blijken goed overeen te komen.

4.6 Waterhuishouding

4.6.1 Grondwater

De resultaten van de gemeten grondwaterstanden en geschatte GHG's en GLG's ten tijde van het veldonderzoek (mei 2015) zijn opgenomen in tabel 4.2.

Tabel 4.2 Grondwaterstanden

Perceel	GWS (mei 2015)		GHG		GLG	
	[m -mv]	[m NAP]	[m -mv]	[m NAP]	[m -mv]	[m NAP]
1a	0,50 à 1,20	-2,10 à -1,75	0,20 à 0,55	-1,60 à -1,05	1,10 à 1,85	-2,75 à -2,25
1b	0,55 à 1,75	-2,70 à -1,95	0,20 à 0,60	-1,87 à -1,13	0,90 à 1,70	-2,70 à -2,20
2	0,35 à 0,75	-2,45 à -2,00	0,10 à 0,25	-2,05 à -1,40	0,60 à 1,40	-3,00 à -2,25
3 ref.	0,65 à 0,75	-2,25 à -2,13	0,25 à 0,35	-1,90 à -1,73	0,95 à 1,10	-2,58 à -2,50

Er zijn bij het waterschap en in DINOloket geen (historische) grondwaterstandmetingen van deze locatie of in de nabijheid van deze locatie beschikbaar.

Op basis van de Bodemkaart van Nederland (uitgave 1979) is afgeleid dat in het gebied grondwatertrap V voorkomt. Dit betekent dat de grondwaterstand fluctueert tussen $< 0,40$ m -mv (GLG) en $> 1,20$ m -mv (GLG). Op basis van de grondwatertrap kan worden geconcludeerd dat de grondwaterstanden sterk kunnen variëren. In droge periodes kunnen de grondwaterstanden diep wegzakken, terwijl in de natte periodes het grondwater dicht onder het maaiveld kan staan.

4.6.2 Oppervlaktewater

Op basis van het 'zwarte boek' (Register van Waterschappen en polders in provincie Groningen) lagen de percelen dicht bij de overgang tussen twee peilgebieden. De percelen waren gelegen in de Garrelweerster Kloostermolenpolder. Bij besluit van 19 oktober 1956 was het peil hier vastgesteld op NAP -2,32 m.

In 1983 is het gemaal Katerhals gebouwd. Op basis van informatie van Waterschap Noorderzijlvest blijkt dat in de huidige situatie een winterpeil van NAP -2,65 m en een zomerpeil van NAP -2,45 m wordt gehanteerd. Volgens het waterschap zijn er geen onderbemalingen of door agrariërs te bedienen stuwen aanwezig.

Met grote waarschijnlijkheid is het huidige peil ingesteld na de bouw van gemaal Katerhals (1983) [24] waarbij het waterpeil dus met 0,13 / 0,33 m (zomerpeil / winterpeil) is verlaagd ten opzichte van het vanaf 1957 gehanteerde peil van NAP -2,32 m (zie ook bijlage 16).

4.6.3 Drooglegging

De huidige drooglegging (op basis van het zomerpeil) van perceel 1a varieert van 1,0 tot 1,9 m en is gemiddeld circa 1,35 m. De huidige drooglegging (op basis van het zomerpeil) van perceel 1b varieert van circa 0,75 tot 1,85 en is gemiddeld circa 1,20 m. De huidige drooglegging (op basis van het zomerpeil) van perceel 2 varieert van 0,40 tot 1,35 en is gemiddeld circa 1,00 m.

Uitgaande van de hoogtegegevens uit tabel 4.1 en het waterpeil van voor de gaswinning van NAP -2,32 m (peil Garrelweerster Kloostermolenpolder) en het huidige peil van NAP -2,45/-2,65 m, is de drooglegging in de periode vanaf de gaswinning tot 2015 afgenomen (zie tabel 4.3). Dit geldt vooral voor de situatie in de winterperiode. Hierbij dient te worden opgemerkt dat rekening moet worden gehouden met de nauwkeurigheid van de data (zie §6.2).

Tabel 4.3 Verschil gemiddelde drooglegging 1956 en 2015

Perceel	Zomersituatie (m)	Wintersituatie (m)
1a	-0,06	-0,26
1b	-0,10	-0,30
2	-0,04	-0,24

4.7 Meest invloedrijke aardbevingen

In tabel 4.4 zijn voor locatie pilot 1 de meest invloedrijke bevingen weergegeven op basis van afstand tot het epicentrum en magnitude, inclusief een indicatieve berekening van de PGA (grondversnelling) en PGV (maximum snelheid waarmee de grond beweegt tijdens een aardbeving).

Voor de indicatieve berekeningen is gebruik gemaakt van het model van Akkar et al. (2013). Dit is een empirische formule die (middels 'best fitting') afgeleid is van het 'Huizinge event'. Met name op korte afstand tussen epicentra en locatie (< 2 km) leidt dit tot een (te) hoge inschatting.

De invloed van siterespons (differentiatie in de bodemopbouw) is geen onderdeel van de formule.

Tabel 4.4. *Indicatieve PGA & PGV berekeningen locatie pilot 1*

DATUM	PLAATS	MAGNI-TUDE	DIEPTE (km)	PGV (cm/s)	PGA (cm/s ²)	PGA (g)
02-07-2013	Garrelsweer	3	3	1,64	66,92	0,07
19-01-2013	Overschild	2,4	3	0,54	27,80	0,03
16-08-2012	Huizinge	3,6	3	0,76	24,36	0,03
27-06-2011	Garrelsweer	3,2	3	1,65	62,00	0,06
04-12-2009	Wittewierum	2,3	3	1,85*	0,90*	0,085*

N.B. 1. De PGA en PGV zijn indicatief bepaald, invloed van siterespons is niet bekend en niet meegenomen.

**) Op basis van de formule zijn grotere waarden berekend. Deze waarden zijn echter afgetoet op basis van de tot op heden zwaarst gemeten beving (Huizinge, 2012)*

Ter informatie: bij de zwaarste beving tot heden (Huizinge, 2012) is in de directe omgeving van het epicentrum een maximale versnelling van 0,085 g gemeten. In de ligging van de epicentra zit een onnauwkeurigheid van 0,5 á 1,0 km, waardoor bovenstaande berekeningsresultaten slechts indicatief zijn.

4.8 Slootdempingen

Op basis van historische topografische kaarten zijn de slootdempingen in de periode 1953 – 2015 indicatief op kaart gezet. Hiervoor zijn de topografische kaarten van 1953, 1970, 1982 en 2005 van watwaswaar.nl geraadpleegd. Deze kaarten zijn opgenomen in bijlage 14. Gedurende het onderzoek is de website www.watwaswaar.nl beëindigd (december 2015) en is de website www.topotijdreis.nl beschikbaar gekomen (september 2015). Op basis van de website www.topotijdreis.nl zijn de jaren van slootdemping afgeleid. Deze zijn opgenomen in tabel 4.4. De ligging van de slootdempingen is weergegeven in fig. 4.10.

Tabel 4.4 *Slootdempingen locatie pilot 1*

Perceel	Jaartal	Omschrijving
1a	2008	Sloot lengterichting perceel (gedempt door huidige eigenaar)
	1990	Sloten breedterichting (gedempt ten tijde van de ruilverkaveling)
	1982	Sloot breedterichting zuidwestelijk deel perceel
1b	2005	Zuidwestelijk deel van het perceel sloot breedterichting
	1990	Overige sloten breedterichting perceel (gedempt ten tijde van de ruilverkaveling)
	1982	Sloot lengterichting tussen zuidwestelijke en noordoostelijke perceel in
2	1990	Sloten zuidzijde (gedempt ten tijde van de ruilverkaveling)
	1970	Sloot midden perceel (lengterichting)
3	1990	Sloot breedterichting zuidzijde perceel (gedempt ten tijde van de ruilverkaveling)
	1962	Sloot midden perceel (lengterichting)

De indicatieve ligging van de slootdempingen is zowel op een topografische ondergrond gepresenteerd als op de AHN-2 ondergrond.



Figuur 4.10 Indicatieve ligging slootdempingen periode 1962-2008.

Uit figuur 4.10 blijkt dat er verschillende sloten in de periode 1962 – 2008 zijn gedempt. Meest recente slootdempingen (2008 en 2005) zijn uitgevoerd op perceel 1a (lengterichting perceel) en 1b (breedterichting perceel).

Op basis van het AHN-2 zijn de oude slootpatronen te herkennen door een verlaagde of verhoogde ligging ten opzichte van de omgeving.

4.9 Verweking

Een belangrijk effect van aardbevingen in relatie tot maaiveldzakking is verweking en verdichting van de ondergrond door trillingscompactie. Mogelijke gevolgen van verweking zijn het ontstaan van wellen of 'sandfonteinen (sandboils)' en het scheefzakken van constructies als gevolg van verlies van draagkracht van de fundering [21]. Deze effecten zijn op de pilotlocatie tijdens het veldonderzoek niet waargenomen en niet door de grondeigenaar genoemd.

Ook blijkt uit beschikbare InSAR-gegevens [20] dat er in het gebied van deze locatie een minimale toename in variabiliteit van de bodemdaling is ontstaan sinds de toename van het aantal geïnduceerde aardbevingen.

De gevoeligheid voor verweking kan worden bepaald door beoordeling van de diepere bodemopbouw. Deze is binnen dit onderzoek niet door middel van sonderingen onderzocht. Wel is van deze locatie op www.dinoloket.nl een sondering beschikbaar aan de rand van de onderzochte percelen.

Op basis van een verkennende kwalitatieve beschouwing van deze sondering (22-01-1991) blijkt dat er in het profiel verwekingsgevoelige lagen aanwezig zijn.

De te verwachten maaiveldzakking door verweking is afhankelijk van de versnelling in deze lagen. Aangezien tot op heden de maximaal opgetreden piekversnelling (PGA) de ondergrens van 0,1 g niet heeft overschreden, kan niet aannemelijk worden gemaakt dat er tot dusver relevante zakking(verschillen) ten gevolge van verwekingseffecten hebben kunnen plaatsvinden.

5 Inventarisatie locatie pilot 2

5.1 Huidige situatie

De onderzoeklocatie is een akkerbouwbedrijf op klei. Het bouwplan bestaat onder andere uit aardappelen en gerst. In samenwerking met een veehouder wordt daarnaast gras geteeld en maïs verbouwd. De zuidelijke percelen grenzen aan een kanaal.

De locatie ligt in het Hogeland, een oud zeekleigebied. De kern van het gebied wordt gevormd door een voormalig schiereiland, geflankeerd door recentere kwelderruggen en -vlakten die zijn ontstaan door het dichtslibben van de Hunzemonding en de Fivelboezem. Het is overwegend een akkerbouwgebied met vruchtbare zavelgronden, bochtige wegen en slingerende waterlopen [12]. In bijlage 4 zijn een aantal foto's van deze pilotlocatie opgenomen.

Het landschapstype is wierdenlandschap, dit komt tot uiting in geomorfologie en cultuurhistorie. In oost-westelijke richting wordt het gebied door een aantal waterlopen (maren), welke deel uitmaakten van de voormalige Fivelboezem, doorkruist. Op dit grillige patroon van de natuurlijke afwatering en het daarmee samenhangende reliëf is onder andere het verloop van het kavelpatroon gebaseerd [13].

In overleg met de grondeigenaar zijn de onderzoeklocaties bepaald. Percelen waar volgens de eigenaar ongelijkmatige bodemdaling is opgetreden, betreffen het oostelijke deel van het noordelijke perceel (gerst), perceel 1 en het direct ten zuiden van boerderij gelegen perceel (maïs), perceel 2. Bij dit laatste perceel is volgens de eigenaar sprake van vernatting.



Figuur 5.1 Graslandperceel (links) en gerstperceel (rechts)

5.2 Historie

De percelen van de locatie liggen binnen de ruilverkaveling De Noordpolder (ruilverkavelingsperiode 1968 – 1994). In het kader van de ruilverkaveling zijn in 1984 standaardprofielen voor de waardebeoordeling van de gronden opgesteld. Hierbij is ter plaatse van het perceel 1 (oostelijke zijde) een boring tot 1,20 m -mv verricht. Het profiel is hierbij als volgt beschreven.

Nummer 41 (1984)

Laag m -mv	Percentage			Kalktoe- stand	Benaming	Bijzonderheden
	Lutum	afslibbaar	Org. Stof			
0 – 30	13	20	2	kalkarm	Matig lichte zavel	
30 - 50	13	20			Matig lichte zavel	
50 - 85	11	17		kalkrijk	Zeer lichte zavel	
85 - 120	14	21			Matig licht zavel	gelaagd

Dit profiel is enigszins lichter gekarakteriseerd ten opzichte van de uitgevoerde boringen in 2015.

Op de website watwaswaar.nl zijn historische topografische kaarten beschikbaar van dit gebied (zie ook bijlage 9). Om inzicht te krijgen in de jaren van slootdempingen is tevens de website www.topotijdreis.nl geraadpleegd.

Uit zowel deze historische kaarten als mondelinge informatie van de eigenaar blijkt dat een aantal sloten in de loop van de tijd zijn gedempt (zie § 5.8).

De percelen zijn ten tijde van de ruilverkaveling (jaren '90) gedraineerd. Sindsdien zijn een aantal percelen opnieuw (tussen)gedraineerd. De grondeigenaar heeft analoge informatie (kaart-materiaal) van de bestaande drainage beschikbaar.

5.3 Hoogte- en vlakteligging

Op basis van de resultaten van de hoogtemeting zijn door interpolatie kleurenkaarten gemaakt waarmee de hoogteverschillen zijn gevisualiseerd (blauw is laag, geel is hoog). Deze zijn in dit hoofdstuk gepresenteerd. Tevens zijn deze kaarten opgenomen in bijlage 6.

In tabel 5.1 is per perceel de bandbreedte (laagste en hoogste punt) en de gemiddelde hoogteligging weergegeven.

Tabel 5.1 Bandbreedte en gemiddelde hoogteligging percelen locatie pilot 2

Perceel	Hoogteligging 1960 ¹⁾ (m NAP)			Hoogteligging 2015 ²⁾ (m NAP)		
	Min	Max	Gemiddeld	Min	Max	Gemiddeld
1	+0,2	+0,9	+0,6	-0,14	+0,65	+0,32
2	+0,8	+1,0	+0,9	-0,17	+0,68	+0,39
3 (ref)	+0,7	+0,7	+0,7	-0,08	+0,63	+0,36
4 (ref)	+0,2	+0,8	+0,5	-0,08	+0,64	+0,39

¹⁾ bron TopHoogteMD-bestand

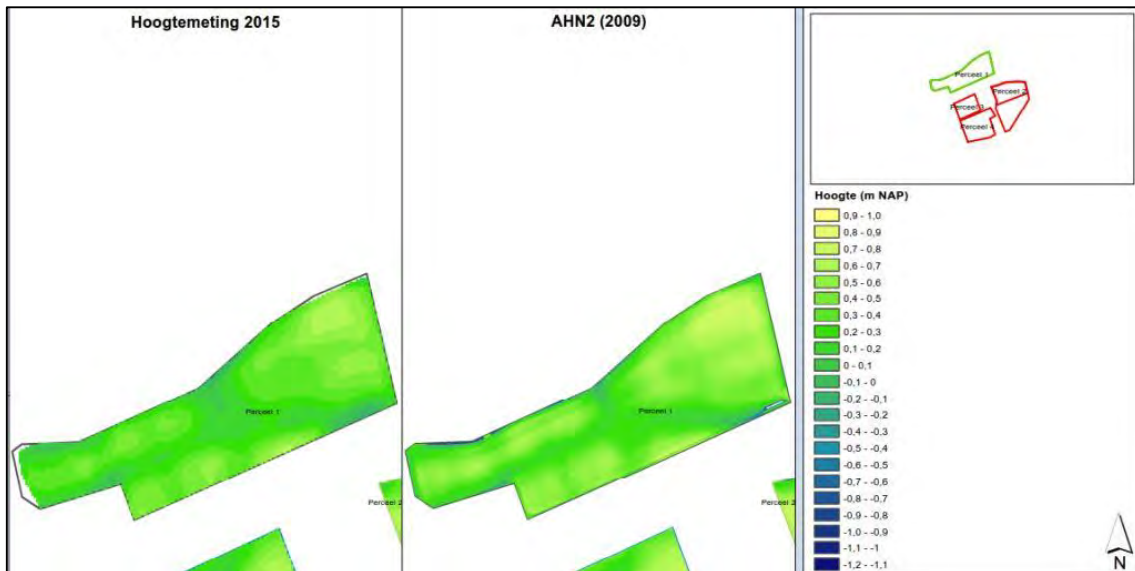
²⁾ bron hoogtemetingen 2015

Vanwege het detailniveau zijn ook de AHN-2 kaarten per perceel opgenomen.

Perceel 1

Het maaiveld ligt lager in de zuidoostelijke hoek, het centrale deel van het perceel en de noord- en zuidzijde van het meest westelijke deel. De noordoostelijke hoek ligt hoger. Op basis van de metingen golft het maaiveld enigszins. In het meest oostelijke deel van het perceel, waarvan de grondeigenaar heeft aangegeven dat er ongelijkmatige bodemdaling is opgetreden, komen hoogteverschillen tot circa 0,50 m voor.

Het hoogteverschil binnen het perceel in 1960 bedroeg 0,70 m. Het huidige hoogteverschil (2015) bedraagt 0,79 m.



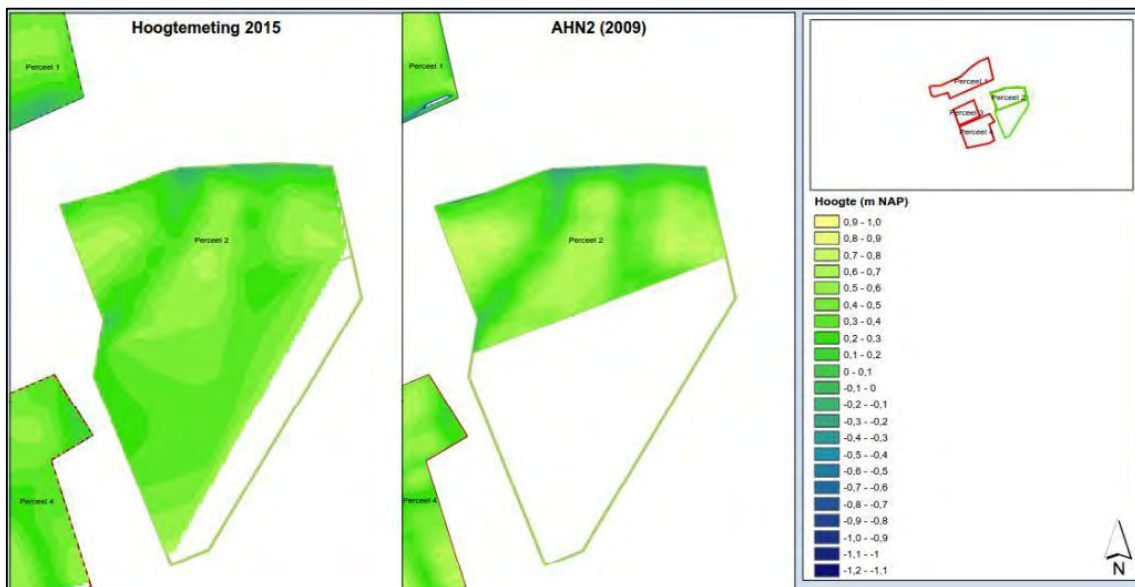
Figuur 5.2 Geïnterpoleerde hoogtekaart perceel 1 o.b.v. metingen 2015 en het AHN-2 (volledige kaart is op schaal opgenomen in bijlage 6).

De AHN-2 kaart komt overeen met de geïnterpoleerde kaart met de metingen van 2015. De terreindelen die lager liggen zijn duidelijk waarneembaar.

Perceel 2

Het maaiveld ligt lager in het noordelijke deel, het centrale deel van het perceel ligt hoger. Dit is het gebied waar volgens de grondeigenaar sprake is van vernatting.

Het hoogteverschil binnen het perceel in 1960 bedroeg 0,2 m. Het huidige hoogteverschil (2015) bedraagt 0,85 m.



Figuur 5.3 Geïnterpoleerde hoogtekaart perceel 2 o.b.v. metingen 2015 en het AHN-2 (volledige kaart is opgenomen in bijlage 6).

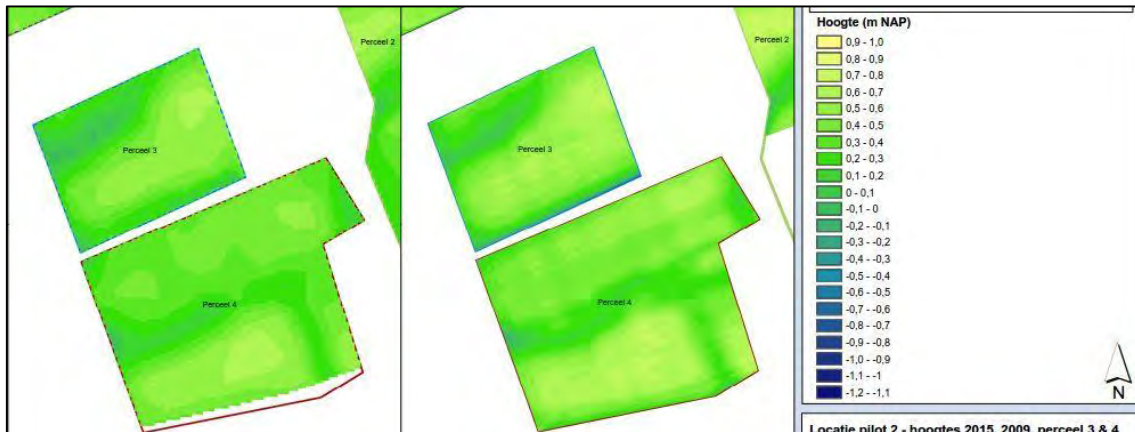
In de AHN-2 kaart zijn stroken in het perceel zichtbaar die lager liggen.

Perceel 3 en 4 (referentieperceel)**Perceel 3**

Het maaiveld ligt lager in het noordwestelijke deel van het perceel. Er zijn geen duidelijke golvingen van het maaiveld zichtbaar. Het maaiveldniveau van het zuidelijke deel (referentieperceel) loopt van west naar oost op.

Perceel 4

Het maaiveld ligt lager in het centrale deel van het perceel. Er zijn geen duidelijke golvingen van het maaiveld zichtbaar.

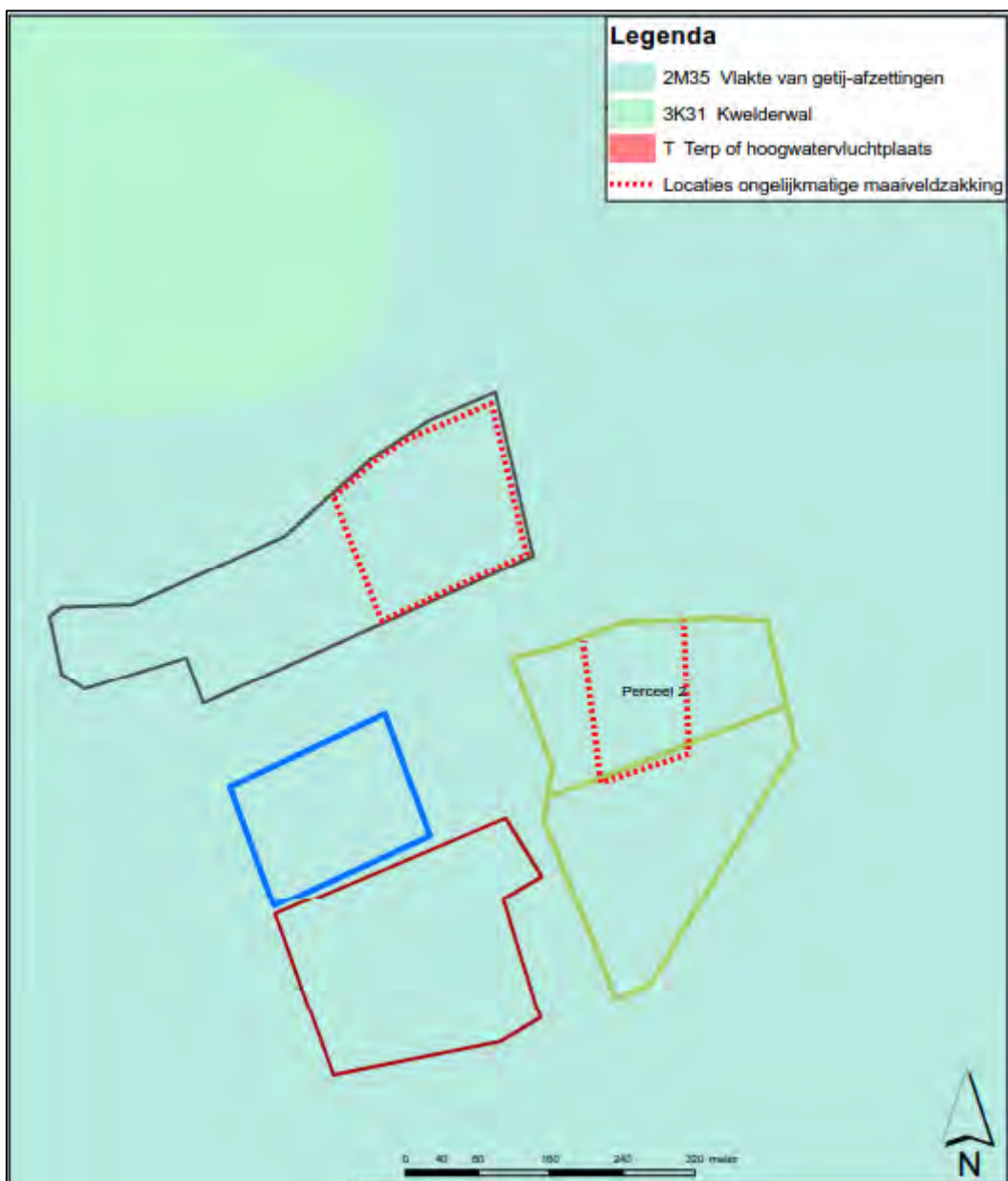


Figuur 5.4 Geïnterpoleerde hoogtekaart perceel 3 en 4 referentie op basis van metingen 2015 en het AHN-2 (volledige kaart is op schaal opgenomen in bijlage 6).

De hoogtepatronen in het AHN-2 zijn vergelijkbaar met de geïnterpoleerde kaart van de metingen in 2015.

5.4 Geomorfologie

Volgens de geomorfologische kaart liggen de percelen in een vlakte van getij-afzettingen (code 2M35), zie fig. 5.5.



Figuur 5.5 Geomorfologische kaart (volledige kaart is opgenomen in bijlage 7).

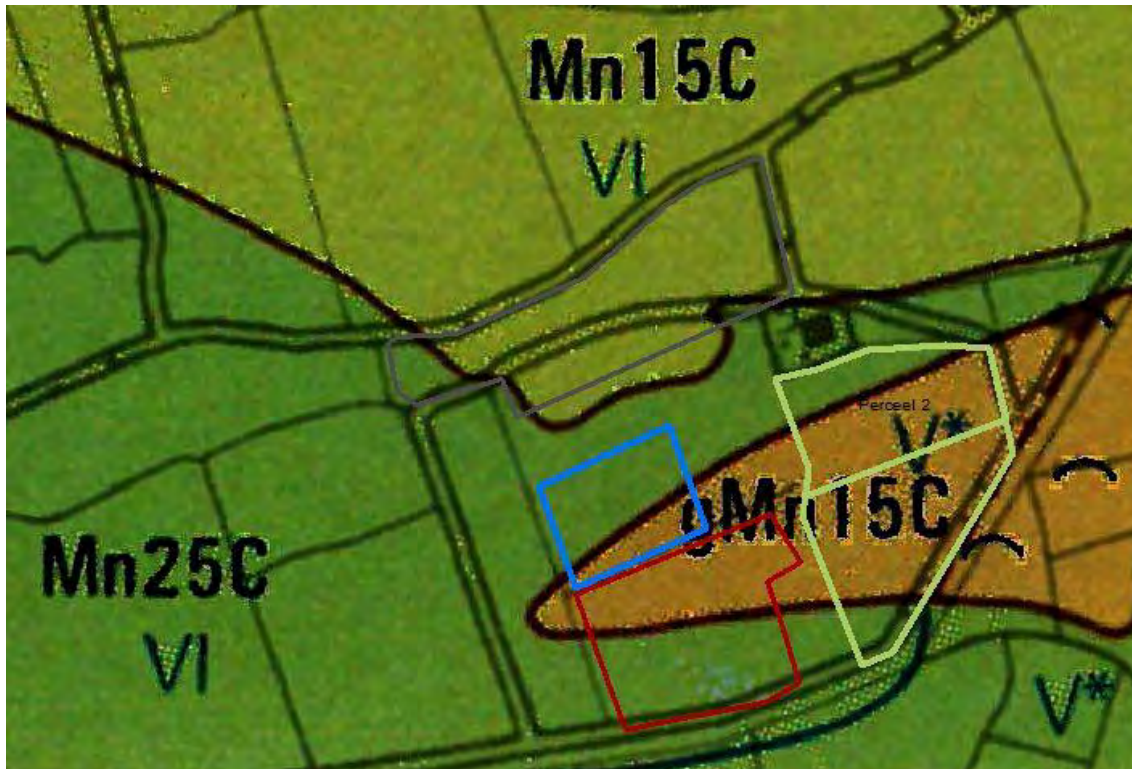
5.5 Bodem

5.5.1 Beschrijving volgens de Bodemkaart

Op basis van de bodemkaart van Nederland komen verschillende bodemeenheden voor (zie figuur 5.6).

- Mn15C : Kalkarme poldervaaggronden, bestaande uit lichte zavel. De humushoudende bovengrond is 0,20 à 0,30 m dik en bestaat uit kalkloze, lichte zavel. Hieronder bevindt zich meestal een grijsbruine overgangslaag van lichte zavel, die tussen 0,30 en 0,50 m overgaat in grijze, kalkloze, lichte zavel.
- Mn25C : Kalkarme poldervaaggronden, bestaande uit zware zavel. De humushoudende bovengrond is 0,20 à 0,30 m dik. Hieronder wordt het lutumgehalte dikwijls hoger.

gMn15C : Knippige poldervaaggronden bestaande uit lichte zavel. De gronden hebben een 0,20 à 0,30 m dikke humushoudende bovengrond. Het lutumgehalte van de knippige laag onder de bovengrond neemt in de meeste gevallen iets toe (oplopende profielen). De kalkrijke ondergrond begint dikwijls tussen 0,40 en 0,70 m diepte.



Figuur 5.6 Uitsnede Bodemkaart van Nederland (bron: Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000, uitgave 1987)

5.5.2 Bodemopbouw 2015

Op basis van de veldonderzoeken in mei 2015 is de volgende bodemopbouw aangetroffen. Per perceel zijn de kenmerken conform Stiboka-legenda beschreven.

Perceel 1

Op basis van de boringen is het bodemprofiel als volgt te karakteriseren.

- Van 0,00 tot 0,30 à 0,45 m -mv
Bouwvoor, bestaande uit matig humeuze, lichte klei. Bij boring VRL1-B09 bestaat de bouwvoor uit matig lichte zavel.
- Van 0,30 à 0,45 m -mv tot 0,50 à 0,80 m -mv
Humusarme, zware zavel tot lichte klei. Bij boring VRL1-B09 bestaat de laag uit matig lichte zavel welke als hard is gekarakteriseerd.
- Van 0,50 à 0,80 m -mv tot 1,50 m -mv
Matig lichte zavel tot lichte klei. Bij boring VRL1-B09 is deze laag tot circa 1,20 m -mv als compact omschreven.
- Van tot 1,50 tot 5,00 m -mv
Afwisselend zeer lichte zavel, matig tot zware zavel. Bij boring RL1-B04 bestaat het profiel uit lichte klei. Bij boring RL1-B07, VRL1-B06, VRL1-B09 is op een diepte van respectievelijk 4,2 m -mv, 5,70 m -mv en 4,40 m m -mv kleiig zand aangetroffen. Boring VRL1-B06 is doorgezet tot 8 m -mv. Tot deze diepte bestaat het profiel uit kleiig zand.

Bij de boringen die in de laagtes zijn geplaatst (VRL1-B06, VRL1-B09), zijn geen bijzonderheden waargenomen. Wel is de laag onder de bouwvoor bij VRL-B09 als hard en compact gekarakteriseerd. Bij boring VRL1-B06 is kleiig zand binnen 5 m -mv aangetroffen, dit zien we bij de overige boringen op dit perceel alleen bij RL1-B07 terug welke nabij deze boring is gezet.

Perceel 2

Op basis van de boringen is het bodemprofiel als volgt te karakteriseren.

- Van 0,00 tot 0,25 à 0,35 m -mv
Bouwvoor, bestaande uit matig humeuze, matig lichte tot zware zavel.
- Van 0,25 à 0,35 m -mv tot 1,00 à 1,10 m -mv
Matig lichte tot zware zavel. Bij boring RL2-B09 en VRL2-B02 is tot circa 0,55 m een (lichte) kleilaag aangetroffen. Bij boring RL2-B09 is de laag omschreven als ploegzool en bij VRL2-B02 als compact/stug.
- Van 1,00 à 1,10 m -mv tot 1,75 à 2,00 m -mv
Matig lichte tot zware zavel.
- Van 1,75 à 2,00 m -mv tot 5,00 à 6,50 m -mv
Zeer lichte tot zware zavel. Bij boring RL2-B05 is vanaf 4,60 m -mv matig kleiarm zand aangetroffen.

In de boringen die in de laagte zijn geplaatst (VRL2-B01 en VRL2-B02), zijn geen bijzonderheden of duidelijke verschillen met andere boringen waargenomen. Wel is bij boring VRL2-B02 een compacte/stugge kleilaag onder de bouwvoor aangetroffen. Dit kan een storende laag zijn die bijdraagt aan de vernatting.

Perceel 3 – zuidelijk deel (referentie 1)

Op basis van de boringen is het bodemprofiel als volgt te karakteriseren.

- Van 0,00 tot 0,25 à 0,30 m -mv
Bouwvoor, bestaande uit matig humeuze, matig lichte zavel.
- Van 0,25 à 0,30 m -mv tot 0,80 à 1,00 m -mv
Kleilig zand tot zware zavel. Het profiel met zware zavel is zandig gelaagd.
- Van 0,80 à 1,00 m -mv tot 1,55 à 1,80 m -mv
Zeer lichte tot zware zavel. Overwegend sterk zandig gelaagd.
- Van 1,55 à 1,80 m -mv tot 5,00 m -mv
Zeer lichte tot zware zavel. Boring RL3-B02 is tot 8,00 m -mv doorgezet. Bij deze boring bestaat het profiel tot 8 m -mv uit matig lichte tot zware zavel.



Figuur 5.7 Boring in perceel 3, in de rechterfiguur het boorprofiel van boring RL3-B02

Perceel 4 (referentie 2)

Op basis van de boringen is het bodemprofiel als volgt te karakteriseren.

- Van 0,00 tot 0,30 à 0,35 m -mv
Bouwvoor bestaande uit humusarme tot matig humeuze, matig lichte zavel.
- Van 0,30 à 0,35 m -mv tot 0,75 à 1,00 m -mv
Matig lichte tot zware zavel.

- Van 0,75 à 1,00 m -mv tot 1,65 à 1,95 m -mv
Matig lichte zavel tot lichte klei.
- Van 1,65 à 1,95 m -mv tot 5,00 m -mv
Zeer lichte tot zware zavel. Bij boring RR-B04 bestaat het profiel vanaf 2,8 m -mv uit kleiig zand.

5.6 Waterhuishouding

5.6.1 Grondwater

De resultaten van de gemeten grondwaterstanden en geschatte GHG's en GLG's ten tijde van het veldonderzoek (mei 2015) zijn opgenomen in tabel 5.2.

Tabel 5.2 Grondwaterstanden

Perceel	GWS (mei 2015)		GHG		GLG	
	[m -mv]	[m NAP]	[m -mv]	[m NAP]	[m -mv]	[m NAP]
1	1,10 à 1,70	-1,18 à -0,62	0,45 à 0,75	-0,54 à -0,13	1,45 à 2,00	-1,49 à -1,15
2	1,20 à 1,55	-1,05 à -0,76	0,35 à 0,70	-0,25 à +0,26	1,50 à 1,90	-1,37 à -1,06
3 (ref)	1,15 à 1,55	-1,04 à -0,81	0,55 à 0,80	-0,44 à -0,04	1,55 à 1,80	-1,44 à -1,19
4 (ref).	1,45 à 1,70	-1,26 à -0,94	0,60 à 0,70	-0,41 à -0,09	1,70 à 1,95	-1,51 à -1,34

Er zijn bij het waterschap en in DINOloket geen (historische) grondwaterstandmetingen van deze locatie of in de nabijheid van deze locatie beschikbaar.

Op basis van de Bodemkaart van Nederland (uitgave 1987) is afgeleid dat in het gebied grondwatertrap V* voorkomt. Dit betekent dat de grondwaterstand fluctueert tussen < 0,40 m -mv (GLG) en > 1,20 m -mv (GLG). Op basis van de grondwatertrap kan worden geconcludeerd dat de grondwaterstanden sterk kunnen variëren. De toevoeging *) duidt op drogere omstandigheden, waardoor de verwachting is dat de GHG eerder fluctueert tussen 0,40 en 0,80 m -mv.

5.6.2 Oppervlaktewater

In 1980 is een overzicht van de drooglegging weergegeven van de gemiddeld lage gronden (lage gedeelten van enige omvang, maar niet de allerlaagste gronden). Voor het zuidelijk gebied van ruilverkaveling Noordpolder, oostelijk van de lijn Middelstum-Kantens-Usquert, worden onderstaande gegevens genoemd (zie tabel 5.3). Hier valt het pilotgebied binnen.

Tabel 5.3 Waterpeil en drooglegging (1980)

Gem. lage gronden (m NAP)	Polderpeil (m NAP)	Drooglegging gemiddeld lage gronden
+0,25	-0,93	1,18 m

Om de gewenste drooglegging van 1,30 m te realiseren en vanwege de opgetreden bodemdaling 5 cm (noordzijde) tot 8 cm (zuidzijde) (in 1980), zijn een tweetal (onder)bemalingen gerealiseerd [4].

In 1985 is er tijdelijke bemaling gekomen met een peilverlaging van 0,10 m (NAP -1,03 m).

In 1992 – 1994 werd het gemaal Den Deel gesticht waarbij een peil van NAP -1,10 m werd gehandhaafd ter compensatie van de effecten van de bodemdaling. Het uitgangspunt voor de bepaling van de opgetreden bodemdaling vormen de contourlijnenkaarten die op basis van de waterpassingen van NAM worden gemaakt.

Op basis van informatie van Waterschap Noorderzijlvest blijkt dat na 2000 een vast waterpeil van NAP -1,16 m is ingesteld dat tot op heden wordt gehanteerd.

Volgens het waterschap zijn er geen onderbemalingen of door agrariërs te bedienen stuwen aanwezig.

5.6.3 Drooglegging

De huidige drooglegging van perceel 1 en 2 varieert van 1,0 tot 1,8 en is gemiddeld circa 1,50 m.

Uitgaande van de hoogtegegevens uit tabel 5.1 en aangenomen dat het waterpeil voor de gaswinning NAP -0,93 m bedroeg en uitgaande van het huidige peil van NAP -1,16 m, is de droog-

legging van perceel 1, 2 en 3 in de periode 1980 tot 2015 afgenomen en van perceel 4 toegenomen (zie tabel 5.4). Hierbij dient te worden opgemerkt dat rekening moet worden gehouden met de nauwkeurigheid van de data (zie §6.2).

Tabel 5.4 Verskil gemiddelde drooglegging 1980 en 2015

Perceel	Winter- en zomersituatie (m)
1	-0,05
2	-0,28
3	-0,11
4	0,12

5.7 Meest invloedrijke aardbevingen

In tabel 5.4 zijn voor locatie pilot 2 de meest invloedrijke bevingen weergegeven op basis van afstand tot het epicentrum en magnitude, inclusief een indicatieve berekening van de PGA (grondversnelling) en PGV (maximum snelheid waarmee de grond beweegt tijdens een aardbeving).

Voor de indicatieve berekeningen is gebruik gemaakt van het model van Akkar et al. (2013). Dit is een empirische formule die (middels 'best fitting') afgeleid is van het 'Huizinge event'. Met name op korte afstand tussen epicentra en locatie (< 2 km) leidt dit tot een (te) hoge inschatting. De invloed van siterespons (differentiatie in de bodemopbouw) is geen onderdeel van de formule.

Tabel 5.4 Indicatieve PGA & PGV berekeningen locatie pilot 2

DATUM	PLAATS	MAGNITUDE	DIEPTE (km)	PGV (cm/s)	PGA (cm/s ²)	PGA (g)
05-11-2014	Zandweer	2,9	3	1,58	67,06	0,07
07-02-2013	Zandweer	3,2	3	1,85*	90*	0,085*
07-02-2013	Zandweer	2,7	3	1,85*	90*	0,085*
16-08-2012	Huizinge	3,6	3	1,77	57,04	0,06
30-10-2008	Westeremden	3,2	3	0,51	19,15	0,02

N.B. 1. De PGA en PGV zijn indicatief bepaald, invloed van siterespons is niet bekend en niet meegenomen.

**) Op basis van de formule zijn grotere waarden berekend. Deze waarden zijn echter afgetoet op basis van de tot op heden zwaarst gemeten beving (Huizinge, 2012)*

Ter informatie: bij de zwaarste beving tot heden (Huizinge, 2012), is in de directe omgeving van het epicentrum een maximale versnelling van 0,085 g gemeten. In de ligging van de epicentra zit een onnauwkeurigheid van 0,5 á 1,0 km, waardoor bovenstaande berekeningsresultaten slechts indicatief zijn.

5.8 Slootdempingen

Op basis van historische topografische kaarten zijn de slootdempingen in de periode 1953 – 2015 indicatief op kaart gezet. Hiervoor zijn de topografische kaarten van 1953, 1970, 1982 en 2005 geraadpleegd. Deze kaarten zijn opgenomen in bijlage 14.

Gedurende het onderzoek is website www.watwaswaar.nl beëindigd (december 2015) en is de website www.topotijdreis.nl in gebruik gekomen (september 2015). Op basis van de website www.topotijdreis.nl zijn de jaren van slootdemping afgeleid. Deze zijn opgenomen in tabel 5.5. De ligging van de slootdempingen is weergegeven fig. 5.8.

Tabel 5.5 Slootdempingen locatie pilot 2

Perceel	Jaartal	Omschrijving
1	1996	Vrijwel alle sloten gedempt (in lengterichting tevens pad verwijderd)
	1982	Zuidelijk deel van de sloot (breedterichting perceel) gedempt
2	1982	Sloot gedempt (rechte sloot)
	1961	Sloot midden perceel gedempt
3	1989	Sloot gedempt

De indicatieve ligging van slootdempingen is tevens op schaal opgenomen en op zowel een topografische ondergrond gepresenteerd als op een AHN-2-ondergrond (zie bijlage 14).



Figuur 5.8 Indicatieve ligging slootdempingen periode 1961 en 1996.

Op perceel 1 heeft de meest recente slootdemping plaatsgevonden. Naast deze sloot was parallel ook een weg aanwezig die tegelijkertijd is verwijderd (in de lengterichting van het perceel). Op basis van het AHN-2 zijn de oude slootpatronen duidelijk te herkennen door een verlaagde of verhoogde ligging ten opzichte van de omgeving. In perceel 1 betreft het een slootdemping/oude weg omstreeks 1996 en een slootdemping omstreeks 1982. Ter plaatse van perceel 2 betreft het slootdempingen van omstreeks 1982 en 1961.

5.9 Verweking

Een belangrijk effect van aardbevingen in relatie maaiveldzakking is verweking en verdichting van de ondergrond door trillingscompactie. Mogelijke gevolgen van verweking zijn het ontstaan van wellen of zandfonteinen (sandboils) en het scheefzakken van constructies als gevolg van verlies van draagkracht van de fundering [21]. Deze effecten zijn op de pilotlocatie tijdens het veldonderzoek niet waargenomen en niet door de grondeigenaar genoemd.

Ook blijkt uit beschikbare InSAR-gegevens [20] dat er in het gebied van deze locatie er een minimale toename in variabiliteit van de bodemdaling is ontstaan sinds de toename van het aantal geïnduceerde aardbevingen.

De gevoeligheid voor verweking kan worden bepaald door beoordeling van de diepere bodemopbouw. Deze is binnen deze pilot niet door middel van sonderingen onderzocht. Wel is van deze locatie op www.dinoloket.nl een sondering beschikbaar ter plaatse van het erf (centraal in de pilotlocatie) nabij de onderzochte percelen.

Op basis van een verkennende kwalitatieve beschouwing van deze sondering (31-10-1991) blijkt dat er in het profiel verwekingsgevoelige lagen aanwezig zijn. De te verwachten maaiveldzakking door verdichting na aardbeving is afhankelijk van de versnelling in deze lagen. Aangezien tot op heden de maximaal opgetreden piekversnelling de ondergrens van 0,1 g niet heeft overschreden, kan niet aannemelijk worden gemaakt dat er tot dusver relevante zakking(verschillen) ten gevolge van verwekingseffecten hebben kunnen plaatsvinden.

6 Analyse ongelijkmatige bodemdaling

6.1 Inleiding

Op basis van de kaartinformatie en het veldonderzoek zijn voor de percelen de grootte van de bodemdaling en mogelijke oorzaken van de ongelijkmatige bodemdaling geanalyseerd. Per perceel zijn de resultaten voor locatie pilot 1 (§ 6.3) en locatie pilot 2 (§ 6.4) in dit hoofdstuk (en deels) in de bijlagen gepresenteerd. Allereerst wordt ingegaan op de betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de gegevens.

6.2 Overwegingen en betrouwbaarheid van de gegevens

Bij de gepresenteerde resultaten in dit hoofdstuk worden vooraf de volgende kanttekeningen geplaatst. Er zijn verschillende factoren die van invloed zijn op het verloop van de hoogteligging tussen 1960 en 2015, te weten:

Hoogtegegevens voor de gaswinning

Er zijn in beperkte mate hoogtegegevens van voor de gaswinning (1960) beschikbaar (zie ook §2.4). Bovendien is het niet eenduidig of de hoogtepunten op de beschikbare kaarten exact de locaties zijn waar de metingen zijn verricht. Er kan derhalve geen uitspraak worden gedaan over de nauwkeurigheid van de hoogtegegevens uit 1960.

Het gehanteerde beginpunt in 1960 betreft een gegeven dat afkomstig is van de toenmalige Meetkundige Dienst. De hier geldende waarde voor de maaiveldhoogte is afgerond op een decimeter. Dit betekent dat de hoogte 5 cm naar boven of beneden kan afwijken. Binnen dit onderzoek is contact geweest met het Kadaster, Rijkswaterstaat (zie tevens § 2.4), de Groninger Archieven [16] en verschillende universiteitsbibliotheken om aanvullende gegevens te achterhalen, maar deze blijken niet beschikbaar.

Actueel Hoogtebestand Nederland

De inwinning van het AHN is gebonden aan een aantal voorwaarden, bijvoorbeeld ten aanzien van het vliegseizoen. Het vliegseizoen betreft de periode waarin de invloed van eventueel aanwezige vegetatie zo beperkt mogelijk is. In het algemeen loopt deze periode van 1 december tot en met 31 maart, waarbij begin en einddatum afhankelijk van de vegetatiegesteldheid eventueel naar voren dan wel naar achteren geschoven kunnen worden [7].

Naast eisen aan de periode waarin de inwinning plaatsvindt, worden ook eisen gesteld aan de terreingesteldheid gedurende de inwinning. Hieronder valt in elk geval dat [7]:

- het projectgebied niet geheel of gedeeltelijk bedekt mag zijn met sneeuw of hagel;
- het projectgebied niet geheel of gedeeltelijk getroffen is door een overstroming, hieronder wordt ook verstaan het veelvuldig en/of omvangrijk aanwezig zijn van natte plekken als gevolg van regenval.

Bij slecht weer (regen, sneeuw, harde wind) worden geen inwinningsvluchten 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 AHN-1 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). Gegevens van het AHN-2 zijn ingewonnen in de periode februari – maart 2009 [17]. De exacte data wanneer gevlogen is, zijn niet bekend.

Bij het AHN-3 wordt deze informatie wel opgeslagen bij elke meetwaarde, dus dan zou in theorie in de puntenwolken terug te vinden zijn wanneer een meting heeft plaatsgevonden [17]. Het AHN-3 is echter voor provincie Groningen nog niet beschikbaar. In een onderzoek naar bodemdaling in Flevoland is geconstateerd dat het AHN-1 onvoldoende betrouwbaar blijkt voor het analyseren van (relatief beperkte) maaiveld dalingen in de tijd. De meetfout in de maaiveldhoogtebepaling is daarvoor te groot [18]. De foutmarges van het AHN-1 kunnen oplopen tot 10 à 20 cm (zie tabel 6.1). Deze afwijkingen tussen data en terrein worden bijvoorbeeld veroorzaakt door onnauwkeurigheden in de lasermeting en in de GPS plaatsbepaling van het vliegtuig [15].

Tabel 6.1 Systematische en stochastische fouten in het AHN-bestand [15]

	AHN-1 (1998)	AHN-2 (2009)
Systematische fout	5 cm	5 cm
Stochastische fout. Op de stochastische fout is de volgende kansverdeling van toepassing:	5 cm	5 cm
- Minimaal 68,2% van de meetpunten heeft een nauwkeurigheid van	20 cm	10 cm
- Minimaal 95,4% van de meetpunten heeft een nauwkeurigheid van	35 cm	15 cm
- Minimaal 99,7% van de meetpunten heeft een nauwkeurigheid van	50 cm	20 cm

De nauwkeurigheid van de in 2015 uitgevoerde hoogtemetingen bedraagt +/- 1 cm.

Navraag bij de grondeigenaren over het grondgebruik heeft beknopte informatie opgeleverd over de aanwezigheid van gewassen tijdens de opname van de AHN. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de eigenaar van locatie pilot 1 de boerderij in de zomer van 1999 heeft gekocht. Dit bedrijf was voor die tijd een akkerbouwbedrijf (graan). Het is dus niet bekend of de percelen in 1997/1998 waren geploegd of dat er bijvoorbeeld een gewas (wintertarwe) aanwezig was. In tabel 6.2 is de informatie voor locatie pilot 1 opgenomen. De grondeigenaar van locatie pilot 2 heeft aangegeven dat er mogelijk wintergranen (en eventueel winter koolzaad) hebben gestaan gedurende de opname.

Tabel 6.2 Grondgebruik percelen locatie pilot 1 ten tijde van opname AHN-2 en AHN-1

	Perceel1a	Perceel1b	Perceel 2	Perceel3 (ref)
februari-maart 2009 (AHN-2)	Grasland	geploegd (achter stal) grasland (noordoostelijk deel)	Grasland	Grasland
periode 1 januari – 31 maart 1997 (AHN-1)	?/graan	?/graan	?/graan	Grasland
periode 1 januari – 31 maart 1998 (AHN-2)	?/graan	?/graan	?/graan	Grasland

Maaiveld daling door gaswinning

De bodemdaling als gevolg van compactie van het gasreservoir verloopt gelijkmatig met een gradiënt in de bodemdaling van circa 1-1,5 cm per km. Deze gradiënt is visueel op perceelniveau niet waarneembaar.

Maaiveld daling door verweking

Aangezien tot op heden de maximaal opgetreden piekversnelling de ondergrens van 0,1g niet heeft overschreden, kan conform de NPR 9998 aannemelijk worden gemaakt dat er tot dusver geen relevante zakking(verschillen) ten gevolge van verwekingseffecten hebben kunnen plaatsvinden. De bijdrage aan bodemdaling door verdichting van losgepakte zand- en siltlagen wordt daarom nihil verondersteld.

Maaiveld daling die niet kan worden verklaard

Uit de resultaten in de volgende paragraaf blijkt dat er een aantal meetpunten zijn waar een sterk afwijkende maaiveld daling is berekend in vergelijking met de overige onderzoekpunten. De berekende maaiveld daling op deze punten kan niet direct met de verzamelde en beschikbare informatie worden verklaard. Oorzaken van deze sterk afwijkende punten kunnen zijn:

- onzekerheid van de hoogtegegevens voor de gaswinning, 1960 (precieze locatie onbekend en afgerond op 1 decimeter);
- er zijn activiteiten uitgevoerd zoals grondverzet.

Onnatuurlijke patronen in hoogteligging

Op de percelen van locatie pilot 1 zijn op het AHN-2 lijn- en ruitenpatronen in de percelen zichtbaar zowel op de percelen waar volgens de grondeigenaar sprake is van toename van ongelijkmatige maaiveldzakking (perceel 1a, 1b en 2) als het referentieperceel (perceel 3).

Deels kunnen deze patronen worden verklaard door slootdempingen. Echter, het patroon is op sommige plaatsen dusdanig intensief dat er mogelijke andere oorzaken zijn.

Mede gezien de tussenafstanden van de lijn- en ruitenpatronen van circa 30 tot 50 m zijn (tijdelijke) greppels een mogelijke verklaring. Hierbij is vermoedelijk vrijkomende grond naast de greppels op maaiveld verspreid (ingeval van permanente greppels) en zijn hierdoor rondingen in het perceel ontstaan.

Van de grondeigenaar is bekend dat hij regelmatig greppels maakt om plasvorming in ingesloten laagtes te voorkomen en de oppervlakkige waterafvoer te verbeteren.

Een tweede mogelijke optie is de drainage. Echter, ontbreken kaarten met de ligging van drainage om dit nader te kunnen bepalen. Door de aanwezigheid van de drainage komt er meer zuurstof in de bodem waardoor veen rondom de drain oxideert en de bodem inklinkt.

De grondeigenaar heeft aangegeven dat oneffenheden aan maaiveld mogelijk overeenkomen met de ligging van de drainagebuizen.

Locaties met maaiveldverhoging

Voor beide locaties is gekeken naar de plekken met een maaiveldstijging tussen het AHN-1 en AHN-2 en het AHN-2 en de meting in 2015. De resultaten zijn opgenomen in bijlage 15.

Bij locatie pilot 1 is op een beperkt aantal plekken een maaiveldstijging berekend tussen 2009 en 2015. Op basis van de periode 1998 (AHN-1) en 2009 (AHN-2) is met name op perceel 1a en 1b een toename in de hoogteligging waarneembaar. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt doordat deze percelen voor 2000 in gebruik waren als akkerbouwgrond en grondbewerkingen de meetgegevens hebben beïnvloed. Perceel 1b was in 2009 nog deels in gebruik als bouwland wat mogelijk de gegevens van het AHN-2 van dit perceel beïnvloedt.

Op locatie pilot 2 zijn een beperkt aantal plekken met een maaiveldverhoging waarneembaar. Deze liggen vooral aan de randen van de percelen. Mogelijk is dit veroorzaakt doordat bij opschonen van de sloten slootvuil/bagger op de kant is gezet.

Op basis van de periode 1998 (AHN-1) en 2009 (AHN-2) blijkt er bij het merendeel van de punten een maaiveldstijging te zijn opgetreden. Dit is vermoedelijk te wijten aan mogelijke grondbewerkingen op de percelen die van invloed zijn op de meetwaarden.

Afname drooglegging

Op basis van informatie van de Commissie Bodemdaling zakken poldergemalen mee met de bodemdaling. Dit betekent dat de drooglegging in de door poldergemalen beheerste gebieden ongewijzigd blijft doordat het waterschap bij poldergemalen niet actief ingrijpt. De drooglegging in gebieden die door boezempeil worden beheerst, verandert wel, omdat het waterschap bij boezemgemalen wel actief ingrijpt. De peilen volgen (met enige vertraging) de daling. Per saldo is er dan geen sprake van een grotere drooglegging ten gevolgen van bodemdaling en door de vertraging mogelijk zelfs sprake van een kleinere drooglegging [24].

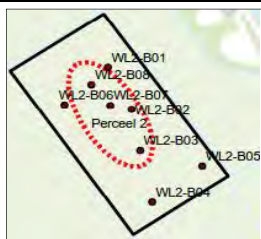
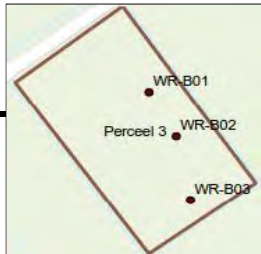
Grondwaterstanden

Op locatie pilot 1 werd voor 1983 een polderpeil gehanteerd van NAP -2,32 m. Op basis van de Bodemkaart van Nederland (uitgave 1979) is afgeleid dat de grondwaterstanden tussen < 0,40 m (GHG) en > 1,20 m (GLG) fluctueerden. In droge perioden konden grondwaterstanden dusdanig uitzakken dat het veenpakket droog kwam te staan (zie bijlage 16) met veenoxidatie tot gevolg. Dit heeft vermoedelijk sinds de invoering van het polderpeil van NAP -2,32 m opgetreden, maar ook voor invoering van dit polderpeil heeft dit vermoedelijk al plaatsgevonden.

De in 1983 doorgevoerde peilaanpassing heeft mogelijk (kortdurend) extra veenoxidatie veroorzaakt als gevolg van het droogvallen van het veen. In de loop van tijd is de veenaafbraak vermoedelijk afgenomen doordat de huidige GLG (geschat in 2015) ten opzichte van de oorspronkelijke waarden in beperkte mate is veranderd. Door de maaivelddaling en opgetreden veenoxidatie is de drooglegging vermindert en de dikte van het droogvallende veenpakket afgenomen. Als gevolg hiervan zal de veenaafbraak langzaam afnemen. Opgemerkt wordt dat meerjarige grondwaterstandsmetingen van de locatie ontbreken om dit nader te onderbouwen. In de huidige situatie worden waterpeilen gehanteerd waarbij de grondwaterstanden voorkomen die tot in het veenpakket kunnen uitzakken (GLG) waardoor veenoxidatie zal blijven optreden.

6.3 Locatie pilot 1

In tabel 6.3 zijn de gegevens van de onderzoeklocaties (boorpunten) ten aanzien van de hoogteligging, berekende maaivelddaling, bodemdaling door compactie van het gasreservoir en de hieruit berekende autonome bodemdaling voor locatie pilot 1 weergegeven.

Tabel 6.3: Loc. pilot 1		1. Hoogte [m NAP]				2. Maaiveldaling vanaf 1960 [m]			3. Bodemdaling gasreservoir [m]			4. Bodemdaling autonoom [m]			5. Verklaring	6. Kaartje
Perceel	Boring	1960	1998	2009	2015	1998	2009	2015	1998	2009	2015	1998	2009	2015		
1a	WL1-B01	-0,7	-0,70	-0,69	-0,81	0,00	-0,01	0,11	0,19	0,27	0,31	-0,19	-0,28	-0,21	-	
1a	WL1-B02	-0,8	-0,82	-0,89	-0,98	0,02	0,09	0,18	0,19	0,27	0,31	-0,17	-0,18	-0,13	-	
1a	WL1-B03	-0,9	-1,10	-1,15	-1,25	0,20	0,25	0,35	0,19	0,27	0,31	0,01	-0,02	0,04	veenoxidatie	
1a	WL1-B04	-0,9	-1,16	-1,20	-1,35	0,26	0,30	0,45	0,19	0,27	0,31	0,07	0,03	0,14	veenoxidatie	
1a	WL1-B05	-0,5	-0,66	-0,81	-0,90	0,16	0,31	0,40	0,19	0,27	0,31	-0,03	0,04	0,09	rijping/klink	
1a	WL1-B06	-0,6	-0,80	-0,90	-1,00	0,20	0,30	0,40	0,19	0,27	0,31	0,01	0,03	0,09	veenoxidatie	
1a	WL1-B07	-0,2	-0,66	-0,77	-0,86	0,46	0,57	0,66	0,19	0,27	0,31	0,27	0,30	0,35	slootdemping omstreeks 2008	
1a	WL1-B08	-0,8	-0,99	-1,03	-1,10	0,19	0,23	0,30	0,19	0,27	0,31	0,00	-0,04	-0,01	-	
1a	WL1-B09	-0,8	-0,90	-0,98	-1,08	0,10	0,18	0,28	0,19	0,27	0,31	-0,09	-0,09	-0,03	-	
1a	WL1-B10	-0,7	-0,91	-1,10	-1,21	0,21	0,40	0,51	0,19	0,27	0,31	0,02	0,13	0,20	veenoxidatie/rijping	
1a	WL1-B11	-0,4	-0,87	-1,11	-1,17	0,47	0,71	0,77	0,19	0,27	0,31	0,28	0,44	0,46	slootdemping omstreeks 2008	
1a	WL1-B23	-0,7	-0,95	-1,18	-1,26	0,25	0,48	0,56	0,19	0,27	0,31	0,06	0,21	0,25	veenoxidatie/rijping	
1b	WL1-B12	-0,5	-0,90	-0,68	-0,88	0,40	0,18	0,38	0,19	0,27	0,31	0,21	-0,09	0,07	rijping	
1b	WL1-B14	-0,2	-0,85	-0,83	-0,94	0,65	0,63	0,74	0,19	0,27	0,31	0,46	0,36	0,43	Onnauwkeurigheid hoogte 1960	
1b	WL1-B15	-0,6	-0,89	-0,92	-0,98	0,29	0,32	0,38	0,19	0,27	0,31	0,10	0,05	0,07	rijping	
1b	WL1-B16	-0,9	-1,22	-1,27	-1,34	0,32	0,37	0,44	0,19	0,27	0,31	0,13	0,10	0,13	veenoxidatie/rijping	
1b	WL1-B17	-0,9	-1,39	-1,33	-1,41	0,49	0,43	0,51	0,19	0,27	0,31	0,30	0,16	0,20	veenoxidatie/rijping	
1b	WL1-B18	-1,1	-1,54	-1,45	-1,57	0,44	0,35	0,47	0,19	0,27	0,31	0,25	0,08	0,16	veenoxidatie/rijping	
1b	WL1-B19	-0,9	-1,26	-1,35	-1,45	0,36	0,45	0,55	0,19	0,27	0,31	0,17	0,18	0,24	veenoxidatie/rijping/demping omstreeks 1990	
1b	WL1-B20	-1,0	-1,11	-1,25	-1,31	0,11	0,25	0,31	0,19	0,27	0,31	-0,08	-0,02	0,00	-	
1b	WL1-B21	-0,8	-1,01	-1,14	-1,22	0,21	0,34	0,42	0,19	0,27	0,31	0,02	0,07	0,11	veenoxidatie/rijping	
1b	WL1-B22	-1,2	-1,48	-1,42	-1,52	0,28	0,22	0,32	0,19	0,27	0,31	0,09	-0,05	0,01	-	
1b	WL1-B24	-0,6	-1,42	-1,05	-1,13	0,82	0,45	0,53	0,19	0,27	0,31	0,63	0,18	0,22	slootdemping omstreeks 2005/veenoxidatie	
2	WL2-B01	-1,1	-1,40	-1,50	-1,54	0,30	0,40	0,44	0,19	0,27	0,31	0,11	0,13	0,13	veenoxidatie	
2	WL2-B02	-1,0	-1,18	-1,28	-1,32	0,18	0,28	0,32	0,19	0,27	0,31	-0,01	0,00	0,01	-	
2	WL2-B03	-1,2	-1,19	-1,28	-1,37	-0,01	0,08	0,17	0,19	0,27	0,31	-0,20	-0,19	-0,14	-	
2	WL2-B04	-0,9	-1,41	-1,53	-1,62	0,51	0,63	0,72	0,19	0,27	0,31	0,32	0,36	0,41	Onnauwkeurigheid hoogte 1960	
2	WL2-B05	-1,6	-1,67	-1,73	-1,81	0,07	0,13	0,21	0,19	0,27	0,31	-0,12	-0,14	-0,10	-	
2	WL2-B06	-0,9	-1,16	-1,27	-1,36	0,26	0,37	0,46	0,19	0,27	0,31	0,07	0,10	0,15	veenoxidatie	
2	WL2-B07	-1,0	-1,48	-1,62	-1,68	0,48	0,62	0,68	0,19	0,27	0,31	0,29	0,35	0,37	slootdemping omstr. 1970/hoogte 1960 onbekend	
2	WL2-B08	-1,0	-1,43	-1,58	-1,65	0,43	0,58	0,65	0,19	0,27	0,31	0,24	0,31	0,34	slootdemping omstr. 1970/hoogte 1960 onbekend	
3. ref	WR-B01	-1,0	-1,39	-1,51	-1,59	0,39	0,51	0,59	0,19	0,27	0,31	0,20	0,24	0,28	veenoxidatie	
3. ref	WR-B02	-0,9	-1,24	-1,38	-1,48	0,34	0,48	0,58	0,19	0,27	0,31	0,15	0,21	0,27	veenoxidatie	
3. ref	WR-B03	-1,0	-1,36	-1,45	-1,55	0,36	0,45	0,55	0,19	0,27	0,31	0,17	0,18	0,24	veenoxidatie	
1a	gemiddeld	-0,7	-0,88	-0,99	-1,08	0,21	0,32	0,41	0,19	0,27	0,31	0,02	0,05	0,10		
1a	std dev	0,2	0,16	0,17	0,17	0,14	0,20	0,19	0,00	0,00	0,00	0,14	0,20	0,19		
1b	gemiddeld	-0,8	-1,19	-1,15	-1,25	0,40	0,36	0,46	0,19	0,27	0,31	0,21	0,09	0,15		
1b	std dev	0,3	0,25	0,25	0,24	0,20	0,13	0,12	0,00	0,00	0,00	0,20	0,13	0,12		
2	gemiddeld	-1,1	-1,37	-1,47	-1,55	0,28	0,39	0,46	0,19	0,27	0,31	0,09	0,12	0,15		
2	std dev	0,2	0,18	0,18	0,18	0,19	0,21	0,21	0,00	0,00	0,00	0,19	0,21	0,21		
3. ref	gemiddeld	-1,0	-1,33	-1,45	-1,54	0,36	0,48	0,57	0,19	0,27	0,31	0,17	0,21	0,26		
3. ref	std dev	0,1	0,08	0,07	0,06	0,03	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,02		
tot.	gemiddeld	-0,8	-1,13	-1,20	-1,28	0,30	0,36	0,45	0,19	0,27	0,31	0,11	0,09	0,14		
	std dev	0,3	0,28	0,28	0,27	0,18	0,17	0,17	0,00	0,00	0,00	0,18	0,17	0,17		

TOELICHTING TABEL	
1. Hoogte [m NAP]	
1960	bron: TOPhoogteMD-bestand
1998	bron: AHN1
2009	bron: AHN2
2015	bron: Hoogtemeting
2. Maaiveldddaling vanaf 1960 [m]	
1998	hoogteverschil tussen AHN1 en TopHoogteMD
2009	hoogteverschil tussen AHN2 en TopHoogteMD
2015	hoogteverschil tussen hoogtemeting en TopHoogteMD
3. Bodemdaling gasreservoir [m]	
1998	geïnterpoleerde bodemdaling door compactie gasreservoir (gegevens NAM)
2009	geïnterpoleerde bodemdaling door compactie gasreservoir (gegevens NAM)
2015	geïnterpoleerde bodemdaling door compactie gasreservoir (gegevens NAM)
4. Bodemdaling autonoom (m)	
1998	resultante van de maaiveldddaling vanaf 1960 tot 1998 minus bodemdaling gasreservoir in 1998
2009	resultante van de maaiveldddaling vanaf 1960 tot 2009 minus bodemdaling gasreservoir in 2009
2015	resultante van de maaiveldddaling vanaf 1960 tot 2015 minus bodemdaling gasreservoir in 2015
-0,7	geïnterpoleerde hoogteligging 1960 op basis van omliggende punten
0,35	sterk afwijkende bodemdaling
-	negatieve waarden = bodemdaling compactie gasreservoir groter dan berekende opgetreden bodemdaling

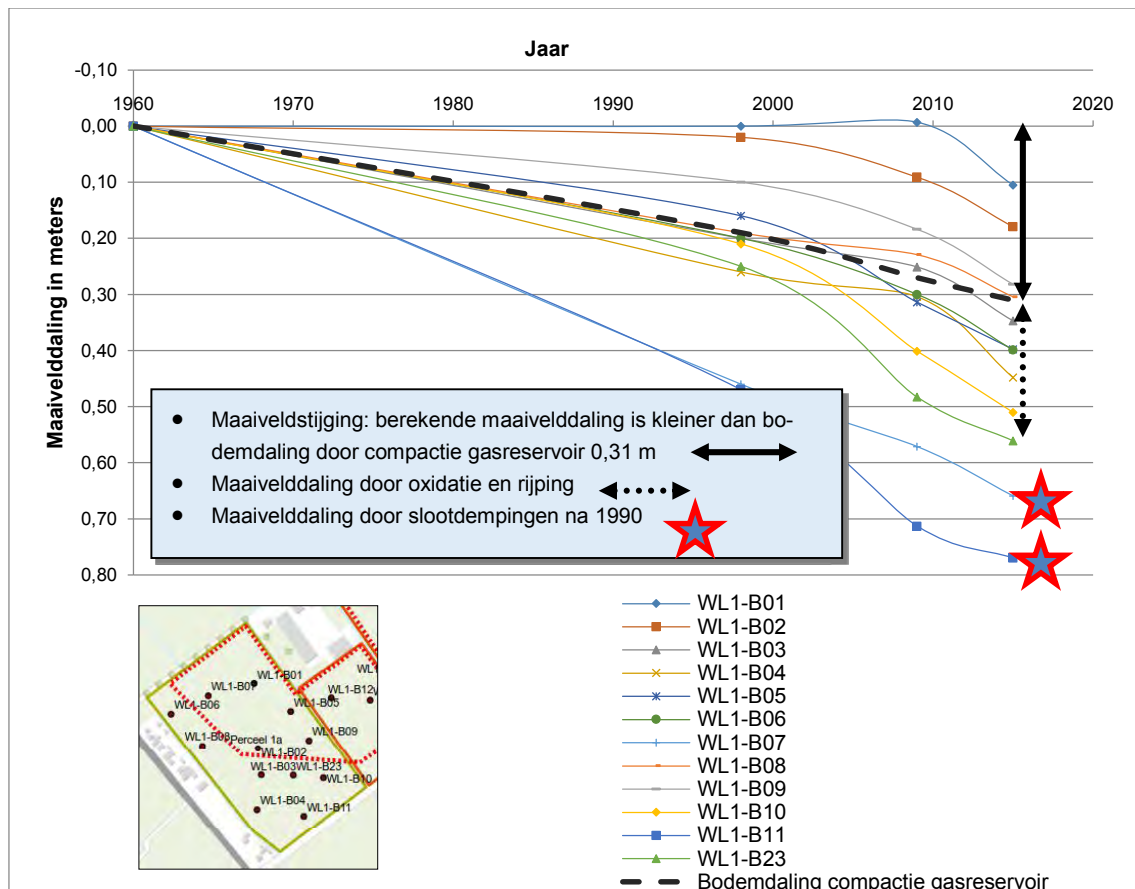
De resultaten van de analyse van de bodemdalingsprocessen en bijhorende documenten voor de percelen van locatie pilot 1 zijn opgenomen in bijlage 8.

6.3.1 Maaiveld daling periode 1960 – 2015

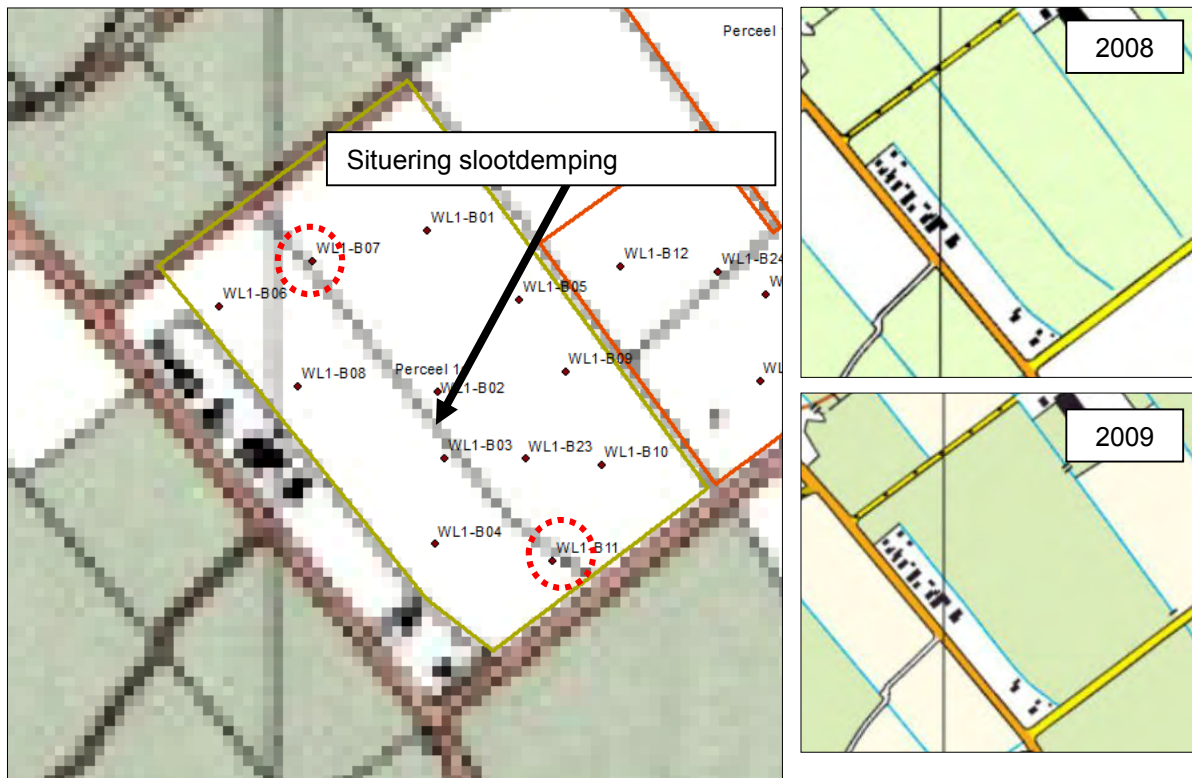
Perceel 1a

In figuur 6.1 is het verloop van de totale maaiveld daling tussen 1960 en 2015 voor perceel 1a weergegeven. In de figuur is tevens het verloop van de bodemdaling door compactie van het gasreservoir weergegeven.

Uit tabel 6.3 en figuur 6.1 is op te maken dat de grootte van de opgetreden bodemdaling sterk uiteenloopt. Bij een aantal boorpunten blijkt de maaiveld daling kleiner dan de bodemdaling door compactie van het gasreservoir (WL1-B01, WL1-B02 en WL1-B08), dit betekent dat er sprake is van maaiveld stijging. De locaties waar de grootste bodemdaling is berekend, zijn WL1-B11 en WL1-B07. Dit kan niet worden verklaard door bodemdaling door gaswinning of door verweking (§ 6.2), maar wel door aanwezige slootdempingen (zie fig. 6.2 en fig. 6.3) en door onzekerheid in de metingen van 1960 (§6.2, Hoogtegegevens voor de gaswinning).



Figuur 6.1 Maaiveld daling boorpunten vanaf 1960 perceel 1a, locatie pilot 1



Figuur 6.2 Topografische kaart 1990 perceel 1a met situatie boringen en slootdemping na 2008.
Rechts de topografische kaarten van 2008 en 2009 (bron: www.topotijdreis.nl).

Op basis van de website www.topotijdreis.nl blijkt dat de sloot in het perceel na 2008 is gedempt (zie figuur 6.2). Ook in luchtfoto's uit Google Maps en Bing Maps (zie figuur 6.3) is te zien dat er grond is aangebracht.

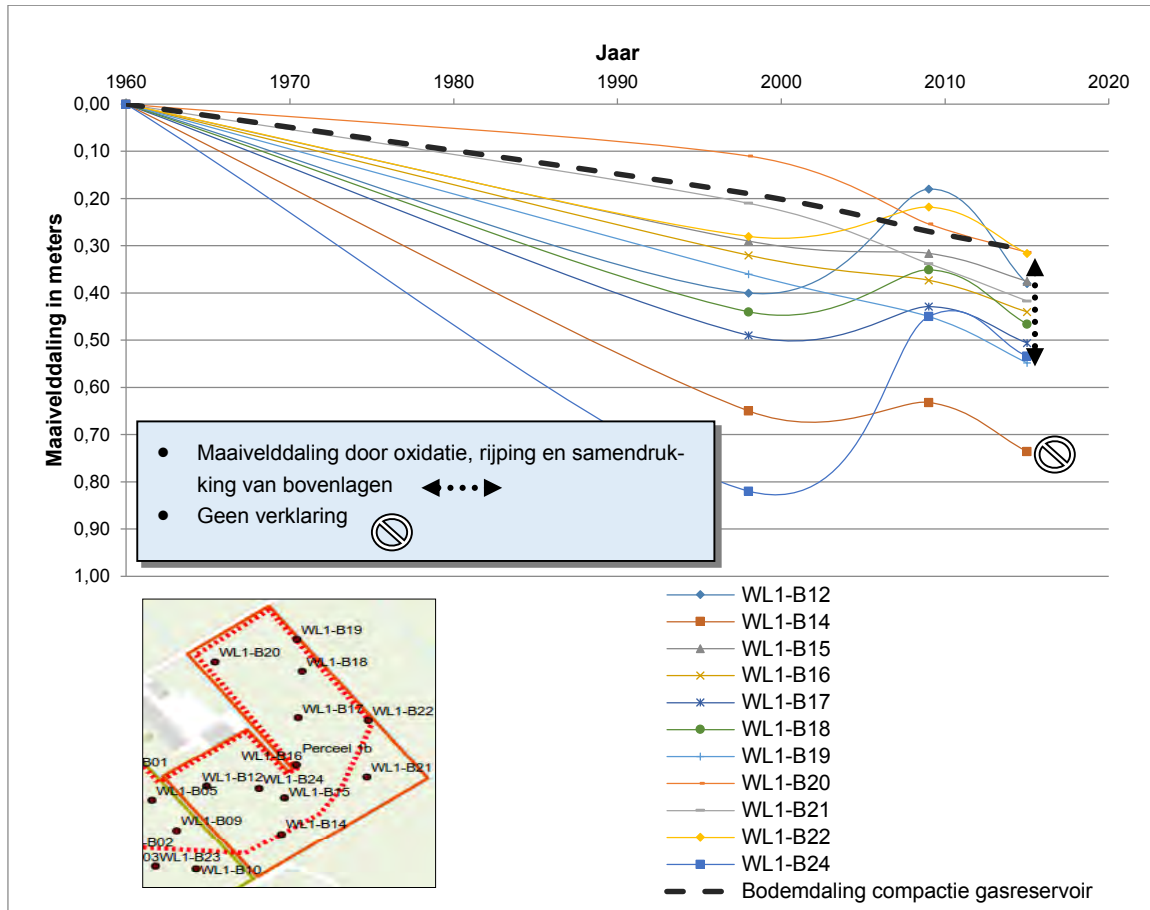


Figuur 6.3 Luchtfoto perceel 1a in 2009 (bron: Google Maps)

Perceel 1b

In figuur 6.4 is het verloop van de maaiveldddaling tussen 1960 en 2015 voor perceel 1b weer-gegeven. De grootte van de bodemdaling loopt minder uiteen ten opzichte van perceel 1a. De locatie met de grootste berekende bodemdaling is WL1-B14. Deze maaiveldddaling is niet toe te schrijven aan bodemdaling door gaswinning of door verweking (§ 6.2), maar kan mogelijk wel worden verklaard door aanwezige slootdempingen (zie bijlage 14) en door onzekerheid in de metingen van 1960 (§ 6.2, Hoogtegegevens voor de gaswinning).

Wat opvalt op dit perceel is dat het gemiddelde beeld is dat het hoogteverschil tussen 1998 (AHN-1) en 2009 (AHN-2) kleiner wordt en het maaiveld volgens deze gegevens in 2009 hoger ligt dan in 1998. Dit wordt veroorzaakt door de onbetrouwbaarheid van het AHN-1.

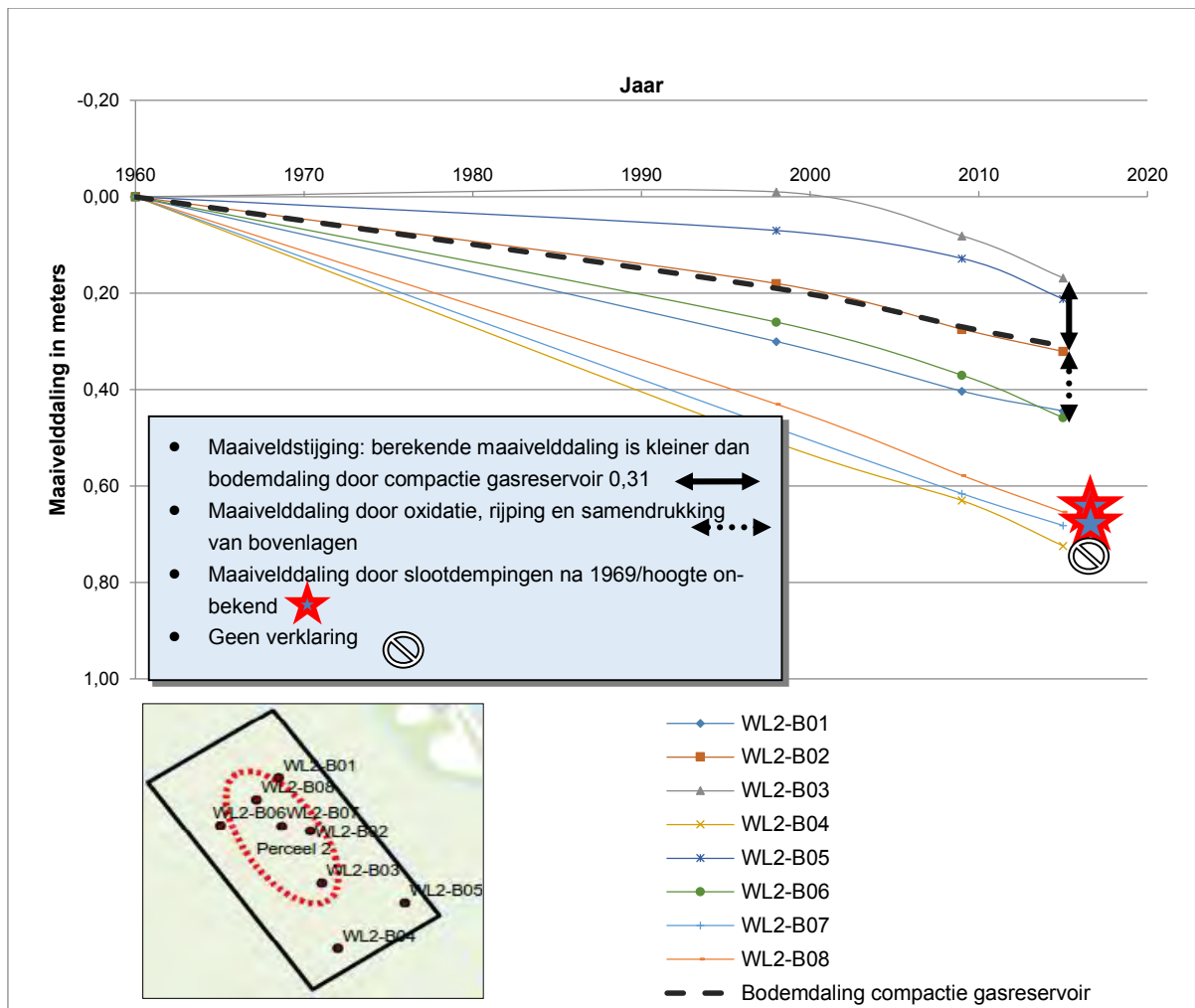


Figuur 6.4 Maaiveldddaling boorpunten vanaf 1960 perceel 1b, locatie pilot 1

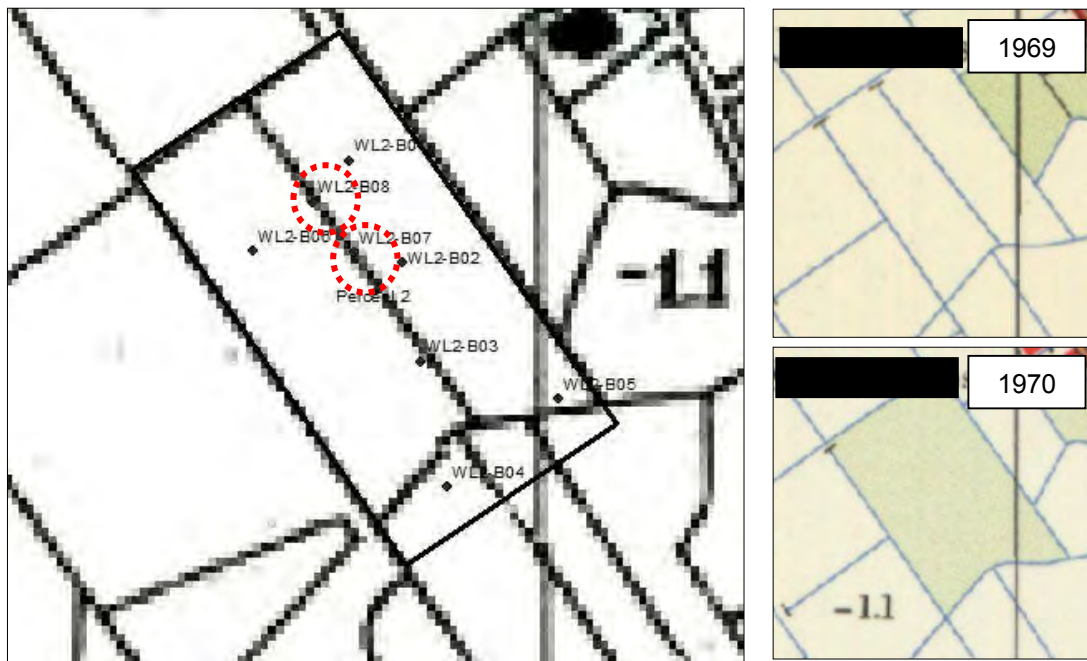
Perceel 2

In figuur 6.5 is het verloop van de maaiveldddaling tussen 1960 en 2015 voor perceel 2 weer-gegeven. De locaties met de grootste berekende bodemdaling zijn WL2-B07 en WL2-B08. Vermoedelijke oorzaken zijn onzekerheid in de metingen van 1960 (paragraaf 6.2, Hoogtegegevens voor de gaswinning) of een slootdemping na 1969 (zie figuur 6.6). De maaiveldddaling bij boring WL2-B04 is niet toe te schrijven aan bodemdaling door gaswinning of door verweking (§ 6.2), maar kan mogelijk wel worden verklaard door onzekerheid in de metingen van 1960 (§ 6.2, Hoogtegegevens voor de gaswinning).

Net zoals bij perceel 1a blijkt uit tabel 6.3 en figuur 6.5 dat op dit perceel de grootte van de opgetreden bodemdaling sterk uiteenloopt en dat bij een aantal boorpunten de berekende maaiveldddaling kleiner is dan de bodemdaling door compactie van het gasreservoir (WL2-B03 en WL2-B05).



Figuur 6.5 Maaiveldddaling boorpunten vanaf 1960 perceel 2, locatie pilot 1



Figuur 6.6 Topografische kaart 1953 perceel 2 met situatie boringen slootdempingen. Rechts de topografische kaarten van 1969 en 1970 (bron: www.topotijdreis.nl).

6.3.2 Autonome bodemdaling periode 1960 - 2015

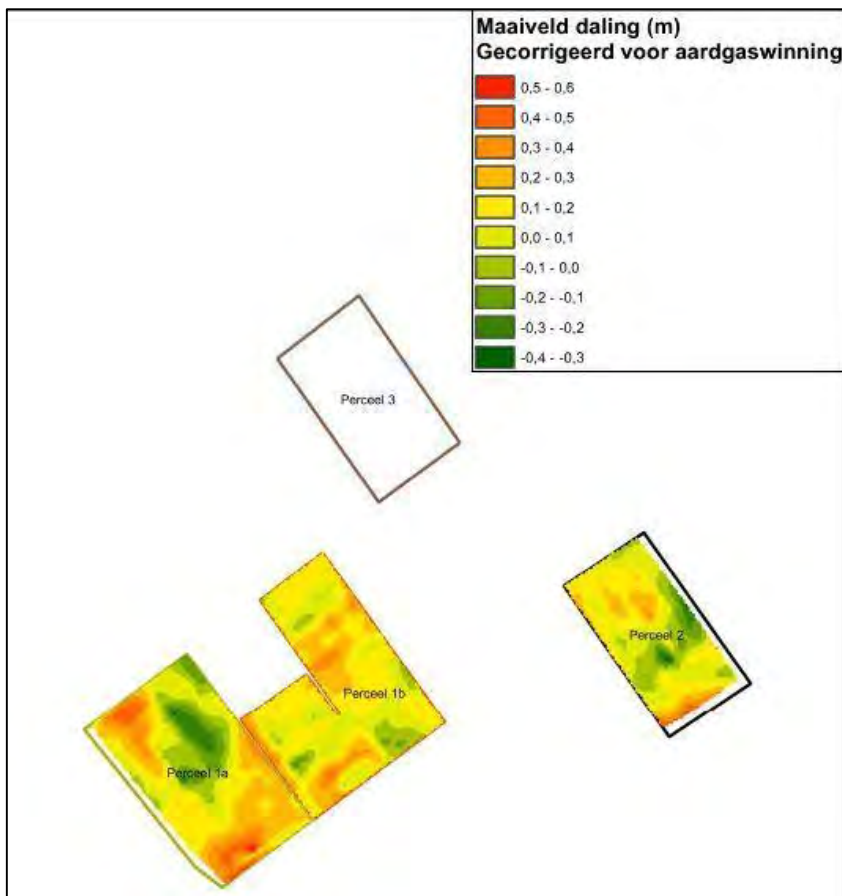
De gemiddelde opgetreden autonome bodemdaling (resultante van de totale bodemdaling minus de bodemdaling door compactie van het gasreservoir) tussen 1960 en 2015 bedraagt:

- perceel 1a : gemiddeld 0,10 m;
- perceel 1b : gemiddeld 0,15 m;
- perceel 2 : gemiddeld 0,15 m;
- perceel 3 ref : gemiddeld 0,26 m.

Op basis van informatie van de grondeigenaar is op het referentieperceel geen sprake van golving (ongelijkmatige bodemdaling). Opvallend is dat op het referentieperceel gemiddeld genomen een grotere autonome bodemdaling is opgetreden ten opzichte van perceel 1a, 1b en 2. Dit is een perceel waar geen klachten over ongelijkmatige bodemdaling zijn. Hierbij wordt wel opgemerkt dat er op perceel 3 alleen hoogtemetingen ter plaatse van de boorpunten zijn uitgevoerd en geen hoogtemeting in een ruitengrid van 25 bij 25 m is uitgevoerd (zie ook figuur 6.7).

De grootte van deze bodemdaling kan vanwege de bodemopbouw en hydrologische situatie worden verklaard door de processen veenoxidatie, rijping en samendrukking van bovenlagen.

In fig. 6.7 is de geïnterpoleerde kaart van de berekende autonome bodemdaling tussen 1960 en 2015 weergegeven. De kaart is tevens op schaal opgenomen in bijlage 8. Uit de figuur kan worden opgemaakt dat er verschillen binnen de percelen zijn. Een negatieve bodemdaling betekent dat het maaiveld hoger ligt in 2015 (rekening houdend met maaiveld daling door compactie van het gasreservoir). Gezien het beperkt aantal punten en nauwkeurigheid van de gegevens uit 1960 mag deze kaart slecht zeer indicatief worden gebruikt. Uit de kaart kan wel worden afgeleid dat sprake is van verschillen in maaiveld daling variërend van 0 tot 0,5 m.



Figuur 6.7 Berekende autonome bodemdaling (geïnterpoleerd) tussen 1960 en 2015, locatie pilot 1 (op perceel 3 is geen hoogtemeting verricht en derhalve geen kaart weergegeven).

6.3.3 Maaiveld daling periode 2009 – 2015

Om inzicht te krijgen in de mogelijk toegenomen ongelijkmatige bodemdaling als gevolg van de toename (frequentie en magnitude) van geïnduceerde aardbevingen (zie tabel 4.4) zijn de hoogtegegevens van 2009 (AHN-2) met de uitgevoerde hoogtemetingen in 2015 vergeleken. De hoogteligging van de locatie voor 2009 (AHN-2) is opgenomen in bijlage 10. Hieruit blijkt dat oude slootpatronen te herkennen zijn door een lagere ligging of hogere ligging. De geïnterpoleerde hoogteverschilkaarten (tussen 2009 en 2015) zijn per perceel opgenomen in bijlage 11.

De hoogteverschillen tussen 2009 en 2015 variëren gemiddeld genomen van 0,05 tot 0,15 m. Op een enkel punt is het hoogteverschil kleiner dan 0,05 m. Op basis van de geïnterpoleerde kaart zijn er geen delen van het perceel waar opvallende hoogteverschillen zijn opgetreden.

Om te beoordelen of de bodemdaling sinds de toename van het aantal geïnduceerde aardbevingen is toegenomen, zijn voor alle hoogtemetingen in 2015 de hoogten in 2009 (AHN-2) en in 1998 (AHN-1) bepaald. Vervolgens is de gemiddelde bodemdaling per jaar in de periode 1998 – 2009 en in de periode 2009 – 2015 berekend. De resultaten zijn opgenomen in tabel 6.4.

Tabel 6.4 Gemiddelde bodemdaling periode 1998 - 2009 en periode 2009 - 2015 locatie pilot 1

Perceel	Totale bodemdaling (cm)		Autonome bodemdaling (cm)*		Autonome bodemdaling (cm/jaar)		
	1998 – 2009	2009 – 2015	1998 – 2009	2009 – 2015	1998 – 2009	2009 – 2015	Vershil
1a	7 cm	10 cm	< 0 cm	6 cm	0 cm/jr	1 cm/jr	+ 1 cm/jr
1b	3 cm	12 cm	< 0 cm	8 cm	0 cm/jr	1 cm/jr	+ 1 cm/jr
2	9 cm	18 cm	1 cm	12 cm	0 cm/jr	2 cm/jr	+ 2 cm/jr

*Bodemdaling door compactie gasreservoir is respectievelijk 8 cm (periode 1998 – 2009) en 4 cm (periode 2009 – 2015)

Uit tabel 6.4 volgt dat de bodemdaling in de periode 2009 – 2015 met gemiddeld 1 tot 2 cm/jaar is toegenomen ten opzichte van de periode 1998 -2009. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de nauwkeurigheid van de gegevens van de periode 1998 – 2009 minder is ten opzichte van de periode 2009 – 2015 (zie § 6.2). Er kan vanwege de onnauwkeurigheid van de gegevens van het AHN-1 (1998) en het ontbreken van meetgegevens voor 2009 geen goede vergelijking worden gemaakt met de periode voor 2008 (periode met minder bevingen en kleinere magnitude).

6.3.4 Effect van de veendiepte

Voor perceel 1a en 1b is onderzocht wat het verschil is in opgetreden bodemdaling binnen en buiten de inversierug. Om een zo zuiver mogelijke vergelijking te kunnen maken, zijn hierbij de hoogtes ter plaatse van slootdempingen niet beschouwd. Uit de analyse blijkt dat de bodemdaling ter plaatse van de inversierug (veen dieper dan 2,0 m -mv) in de periode 2009 en 2015 in totaal gemiddeld 12 cm bedraagt en ter plaatse van omringend gebied (veen ondieper dan 2,0 m -mv) gemiddeld 10 cm.

6.3.5 Kwalitatieve waardering

De mogelijke oorzaken voor de opgetreden bodemdaling zijn divers van aard en onder te verdelen in oorzaken die gerelateerd zijn aan de gaswinning (G), oorzaken die gerelateerd zijn aan menselijke ingrepen (I) en autonome bodemdalingsprocessen (A). De mogelijke oorzaken en de aannemelijkheid van de mogelijke oorzaken zijn kwalitatief gewaardeerd, inclusief een toelichting. Deze zijn opgenomen in tabel 6.5.

Tabel 6.5 Mogelijke oorzaken ongelijkmatige bodemdaling locatie pilot 1

TABEL 1: LOCATIE PILOT 1	Mogelijke oorzaken ongelijkmatige bodemdaling		Beoordeling	Verklaring
	G	Compactie van het gasreservoir	-	> Minimale (niet waarneembare) gradiënt op perceelniveau. > Gelijkmatic en traag verloop van de bodemdaling.
	G	Geïnduceerde aardbevingen	-	> Maximaal opgetreden piekversnelling < 0,1 g waardoor theoretisch geen verweking kan zijn opgetreden. > Geen waarneming van effecten van verweking in praktijk (wellen en/of scheefgezakte objecten). > Geen toename in variabiliteit bodemdaling op basis van InSAR-data.
	G	Peilverlaging compensatie bodemdaling	-	> De drooglegging van de percelen is vanaf de start van de gaswinning afgenomen. Hierdoor is de dikte van het veenpakket dat in de zomermaanden droogvalt afgenomen en de snelheid van de maaiveld daling door autonome bodemdalingsprocessen (veenoxidatie) vermindert.
	I	Slootdempingen	+	> Tussen 1960 en 2015 zijn sloten gedempt. > Hoogteverschillen zijn waarneembaar op het AHN ter plaatse van slootdempingen. > Heterogene bodemopbouw en zettingvoeligheid bodemprofiel (klei en veen) leidt tot grotere kans op ongelijkmatige nazakkingen.
	I	Drainage / begreppeling	+	> Drainage ligt vermoedelijk deels in veenlaag waardoor veen kan oxideren. > Door aanleg drainage ten tijde van de ruilverkaveling zijn grondwaterstanden mogelijk beïnvloed. > Op percelen werden voorheen greppels gemaakt waarbij vrijkomende grond op het land naast de greppel is verspreid. > Op het AHN-2 zijn onnatuurlijke lijn- en ruitenpatronen zichtbaar (vermoedelijk greppels).
	I	Ophoging / grondverzet	+/-0	> Vrijkomende grond uit gegraven mestkelder (uitbreiding stal) is voor slootdemping gebruikt. > Verhoging maaiveld zichtbaar op AHN-2 ter plaatse van slootdemping.
	I	Peilbeheer	+	> Sinds 1957 is door het gevoerde peilbeheer oxidatie van veenlagen mogelijk. De gemiddeld laagste grondwaterstanden (GLG) zijn in de loop van de tijd vermoedelijk beperkt gewijzigd. > Als gevolg van de bodemdaling is de drooglegging van de percelen afgenomen en door veenoxidatie is de dikte van de (droogvallende) veenlagen geleidelijk afgenomen. Hierdoor is in de loop van de tijd de snelheid van veenoxidatie ook iets afgenomen. > In de huidige situatie worden waterpeilen gehanteerd waarbij de grondwaterstanden (GLG) tot in het veenpakket kunnen uitzakken en veenoxidatie zal blijven optreden. De dikte van het droogvallende veenpakket is waarschijnlijk geringer, waardoor bodemdaling minder snel verloopt. > In de periode kort na de peilverlaging (1983) kunnen autonome bodemdalingsprocessen (kortdurend) zijn versneld.
	A	Oxidatie en krimp van veen	+	> Veenlagen rondom Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) aanwezig, waardoor onder droge omstandigheden veen oxideert. > Sterke variatie in dikte en diepteligging van het veen leidt tot grotere kans op ongelijkmatige bodemdaling.
	A	Samendrukking van bovenlagen / zetting	+	> Bodemopbouw is zettingsgevoelig door aanwezigheid van veen en klei. > Bodemopbouw is heterogeen, grotere kans op ongelijkmatige bodemdaling.
	A	Rijping	+/-0	> Bodemprofiel bestaat deels uit (ongerijpte) kleilagen. > Kleigronden rijpen door ontwatering/drainage
TOELICHTING				
G	Oorzaak is gerelateerd aan gaswinning			
I	Oorzaak is gerelateerd aan menselijke ingrepen/activiteiten			
A	Oorzaak is (grotendeels) gerelateerd aan autonome bodemprocessen			
-	Oorzaak is niet aannemelijk			
0	Onvoldoende informatie om aannemelijkheid te beoordelen			
+	Oorzaak is aannemelijk			

6.3.6 Conclusie bodemdaling locatie pilot 1

De maaiveldddaling op locatie pilot 1 wordt grotendeels veroorzaakt door compactie van het gasreservoir (0,31 m). De resterende bodemdaling (0 tot 0,46 m) kan worden verklaard door de autonome bodemdalingsprocessen (veenoxidatie, rijping en samendrukking van bovenlagen). Locaties met een sterk afwijkende bodemdaling (uitschieters met een berekende bodemdaling van 0,46 m) kunnen grotendeels worden verklaard door de aanwezigheid van slootdempingen, drainage, begreppeling en ingrepen (ophogingen). Locaties met een sterk afwijkende bodemdaling waar geen aanwijsbare oorzaak voor is gevonden, kunnen alleen door onzekerheid in de beschikbare hoogtemeting uit 1960 of menselijke ingrepen (zoals egalisatie) worden verklaard.

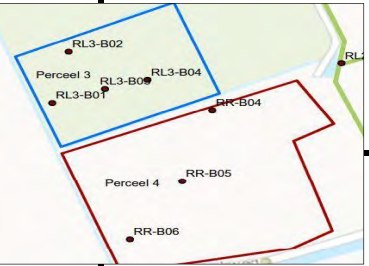
Ongelijkmatige zakking kan worden verklaard door de heterogene bodemopbouw. Op de locatie komt een slap pakket van klei en veen voor met een wisselende dikte van 2,7 tot 7,2 m. Waar het maaiveld hoger ligt, is er geen veen binnen 2,0 m -mv in het profiel aanwezig. Rondom het GLG-niveau is bij het merendeel van de boringen veen aanwezig met kans op veenoxidatie (zie bijlage 16). Deze boringen liggen in de lagere delen. Door ontwatering en drainage kunnen veenlagen in contact komen met zuurstof en daardoor oxideren. Doordat de dikte en diepte van de veenlagen wisselt, treedt ongelijkmatige bodemdaling op of is opgetreden. Door ontwatering is in de kleilagen rijping opgetreden. De gemiddelde opgetreden autonome bodemdaling van 0,10 tot 0,15 m (berekend voor de periode 1960 - 2015) en 0,06 tot 0,12 m (berekend op basis van AHN-2 en hoogtemeting) is door deze processen te verklaren.

Het polderpeil in 1957 is zodanig ingesteld dat grondwaterstanden diep konden uitzakken en oxidatie van veen mogelijk was. Na instelling van het polderpeil blijkt dat gedurende een periode van bijna 60 jaar er sprake is van een relatief geringe verandering van de GLG en minder sterk fluctuerende grondwaterstanden. De drooglegging is geleidelijk afgenomen (zie schematische weergave in bijlage 16). Als gevolg van volumereductie van het veen en de verminderde drooglegging is de snelheid van de veenoxidatie (iets) afgenomen.

In de periode kort na de doorgevoerde peilverlaging (tussen 1953 en 1997) kunnen autonome bodemdalingsprocessen tijdelijk zijn versneld doordat de grondwaterstand (tijdelijk) mogelijk is uitgezakt. Na 1997 zijn geen peilwijzigingen doorgevoerd, waardoor autonome bodemdalingsprocessen zouden kunnen zijn versneld.

6.4 Locatie pilot 2

In tabel 6.6 zijn de gegevens van de onderzoeklocaties (boorpunten) ten aanzien van de hoogteligging, berekende maaiveldddaling, bodemdaling door compactie van het gasreservoir en de hieruit afgeleide autonome bodemdaling voor locatie pilot 2 weergegeven.

Tabel 6.6: Loc. Pilot 2		1. Hoogte [m NAP]				2. Maaiveldaling vanaf 1960 [m]			3. Bodemdaling gasreservoir [m]			4. Bodemdaling autonoom [m]			5. Verklaring	6. Kaartje
Perceel	Boring	1960	1998	2009	2015	1998	2009	2015	1998	2009	2015	1998	2009	2015		
1	RL1-B01	0,2	0,24	0,38	0,30	-0,04	-0,18	-0,10	0,18	0,25	0,28	-0,22	-0,43	-0,38	-	
1	RL1-B02	0,4	0,40	0,54	0,36	0,00	-0,14	0,04	0,18	0,25	0,28	-0,18	-0,39	-0,24	-	
1	RL1-B03	0,7	0,55	0,63	0,57	0,15	0,08	0,13	0,18	0,25	0,28	-0,03	-0,18	-0,15	-	
1	RL1-B04	0,5	0,24	0,22	0,21	0,26	0,28	0,29	0,18	0,25	0,28	0,08	0,03	0,01	rijping/onnauwkeurigheid gegevens	
1	RL1-B07	0,9	0,77	0,72	0,65	0,13	0,18	0,25	0,18	0,25	0,28	-0,05	-0,07	-0,03	-	
1	RL1-B08	0,6	0,21	0,23	0,16	0,39	0,37	0,44	0,18	0,25	0,28	0,21	0,12	0,16	rijping/slootdemping na 1993	
1	VRL1-B06	0,7	0,61	0,69	0,53	0,09	0,01	0,17	0,18	0,25	0,28	-0,09	-0,24	-0,11	-	
1	VRL1-B09	0,7	0,02	0,14	0,07	0,68	0,56	0,63	0,18	0,25	0,28	0,50	0,31	0,35	slootdemping na 1993 - afwijkende hoogte 1960	
2	RL2-B01	0,9	0,23	0,22	0,18	0,67	0,69	0,72	0,18	0,25	0,28	0,49	0,44	0,44	slootdemping na 1953 - afwijkende hoogte 1960	
2	RL2-B03	0,9	0,58	0,61	0,53	0,32	0,29	0,37	0,18	0,25	0,28	0,14	0,04	0,09	-	
2	RL2-B05	1	0,74	0,74	0,69	0,26	0,26	0,31	0,18	0,25	0,28	0,08	0,01	0,03	rijping/onnauwkeurigheid gegevens	
2	RL2-B06	0,9	0,65	0,58	0,59	0,25	0,32	0,32	0,18	0,25	0,28	0,07	0,07	0,04	rijping/onnauwkeurigheid gegevens	
2	RL2-B07	1	0,66	0,67	0,58	0,34	0,33	0,42	0,18	0,25	0,28	0,16	0,08	0,14	rijping/onnauwkeurigheid gegevens	
2	RL2-B09	0,8	0,02	0,12	0,16	0,78	0,68	0,65	0,18	0,25	0,28	0,60	0,43	0,37	niet representatief	
2	VRL2-B01	0,9	0,58	0,58	0,56	0,32	0,32	0,34	0,18	0,25	0,28	0,14	0,07	0,06	rijping/onnauwkeurigheid gegevens	
2	VRL2-B02	0,9	0,67	0,64	0,61	0,23	0,26	0,29	0,18	0,25	0,28	0,05	0,01	0,01	rijping/onnauwkeurigheid gegevens	
3 .ref	RL3-B01	0,7	0,50	0,48	0,44	0,21	0,22	0,26	0,18	0,25	0,28	0,02	-0,03	-0,02	-	
3 .ref	RL3-B02	0,7	0,22	0,14	0,11	0,48	0,56	0,59	0,18	0,25	0,28	0,30	0,31	0,31	slootdemping na 1973	
3 .ref	RL3-B03	0,7	0,63	0,54	0,56	0,07	0,16	0,14	0,18	0,25	0,28	-0,11	-0,09	-0,14	-	
3 .ref	RL3-B04	0,7	0,61	0,59	0,53	0,09	0,11	0,17	0,18	0,25	0,28	-0,09	-0,14	-0,11	-	
4 .ref	RR-B04	0,2	0,47	0,53	0,46	-0,27	-0,33	-0,26	0,18	0,25	0,28	-0,45	-0,58	-0,54	-	
4 .ref	RR-B05	0,5	0,14	0,27	0,19	0,36	0,23	0,31	0,18	0,25	0,28	0,18	-0,02	0,03	rijping/onnauwkeurigheid gegevens	
4 .ref	RR-B06	0,8	0,64	0,62	0,61	0,16	0,18	0,19	0,18	0,25	0,28	-0,02	-0,07	-0,09	-	
																
1	gemiddeld	0,6	0,38	0,44	0,36	0,21	0,14	0,23	0,18	0,25	0,28	0,03	-0,11	-0,05		
1	std dev	0,2	0,25	0,23	0,21	0,24	0,26	0,23	0,00	0,00	0,00	0,24	0,26	0,23		
2	gemiddeld	0,9	0,52	0,52	0,49	0,40	0,39	0,43	0,18	0,25	0,28	0,22	0,14	0,15		
2	std dev	0,1	0,25	0,22	0,20	0,21	0,18	0,16	0,00	0,00	0,00	0,21	0,18	0,16		
3 .ref	gemiddeld	0,7	0,49	0,44	0,41	0,21	0,26	0,29	0,18	0,25	0,28	0,03	0,01	0,01		
3.ref	std dev	0,0	0,19	0,20	0,21	0,19	0,20	0,21	0,00	0,00	0,00	0,19	0,20	0,21		
4 .ref	gemiddeld	0,5	0,42	0,47	0,42	0,08	0,03	0,08	0,18	0,25	0,28	-0,10	-0,22	-0,20		
4 .ref	std dev	0,3	0,25	0,18	0,21	0,32	0,31	0,30	0,00	0,00	0,00	0,32	0,31	0,30		
tot.	gemiddeld	0,7	0,45	0,47	0,42	0,26	0,24	0,29	0,18	0,25	0,28	0,08	-0,01	0,01		
	std dev	0,2	0,23	0,21	0,20	0,24	0,25	0,23	0,00	0,00	0,00	0,24	0,25	0,23		

TOELICHTING TABEL	
1. Hoogte [m NAP]	
1960 bron: TOPhoogteMD-bestand	
1998 bron: AHN1	
2009 bron: AHN2	
2015 bron: Hoogtemeting	
2. Maaiveldaling vanaf 1960 [m]	
1998 hoogteverschil tussen AHN1 en TopHoogteMD	
2009 hoogteverschil tussen AHN2 en TopHoogteMD	
2015 hoogteverschil tussen hoogtemeting en TopHoogteMD	

3. Bodemdaling gasreservoir [m]	
1998	geïnterpoleerde bodemdaling door compactie gasreservoir (gegevens NAM)
2009	geïnterpoleerde bodemdaling door compactie gasreservoir (gegevens NAM)
2015	geïnterpoleerde bodemdaling door compactie gasreservoir (gegevens NAM)
4. Bodemdaling autonoom (m)	
1998	resultante van de maaiveldddaling vanaf 1960 tot 1998 minus bodemdaling gasreservoir in 1998
2009	resultante van de maaiveldddaling vanaf 1960 tot 2009 minus bodemdaling gasreservoir in 2009
2015	resultante van de maaiveldddaling vanaf 1960 tot 2015 minus bodemdaling gasreservoir in 2015
-0,5	geïnterpoleerde hoogteligging 1960 op basis van omliggende punten
0,35	sterk afwijkende bodemdaling
-	negatieve waarden = bodemdaling compactie gasreservoir groter dan berekende opgetreden bodemdaling

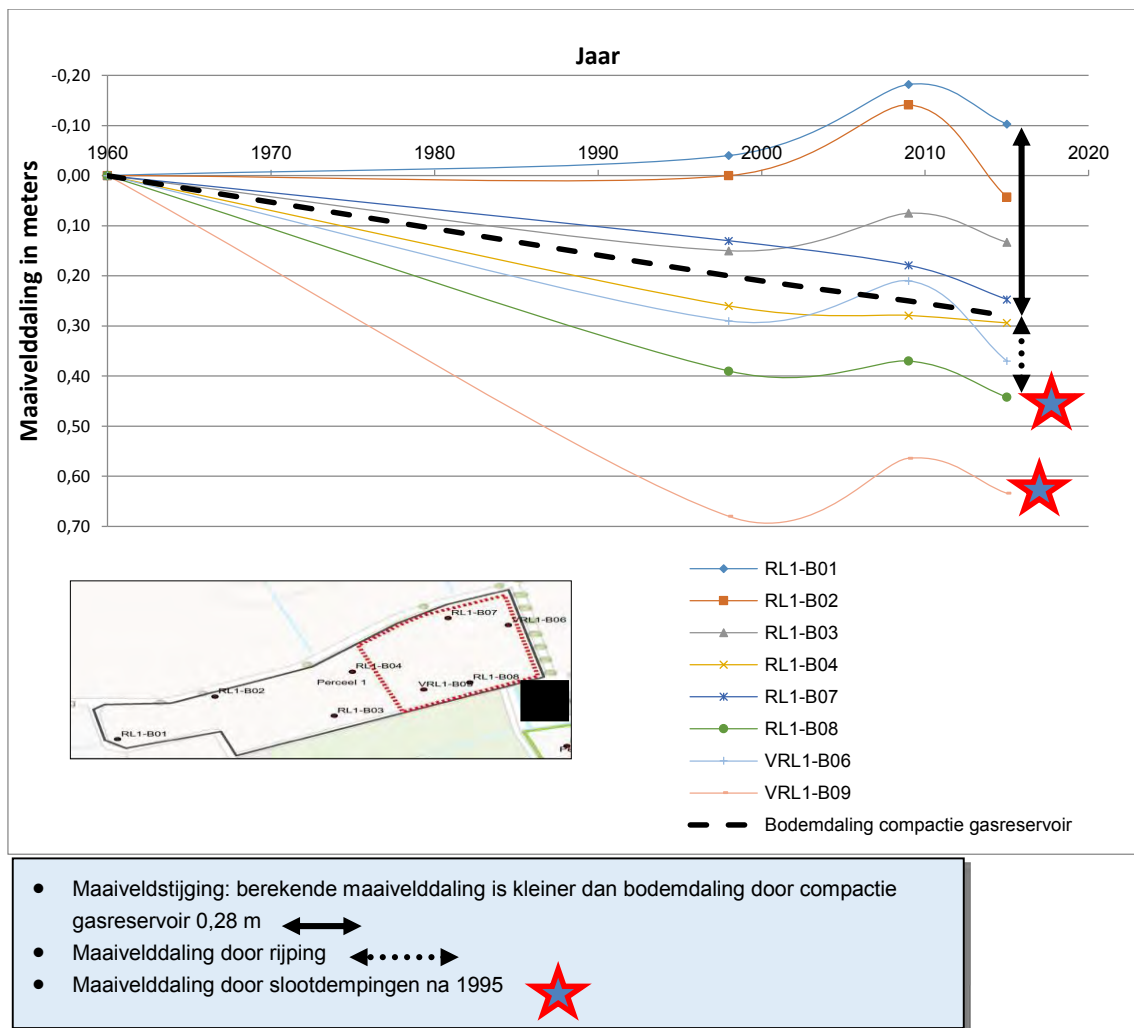
De resultaten van de analyse van de bodemdalingsprocessen en achterliggende documenten voor de percelen locatie pilot 2 zijn opgenomen in bijlage 9.

6.4.1 *Maaivelddaling periode 1960 – 2015*

Perceel 1

In figuur 6.8 is het verloop van de maaivelddaling tussen 1960 en 2015 voor perceel 1 weer-gegeven. Wat opvalt is dat de maaivelddaling tussen de metingen sterk uiteenloopt. Daarnaast valt de stijgende lijn tussen 1998 en 2009 op. Meest waarschijnlijke oorzaken zijn de onnauw-keurigheid van het AHN-1 als gevolg van aanwezige gewassen of uitgevoerde grondbewerking ten tijde van de opname.

Bij een aantal boorpunten blijkt de maaivelddaling kleiner dan de bodemdaling door compactie van het gasreservoir (RL1-B01, RL1-B02, RL-B03 en RL1-B07). De grootste berekende bodem-daling is bepaald bij boring VRL-B09. Deze daling kan mogelijk worden verklaard door een slootdemping na 1995 (zie figuur 6.9). Boring RL1-B08 waar ook sprake is van bodemdaling, ligt ook in de nabijheid van deze slootdemping. De locaties waar beperkte bodemdaling is bere-kend kunnen verklaard worden door de onzekerheid van de gegevens in 1960 en de bodem-opbouw in combinatie met wijzingen in het waterpeil. Hierdoor heeft mogelijke enige rijping van het kleiprofiel plaatsgevonden.



Figuur 6.8 Maaiveldaling boorpunten vanaf 1960 perceel 1, locatie pilot 2

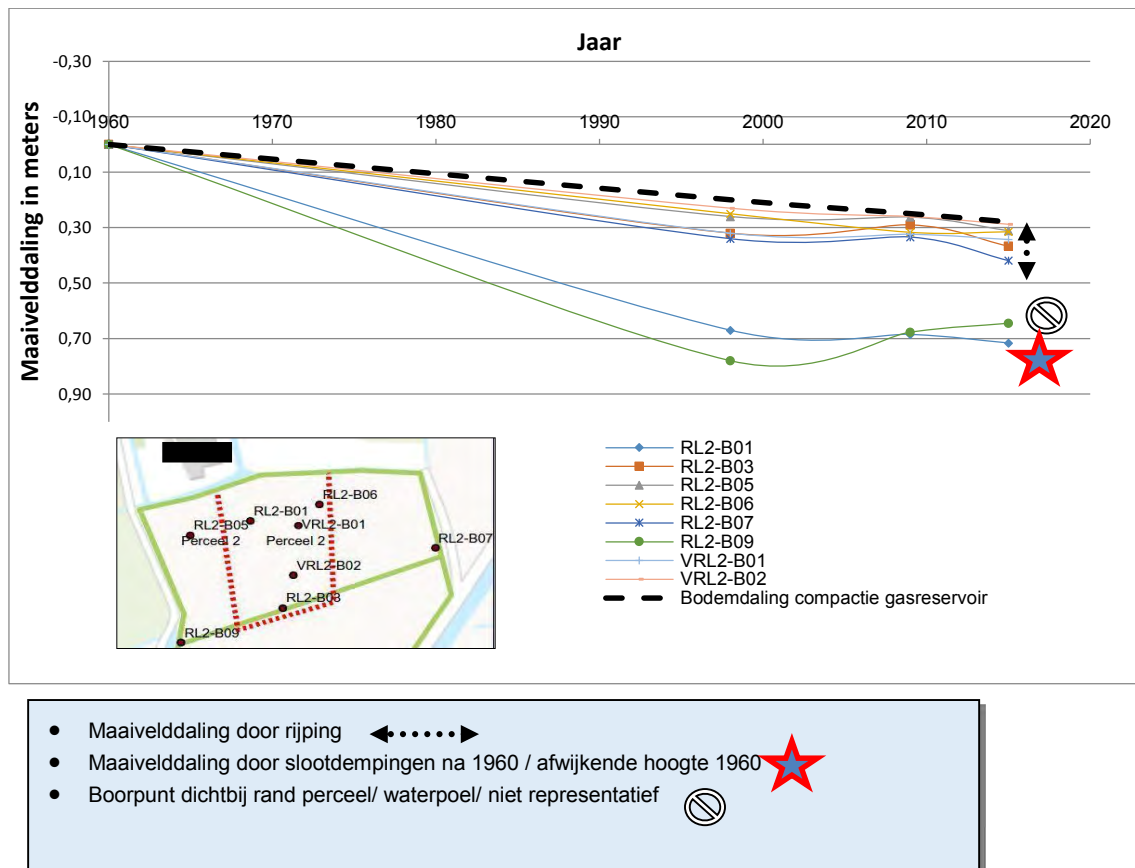


Figuur 6.9 Topografische kaart (1993) met locaties boringen perceel 1 ter plaatse van slootdemping/oude weg. Rechts de topografische kaarten van 1995 en 1996 (bron: www.topotijdreis.nl)

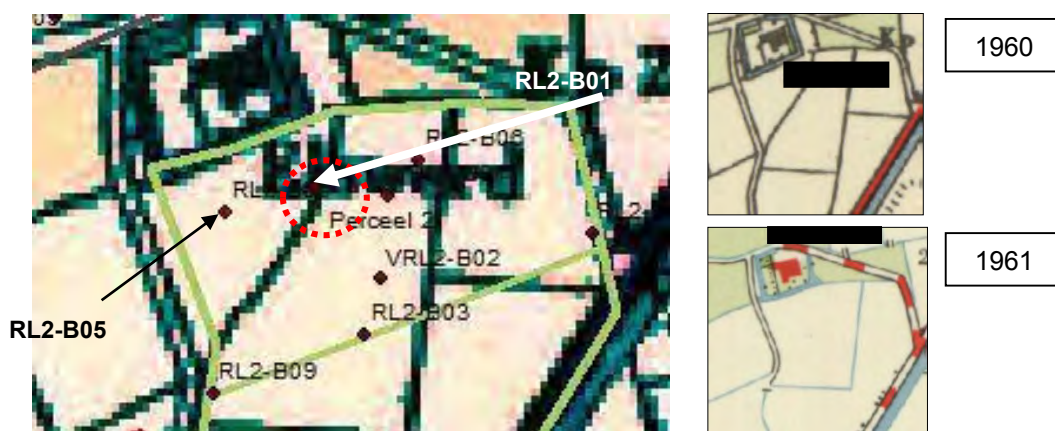
Perceel 2

In figuur 6.10 is het verloop van de maaiveldddaling tussen 1960 en 2015 voor perceel 2 weer-gegeven. Wat opvalt is dat de maaiveldddaling minder uiteenloopt vergeleken met perceel 1 en de daling het verloop van de bodemdaling in het gasreservoir volgt.

De grootste bodemdaling is berekend bij boring RL2-B01 en RL2-B09. Boring RL2-B09 ligt buiten het gebied met klachten en is vanwege de ligging niet representatief. De bodemdaling bij RL2-B01 kan worden verklaard door een slootdemping na 1960 (zie figuur 6.11) of door onzekerheid in de hoogte van 1960. De locaties waar beperkte bodemdaling is opgetreden, kunnen worden verklaard door onzekerheid in de hoogte van 1960 en de bodemopbouw in combinatie met wijzigingen in het waterpeil. Hierdoor heeft mogelijke enige rijping van het bodemprofiel plaatsgevonden.



Figuur 6.10 Maaiveldddaling boorpunten vanaf 1960 perceel 2, locatie pilot 2



Figuur 6.11 Topografische kaart (1953) met locaties boringen perceel 2 ter plaatse van slootdemping. Rechts de topografische kaarten van 1960 en 1961 (bron: www.topotijdreis.nl)

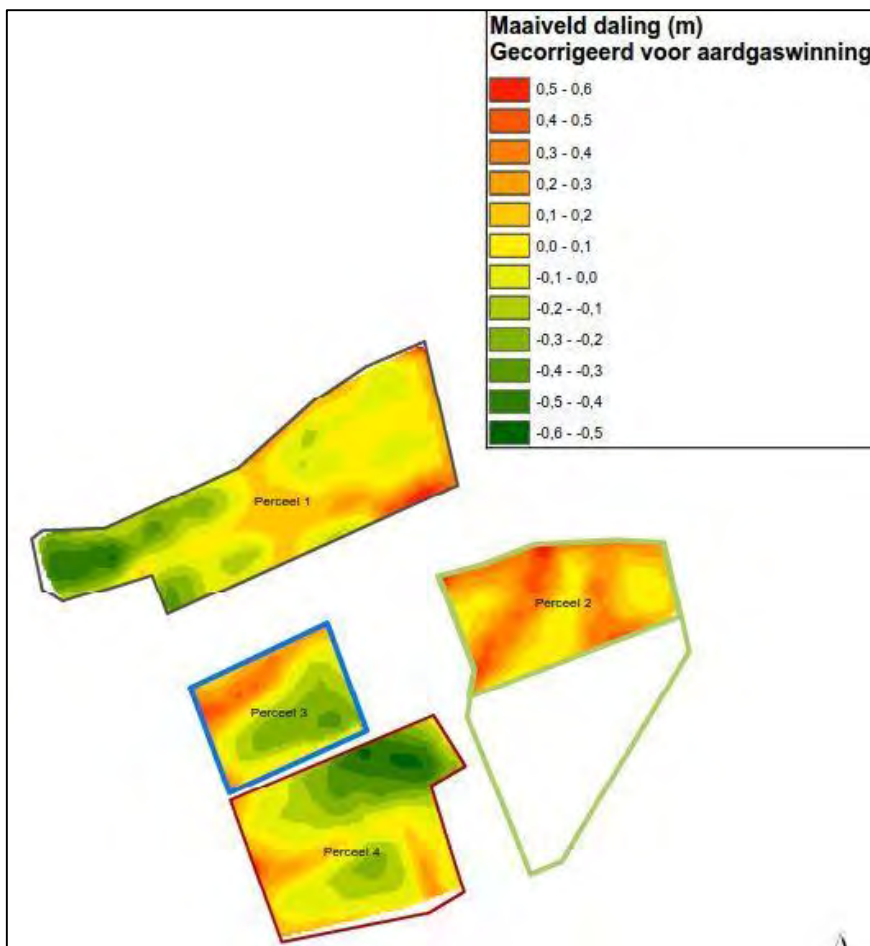
6.4.2 Autonome bodemdaling periode 1960 - 2015

De gemiddelde opgetreden autonome bodemdaling (resultante van de totale bodemdaling minus de bodemdaling door compactie van het gasreservoir) tussen 1960 en 2015 bedraagt:

- perceel 1 : gemiddeld < 0 m;
- perceel 2 : gemiddeld 0,15 m;
- perceel 3ref : gemiddeld 0,01 m;
- perceel 4ref : gemiddeld < 0 m.

De gemiddelde autonome bodemdaling tussen 1960 en 2015 op deze locatie is minimaal. Dit komt mede doordat de bodemdaling door compactie van het gasreservoir groter is dan opgetreden maaiveld daling. Op perceel 2 wordt het gemiddelde beïnvloed door twee locaties met een sterk afwijkende berekende bodemdaling.

In figuur 6.12 is de geïnterpoleerde kaart van de berekende autonome bodemdaling tussen 1960 en 2015 weergegeven. De kaart is tevens op schaal opgenomen in bijlage 9. Uit de figuur kan worden opgemaakt dat er grote verschillen zijn in de mate van bodemdaling binnen de percelen. Een negatieve bodemdaling betekent dat het maaiveld hoger ligt in 2015 (rekening houdend met maaiveld daling door compactie van het gasreservoir). Gezien het beperkt aantal punten en nauwkeurigheid van de gegevens uit 1960 mag deze kaart slechts zeer indicatief worden gebruikt. Wel zijn patronen van slootdempingen waar te nemen.



Figuur 6.12 Berekende autonome bodemdaling (geïnterpoleerd) tussen 1960 en 2015 locatie pilot 2

6.4.3 Maaiveld daling periode 2009 - 2015

Om inzicht te krijgen in de mogelijk toegenomen (ongelijkmatige) bodemdaling als gevolg van de toename (frequentie en magnitude) van geïnduceerde aardbevingen (zie tabel 5.4) zijn de hoogtegegevens van 2009 (AHN-2) met de metingen in 2015 vergeleken. De hoogteligging van de locatie voor 2009 (AHN-2) is opgenomen in bijlage 10. Hieruit blijkt dat oude slootpatronen te herkennen zijn door een lagere ligging. De geïnterpoleerde hoogteverschilkaarten (tussen 2009 en 2015) zijn per perceel opgenomen in bijlage 12. In figuur 6.13 zijn voor perceel 1 de locaties met meer dan 15 cm bodemdaling in de periode 2009 en 2015 weergegeven.

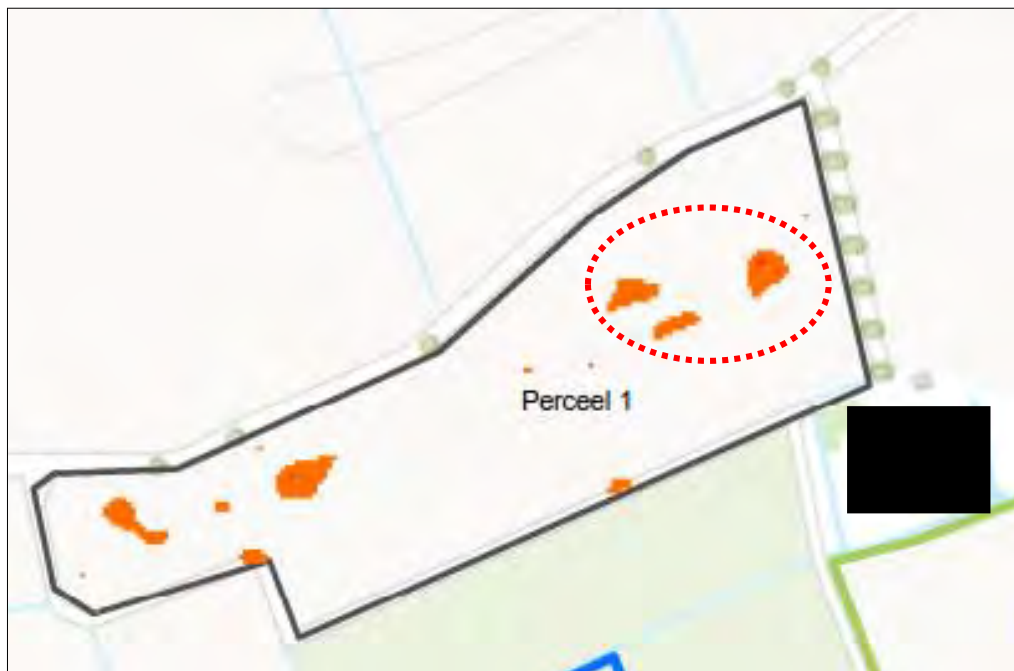
Om te beoordelen of de bodemdaling sinds de toename van het aantal geïnduceerde aardbevingen is toegenomen, zijn voor alle hoogtemetingen in 2015 de hoogten in 2009 (AHN-2) en in 1998 (AHN-1) bepaald. Vervolgens is de gemiddelde bodemdaling per jaar in de periode 1998 – 2009 en in de periode 2009 – 2015 berekend. De resultaten zijn opgenomen in tabel 6.7.

Tabel 6.7 Gemiddelde bodemdaling periode 1998 – 2009 en periode 2009 – 2015
locatie pilot 2

Perceel	Totale bodemdaling (cm)		Autonome bodemdaling (cm)*		Autonome bodemdaling (cm/jaar)		
	1998 – 2009	2009 – 2015	1998 – 2009	2009 – 2015	1998 – 2009	2009 – 2015	Vershil
1	< 0 cm	9 cm	< 0 cm	6 cm	< 0 cm/jr	1 cm/jr	+ 1 cm/jr
2	1 cm	4 cm	< 0 cm	1 cm	0 cm /jr	0 cm/jr	0 cm/jr
3/4 (ref)	< 0 cm	6 cm	1 cm	3 cm	< 0 cm/jr	1 cm/jr	+ 1 cm/jr

*Bodemdaling door compactie gasreservoir is respectievelijk 7 cm (periode 1998 en 2009) en 3 cm (periode 2009 en 2015)

Uit tabel 6.7 volgt dat de bodemdaling in de periode 2009 - 2015 met gemiddeld 0 tot 1 cm/jaar is toegenomen. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de nauwkeurigheid van de gegevens van de periode 1998 – 2009 minder is ten opzichte van de periode 2009 – 2015. Er kan vanwege de onnauwkeurigheid van de gegevens van het AHN-2 (1998) en het ontbreken van meetgegevens voor 2009 geen vergelijking worden gemaakt met de periode voor 2008 (periode met minder bevingen en kleinere magnitude).



Figuur 6.13 Locaties perceel met meer dan 15 cm maaiveld daling tussen 2009 (AHN-2) en 2015 (meting).

De laagte in het oostelijk deel van het perceel is nader beschouwd met behulp van de AHN-2 viewer. Hiermee is een profiel zichtbaar gemaakt van noord naar zuid (zie fig. 6.14).



Figuur 6.14 Hoogteprofiel noord-zuid oostelijk deel perceel 1

Uit figuur 6.14 kan worden opgemaakt dat de hoogte op korte afstand sterk varieert. Dit kan worden verklaard doordat het land mogelijk was geploegd ten tijde van de opname. Zeker als landbouwgrond tussendoor is omgeploegd, kan het zijn dat de hoogte van het maaiveld veranderd is [15]. Dit betekent dat een geringe afwijking in de coördinaten al een decimeter kan uitmaken in de hoogteligging. Vanwege de onnauwkeurigheid in de plaatsbepaling is de berekende bodemdaling tussen 2009 en 2015 deels te verklaren door variabiliteit van de AHN-2 gegevens.

6.4.4 Impact van de slootdemping perceel 1

Voor perceel 1 is onderzocht of er een verschil is waar te nemen in de bodemdaling binnen en buiten de slootdemping. Opgemerkt wordt dat het aantal hoogtemetingen ter plaatse van de slootdemping beperkt is. Op basis van beschikbare metingen is ter plaatse van de slootdemping gemiddeld 7 cm bodemdaling opgetreden tussen 2009 en 2015 en buiten de slootdemping 9 cm in de periode 2009 en 2015.

6.4.5 Kwalitatieve waardering

De mogelijke oorzaken voor de opgetreden bodemdaling zijn divers van aard en onder te verdelen in oorzaken die gerelateerd zijn aan de gaswinning (G), oorzaken die gerelateerd zijn aan menselijke ingrepen (I) en autonome bodemdalingsprocessen (A). De mogelijke oorzaken en de aannemelijkheid van de mogelijke oorzaken zijn kwalitatief gewaardeerd, inclusief een toelichting. Deze zijn opgenomen in tabel 6.8.

Tabel 6.8 Mogelijke oorzaken ongelijkmatige bodemdaling locatie pilot 2

TABEL 6.8: LOCATIE PILOT 2	Mogelijke oorzaken ongelijkmatige bodemdaling		Beoordeling	Verklaring
	G	Compactie van het gasreservoir	-	> Minimale (niet waarneembare) gradiënt op perceelniveau > Gelijkmatic en traag verloop van de bodemdaling
	G	Geïnduceerde aardbevingen	-	> Maximaal opgetreden piekversnelling < 0,1 g waardoor theoretisch geen verweking kan zijn opgetreden > Geen waarneming van effecten van verweking in praktijk (wellen en/of scheefgezakte objecten) > Geen toename in variabiliteit bodemdaling op basis van InSAR-data
	G	Peilverlaging compensatie bodemdaling	-	> In 2000 is het waterpeil met 6 cm verlaagd volgend op de opgetreden bodemdaling
	I	Slootdempingen	+	> Tussen 1960 en 2015 zijn sloten gedempt > Hoogteverschillen waarneembaar op AHN ter plaatse van slootdempingen
	I	Drainage / begreppeling	-	> Geen veen in bodemprofiel en kans op oxideren van veen rond de drains > Geen begreppeling
	I	Ophoging / grondverzet	-	> Geen ophogingen of grondverzet uitgevoerd volgens eigenaar
	I	Peilbeheer	-	> Geen peilverlagingen ten behoeve van landbouwkundige ontwatering uitgevoerd
	A	Oxidatie en krimp van veen	-	> Geen veen in bodemprofiel
	A	Samendrukking van bovenlagen / zetting	0/+	> Bodemopbouw is licht zettingsgevoelig door aanwezigheid van kleilagen
	A	Rijping	0/+	> Bodemprofiel bestaat deels uit (ongerijpte) kleilagen > Kleigronden rijpen door ontwatering/drainage
TOELICHTING				
	G	Oorzaak is gerelateerd aan gaswinning		
	I	Oorzaak is gerelateerd aan menselijke ingrepen/activiteiten		
	A	Oorzaak is (grotendeels) gerelateerd aan autonome bodemprocessen		
	-	Oorzaak is niet aannemelijk		
	0	Onvoldoende informatie om aannemelijkheid te beoordelen		
	+	Oorzaak is aannemelijk		

6.4.6 Conclusie bodemdaling locatie pilot 2

Gemiddeld genomen is er nauwelijks sprake van autonome bodemdaling in de periode 1960 – 2015. De berekende bodemdaling door compactie van het gasreservoir is namelijk gemiddeld genomen vrijwel gelijk aan de berekende maaiveldaling tussen 1960 en 2015. Lokaal is er sprake van een afwijkende bodemdaling die kan worden verklaard door slootdempingen. In het verleden (periode 1982 en 1996) zijn op perceel 1 sloten binnen dit perceel gedempt en heeft er parallel aan de sloot een weg gelegen. Op perceel 2 zijn omstreeks 1961 en 1982 sloten gedempt.

De bodemopbouw is vrij homogeen, bestaande uit een pakket van overwegend zavel. Rondom het GLG-niveau is bij alle boringen zavel aanwezig. De berekende autonome bodemdaling tussen 0 en 15 cm in de periode 1960 – 2015 kan worden verklaard door onzekerheid in de hoogtegegevens uit 1960 en mogelijke enige rijping van het bodemprofiel als gevolg van wijzigingen in het peilbeheer.

De berekende maaiveldaling in de periode 2009 – 2015 kan deels worden verklaard door de oorzaken zoals benoemd in tabel 6.8 en door de onnauwkeurigheid van de AHN-2 gegevens. Locaties met meer dan 15 cm berekende bodemdaling, zoals in het oostelijke deel van perceel 1, kunnen alleen door de onnauwkeurigheid van de AHN-2 gegevens worden verklaard.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Betrouwbaarheid en onzekerheden

Bij de interpretatie en het gebruik van de onderzoeksresultaten dient rekening te worden gehouden met de betrouwbaarheid van de gegevens en onzekerheden. Binnen het kader van deze pilots zijn geen statistische analyses uitgevoerd om de betrouwbaarheid van de hoogtegegevens te toetsen. Ten aanzien van de betrouwbaarheid en onzekerheden zijn de volgende aspecten van belang:

- Er zijn in beperkte mate hoogtegegevens van voor de gaswinning (1960) beschikbaar. Bovendien is het niet eenduidig of de hoogtepunten op de beschikbare kaarten exact de locaties zijn waar de hoogtemetingen in 1960 zijn verricht. Er kan derhalve geen uitspraak worden gedaan over de nauwkeurigheid van de hoogtegegevens uit 1960. De gegevens dienen daarom als indicatie voor de hoogteligging in 1960 te worden gebruikt.
- De AHN-1 (1998) gegevens zijn vanwege de nauwkeurigheid onvoldoende bruikbaar. Vooral bij bouwlandpercelen kunnen meetdata zijn beïnvloed door aanwezige gewassen of grondbewerkingen (zoals ploegen). Uit vergelijkingen tussen het AHN-1 en AHN-2 voor locatie pilot 2 blijkt dat in 1998 (AHN-1) op een groot aantal meetpunten een lager maaiveldniveau is gemeten ten opzichte van 2009 (AHN-2).
- Uit de resultaten blijkt dat als gevolg van oude slootpatronen verlagingen en/of verhogingen in het maaiveld zichtbaar zijn. Ter plaatse van de oude slootpatronen is tijdens de hoogtemeting een beperkt aantal hoogtemetingen uitgevoerd vanwege het gehanteerde meetgrid van 25 x 25 m. Om beter inzicht te krijgen in de hoogtes ter plaatse van slootdempingen dient ter plaatse intensiever te worden gemeten. Hieruit kunnen lengte- en dwarsprofielen worden gegenereerd.
- Bij locatie pilot 1 zijn lijn- en ruitenpatronen in de hoogteligging (in het AHN-2) zichtbaar die vermoedelijk door greppels of drainage worden veroorzaakt.
- Autonome bodemdaling wordt mede veroorzaakt door het verlagen van de grondwaterspiegel. De zone boven de grondwaterspiegel, waar luchttoetreding in het bodemprofiel plaatsvindt, is onderhevig aan rijping. Om deze reden is inzicht in de diepteligging van de grondwaterstand en de ontwikkeling hiervan zeer essentieel. Er zijn echter geen gegevens beschikbaar waarmee inzicht wordt verkregen in het verloop van de grondwaterstand.

7.2 Conclusie

In de conclusies wordt per locatie antwoord gegeven op de onderzoeksvragen.

7.2.1 Locatie pilot 1

Wat is de omvang van de bodemdaling en de bijdrage daaraan door gaswinning (diepe compactie reservoir)?

De berekende maaiveldddaling tussen 1960 en 2015 is gemiddeld 0,45 m en varieert sterk, van 0,11 tot 0,77 m. Uit de rekenkundige analyse blijkt dat deze maaiveldddaling grotendeels wordt veroorzaakt door compactie van het gasreservoir. De bodemdaling als gevolg van compactie van het gasreservoir in de periode 1960 - 2015 bedraagt op basis van prognoses van de NAM en interpolatie in totaal 0,31 m. Deze bodemdaling verloopt gelijkmatig met een gradiënt in de bodemdaling van circa 1 cm per km. Dit verschil in gradiënt is visueel op perceelniveau niet waarneembaar.

Op een aantal punten is de berekende bodemdaling tussen 1960 en 2015 kleiner dan de bodemdaling door compactie van het gasreservoir. Dit betekent dat op deze locaties sprake is van een 'negatieve' autonome bodemdaling, oftewel het maaiveld is verhoogd. Mogelijke oorzaken zijn de onzekerheid van de meetgegevens van 1960 (precieze locatie meting is onbekend en de waarden zijn afgerond op 1 decimeter) of grondverzet/ophogingen.

Wat is de bijdrage aan de bodemdaling als gevolg van (ondiepe) bodemprocessen als rijping, oxidatie en zettingen?

De opgetreden autonome bodemdaling tussen 1960 en 2015 is gemiddeld 0,14 m en varieert lokaal sterk, van 0 tot 0,46 m. Deze bodemdaling is afhankelijk van het grondwaterstandsverloop, waterpeilen en de bodemopbouw. Tussen 2009 en 2015 is een gemiddelde autonome bodemdaling opgetreden die per perceel varieert van 6 tot 12 cm.

De autonome bodemdaling wordt door de volgende bodemprocessen en (historische) activiteiten verklaard:

- ***Veenoxidatie en rijping***
De bodem bestaat uit enkele meters veen en klei en blijkt zeer heterogeen. Bij vrijwel alle boringen is veen en klei in de bodem aangetroffen. De dikte van het veen en diepte waarop het veen begint varieert sterk. Er zijn boringen waar veen rondom het GLG-niveau aanwezig. In deze laag kan veenoxidatie optreden. Door ontwatering (drainage) kan rijping van kleilagen zijn opgetreden met volume-afname van de grondlagen en maaiveldzakking tot gevolg.
- ***Samendrukking van bovenlagen***
Vanwege de zettingsgevoeligheid van de bodem (tot circa 5,0 m beneden maaiveld veen en klei aanwezig) kunnen door slootdempingen of grondaanvullingen zettingen zijn opgetreden.
- ***Slootdempingen/grondaanvullingen***
Op basis van historische kaarten en luchtfoto's blijken in het verleden slootdempingen en grondaanvullingen te zijn uitgevoerd. Deze zijn op het AHN-2 herkenbaar door een hogere of lagere ligging ten opzichte van de omgeving.
- ***Peilbeheer***
Het polderpeil in 1957 is zodanig ingesteld dat grondwaterstanden tot in het veen konden uitzakken en veenoxidatie mogelijk was. Na instelling van het polderpeil blijkt dat gedurende een periode van bijna 60 jaar er sprake is van een relatief geringe verandering van de GLG en minder sterk fluctuerende grondwaterstanden. De drooglegging is geleidelijk kleiner geworden (zie schematische weergave in bijlage 16). Als gevolg van volumereductie van het veen en de verminderde drooglegging is de snelheid van de veenoxidatie (iets) afgenomen. In de periode kort na de doorgevoerde peilverlaging (tussen 1953 en 1997) kunnen autonome bodemdalingsprocessen tijdelijk zijn versneld doordat de grondwaterstand (tijdelijk) mogelijk is uitgezakt. Na 1997 is er geen sprake meer van versnelling van autonome bodemdalingsprocessen als gevolg van eventuele peilverlagingen.
In de huidige situatie worden waterpeilen gehanteerd waarbij de grondwaterstanden (GLG) tot in het veenpakket kunnen uitzakken en veenoxidatie zal blijven optreden. De dikte van het droogvallende veenpakket is waarschijnlijk geringer, waardoor bodemdaling minder snel verloopt.

Door zowel het oorspronkelijke reliëf (vanwege verschillen in geomorfologie en bodemopbouw) de zettingsgevoelige bodem en ingrepen (aanvullingen/slootdempingen) en peilaanpassingen hebben autonome bodemprocessen als veenoxidatie, rijping en samendrukking van bovenlagen bijgedragen aan de autonome ongelijkmatige bodemdaling. Door de sterke variatie in bodemopbouw zoals de dikte van de deklaag (klei en veen), de diepteligging van het veen en de dikte van de veenlagen kan de ongelijkmatige zakking worden verklaard. Mogelijk dat ook het aanbrengen van greppels en drainage van invloed is op de vlakteligging van de percelen.

Op twee onderzoekpunten (één boorpunt op perceel 1b en één boorpunt op perceel 2) is een sterk afwijkende bodemdaling berekend in de periode 1960 - 2015 die alleen kan worden verklaard door onzekerheid van de hoogtegegevens uit 1960 (precieze locatie onbekend en afgerond op 1 decimeter) of op het perceel uitgevoerde activiteiten zoals grondverzet.

Wat is de bijdrage aan de bodemdaling als gevolg van mogelijke verdichting van eventuele losgepakte zand- en siltlagen tijdens aardbevingen?

In de diepere ondergrond kunnen verwekingsgevoelige lagen aanwezig zijn. Aangezien tot op heden de maximaal opgetreden piekversnelling de ondergrens van 0,1 g niet heeft overschreden kan conform de NPR 9998 echter aannemelijk worden gemaakt dat er tot dusver geen relevante zakking(verschillen) ten gevolge van verwekingseffecten hebben kunnen plaatsvinden. Dit blijkt mede uit het gegeven dat mogelijke gevolgen van verweking zoals het ontstaan van wellen of zandfonteinen (sandboils) en het scheefzakken van constructies niet zijn waargenomen of bekend zijn. Ook op basis van recente InSAR-metingen blijkt dat in het gebied van deze locatie geen opvallende hoogteverschillen zijn ontstaan in de periode dat het aantal aardbevingen is toegenomen. De bijdrage aan bodemdaling door verdichting van losgepakte zand- en siltlagen wordt daarom nihil verondersteld.

7.2.2 Locatie pilot 2

Wat is de omvang van de bodemdaling en de bijdrage daarvan door gaswinning (diepe compactie reservoir)?

De berekende maaiveldddaling tussen 1960 en 2015 is gemiddeld 0,29 m en varieert sterk, van 0,00 tot 0,77 m. Uit de rekenkundige analyse blijkt dat deze maaiveldddaling grotendeels wordt veroorzaakt door compactie van het gasreservoir. De bodemdaling als gevolg van compactie van het gasreservoir in de periode 1960 - 2015 bedraagt op basis van prognoses van de NAM en interpolatie in totaal 0,28 m. Deze bodemdaling verloopt gelijkmatig met een gradiënt in de bodemdaling van circa 1,5 cm per km. Dit verschil in gradiënt is visueel op perceelniveau niet waarneembaar.

Op een aantal punten is de berekende bodemdaling tussen 1960 en 2015 kleiner dan de bodemdaling door compactie van het gasreservoir. Dit betekent dat op deze locaties sprake is van een 'negatieve' autonome bodemdaling, oftewel het maaiveld is verhoogd. Mogelijke oorzaken zijn onzekerheid van de hoogtegegevens uit 1960 (precieze locatie onbekend en afgerond op 1 decimeter) of grondverzet/ophogingen.

Wat is de bijdrage aan de bodemdaling als gevolg van (ondiepe) bodemprocessen als rijping, oxidatie en zettingen?

Ter plaatse van de onderzoeklocaties (boringen) varieert de opgetreden autonome bodemdaling binnen de percelen tussen 1960 en 2015 van 0 tot 0,37 m. Gemiddeld genomen is deze echter kleiner dan 1 cm op perceel 1. Op perceel 2 is sprake van gemiddeld 0,15 m autonome bodemdaling, deze waarde wordt echter beïnvloed door twee meetpunten met een sterk afwijkende berekende maaiveldddaling.

De bodemopbouw bestaat overwegend uit zavel (van zeer licht tot zwaar) en is vrij homogeen. Behalve dat er lokaal onder de bouwvoor een compacte laag is aangetroffen zijn er geen bijzonderheden in de boringen waargenomen.

De autonome bodemdaling op locatie pilot 2 wordt door de volgende bodemprocessen en (historische) activiteiten verklaard:

- ***Samendrukking van bovenlagen***
De bodemopbouw is beperkt zettinggevoelig. Door slootdempingen of grondaanvullingen kunnen zettingen zijn opgetreden. Dit geldt vooral voor slootdempingen. Gezien de profielopbouw zijn deze zettingen beperkt.
- ***Slootdempingen/ophogingen***
Op basis van historische kaarten en luchtfoto's blijken in het verleden slootdempingen en ophogingen te zijn uitgevoerd. Deze zijn op het AHN-2 herkenbaar door een hogere of lagere ligging ten opzichte van de omgeving.

Redelijkerwijs mag voor deze locatie worden aangenomen dat de locaties met de grootste bodemdaling door aanwezige slootdempingen worden veroorzaakt of door onzekerheid in de hoogtegegevens van 1960. Locaties met een autonome bodemdaling tot circa 0,15 m tussen 1960 en 2015 kunnen alleen worden verklaard door onzekerheid in de hoogtegegevens van 1960 of door enige rijping van het bodemprofiel.

Op perceel 1 is aan de oostzijde lokaal meer dan 15 cm bodemdaling berekend in de periode tussen 2009 en 2015 die alleen kan worden verklaard door onnauwkeurigheid van de AHN-2.

Op perceel 2 zijn geen opvallende maaiveldzakkingen in de periode 2009 en 2015 waar te nemen.

Wat is de bijdrage aan de bodemdaling als gevolg van mogelijke verdichting van eventuele losgepakte zand- en siltlagen tijdens aardbevingen?

In de diepere ondergrond kunnen verwekingsgevoelige lagen aanwezig zijn. Aangezien tot op heden de maximaal opgetreden piekversnelling de ondergrens van 0,1 g niet heeft overschreden kan conform de NPR 9998 echter aannemelijk worden gemaakt dat er tot dusver geen relevante zakking(verschillen) ten gevolge van verwekingseffecten hebben kunnen plaatsvinden. Dit blijkt mede uit het gegeven dat mogelijke gevolgen van verweking zoals het ontstaan van wellen of zandfontein(en) (sandboils) en het scheefzakken van constructies niet zijn waargenomen of bekend zijn. Ook op basis van recente InSAR-metingen blijkt dat in het gebied van deze locatie geen opvallende hoogteverschillen zijn ontstaan in de periode dat het aantal aardbevingen is toegenomen. De bijdrage aan bodemdaling door verdichting van losgepakte zand- en siltlagen wordt daarom nihil verondersteld.

7.3 Aanbevelingen

Met dit onderzoek is een adequate verklaring afgeleid voor het voorkomen van de bodemdaling en de veroorzakende processen. Desalniettemin is gebleken dat bepaalde informatie beperkt beschikbaar is. Omdat wijzigingen in de hoogteligging van het maaiveld kan blijven plaatsvinden wordt aangeraden om gegevens te blijven achterhalen en nader onderzoek te doen. Voor vijf onderdelen worden hiervoor aanbevelingen gegeven:

Maak gebruik van het AHN-3

In de periode tot en met 2019 wordt het AHN-3 opgebouwd tot een landdekkende dataset. Wanneer het AHN-3 bestand voor het grondgebied van provincie Groningen beschikbaar komt wordt aanbevolen een vergelijking tussen het AHN-2 en hoogtemeting 2015 en het AHN-3 uit te voeren. Hiermee kan een beter beeld worden verkregen in mogelijke verschillen in de hoogteligging sinds 2009.

Onderzoek klimaatgegevens

Als gevolg van grondwaterstandsverlaging kunnen autonome processen als samendrukking van bovenlagen, rijping en oxidatie optreden. Er zijn geen gegevens over het verloop van het grondwaterstand bekend. Wel kan op basis van meetgegevens van het KNMI worden nagegaan wat de trend is geweest in de neerslag en verdamping.

Gedetailleerde hoogtemeting en intensiever grondonderzoek

Om beter inzicht te krijgen in het huidige maaiveldverloop ter plaatse van de lokale verzakkingen is het aan te bevelen om een hoogtemeting uit te voeren door over het perceelgedeelte enkele raaien in meten met een tussenafstand van bijvoorbeeld 2 tot 5 m.

Deze gegevens kunnen worden vergeleken met het AHN-2 en AHN-3 (wanneer deze beschikbaar is). Voor de verklaring van mogelijke verschillen is het mogelijk wenselijk aanvullend grondonderzoek op die plekken uit te voeren.

Drainageonderzoek

Optioneel kan ter plaatse van locaties met maaiveldzakking de vlakteligging van de drainage worden onderzocht. Dit hangt echter af van het tijdstip waarop de drainage is aangelegd en de bereikbaarheid van de drainage voor de uitvoering van de meting. Er zijn hiervoor speciale meettechnieken beschikbaar.

Maak gebruik van data precisielandbouw

Landbouwmachines worden steeds meer uitgerust met GPS en sensoren. Aanbevolen wordt om na te gaan welke kansrijke technieken er zijn om tijdens landbouwkundige bewerkingen hoogtemetingen uit te voeren. Hiermee kunnen mogelijk gedetailleerde gegevens van de hoogteligging per perceel worden verzameld. Door dit meerjarig uit voeren kan het maaiveldverloop in de loop van de tijd worden gevolgd.

Referenties

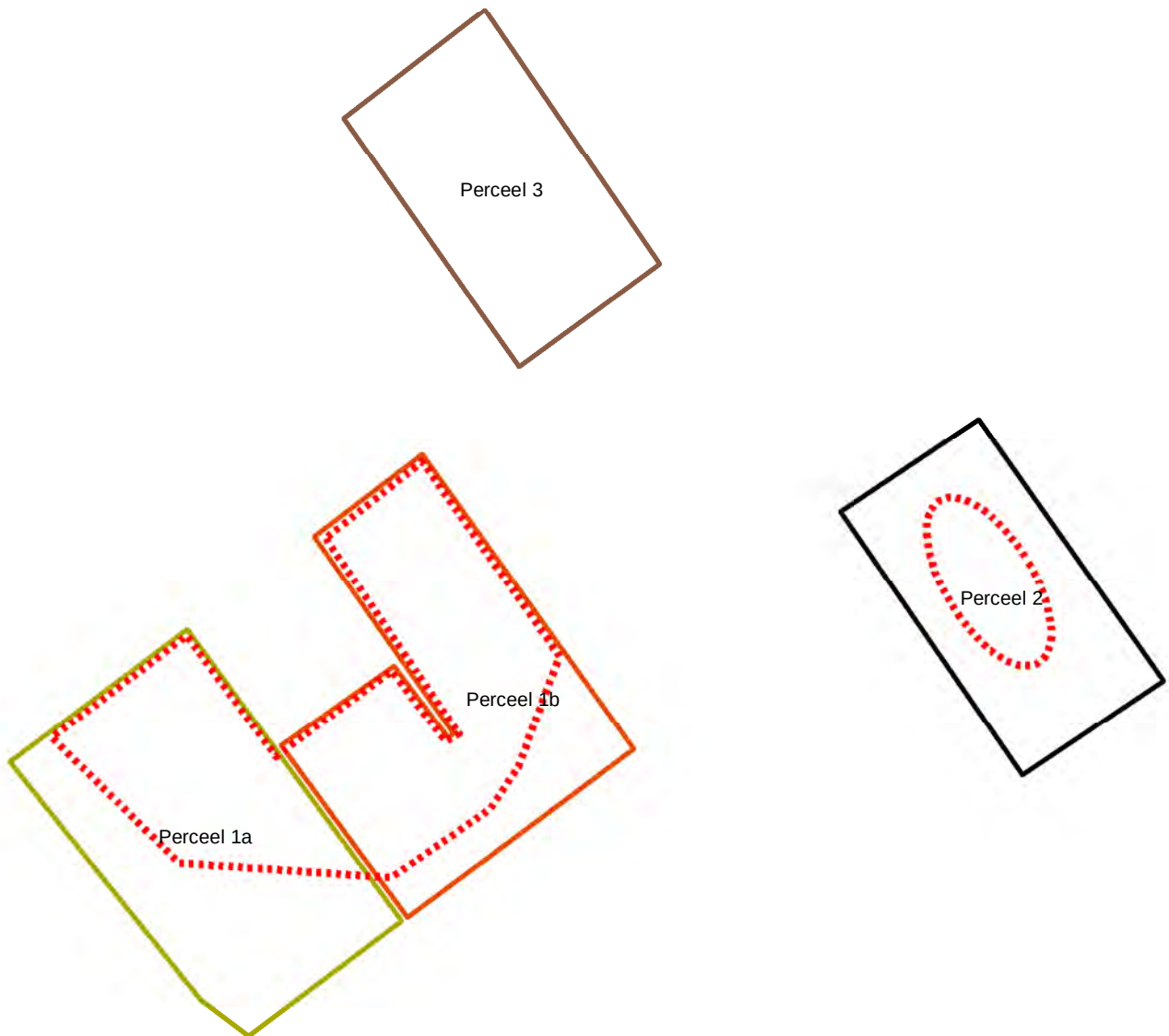
- [1] Meetkundige dienst, Atlas-Basispakket Geo-gegevens, basisboek GIS, deel 4.
- [2] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Meetkundige Dienst, Wat doet de Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat? (RWS, MD) 1977, 28 p.
- [3] Van Delft, 2015, Rijkswaterstaat, Persoonlijke mededeling via e-mail en website www.rijks-waterstaat.nl/apps/geoservices/geodata/dmc/tophoogte/productinfo/metainfo/tophoogte.xml.
- [4] J. Scholten, Kadaster, mededeling via e-mail, 12 februari 2016.
- [5] Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V., Bodemdaling door Aardgaswinning, Nederlandse Aardolie Maatschappij, doc.nr.: EP201006302236, september 2010.
- [6] Commissie Bodemdaling, Bodemdaling door diepe en ondiepe oorzaken in Groningen, document beschikbaar op de website www.commissiebodemdaling.nl, website geraadpleegd september 2015.
- [7] N. van der Zon, Kwaliteitsdocument AHN-2, versie 1.3, definitief, 14-5-2013.
- [8] F. de Vries, G.H. Stoffelsen, M.M. van der Werff. 2010. Validatie bodemkaart van de veengebieden in Noord-Holland, Alterra Wageningen.
- [9] C.J. Schothorst, Bodemtechniek: een compendium ten behoeve van het cultuurtechnisch vademecum, Nota 1459, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding Wageningen, 1984.
- [10] J. A. M. ten Cate en G. C. Maarleveld. 1977. Geomorfologische kaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen, Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- [11] Kamping, G.; Rutten, G., 1969, De bodemgesteldheid van het ruilverkavelingsgebied Stedum – Loppersum, Wageningen, Stiboka (Rapport / Stichting voor Bodemkartering no. 786) - 35 p.
- [12] Otto S. Knottnerus, <http://landschapsgeschiedenis.nl/deelgebieden/8-Hogeland.html%20-%20themas>
- [13] Centrale Cultuurtechnische commissie, 1984. Rapport voor de ruilverkaveling Noordpolder, ministerie van landbouw en visserij, landinrichtingsdienst, Utrecht.
- [14] Standaardprofielen voor de waardebeoordeling der gronden in het ruilverkavelingsgebied Noordpolder, Kamping, G. \ Rutten, G. \ 1984.
- [15] Van der Zon, N., 2010. Kwaliteitsdocument AHN-2. Actueel Hoogtebestand Nederland, www.ahn.nl.
- [16] P. Riem, Groninger Archieven, mededeling via e-mail, 8 oktober 2015.
- [17] N. van der Zon, projectleider AHN, mededeling via e-mail 5 oktober 2015.
- [18] G. de Lange, J. Gunnink, Y. Houthuessen, R. Muntjewerff, 2012. Bodemdalingskaart Flevoland, Projectnummer: 304424, Referentienummer: GM-0042778, Datum: 23 maart 2012.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Hoefsloot, F.J.M., 2015. Presentatie met titel 'Aardbevingen in Groningen: verweking, Fugro, website: http://www.f3o.nl/2015_08.pdf.
- [22] Stouthamer en Berendsen (2000), opgenomen in rapport Bodemdalingskaart Flevoland, referentienummer GM-0042778, Grontmij, TNO & Deltares, 23 maart 2012.
- [23] 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.
- [24] Commissie Bodemdaling, persoonlijke mededeling, maart 2016.

Bijlage 1

Situatie locatie pilot 1 en locatie pilot 2 met onderzoekspercelen

Legenda

..... Locaties ongelijkmatige maaiveldzakking



0 50 100 200 300 400 meter



Locatie pilot 1 - onderzoekspcelen

Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

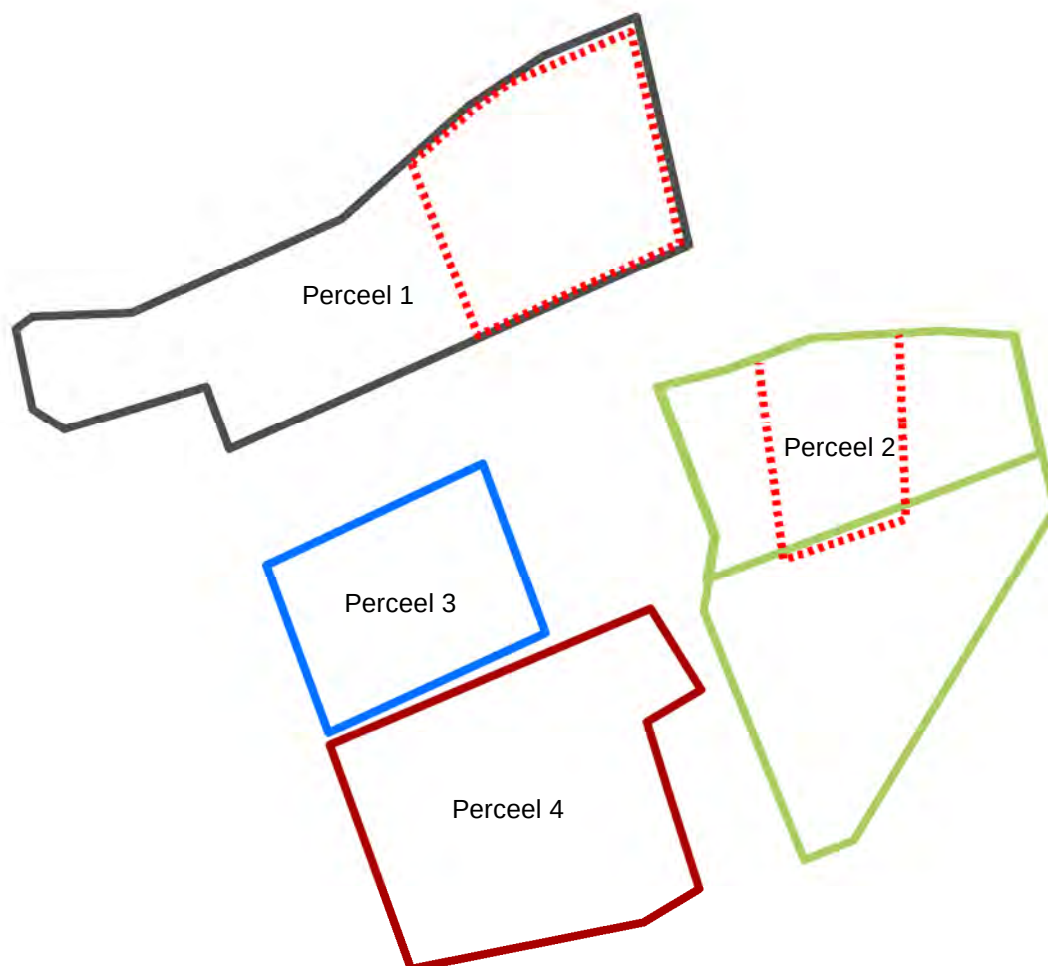
Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:7.000
Formaat: A4
Get: EL - Gec: JdW

Legenda

..... Locaties ongelijkmatige maaiveldzakking



0 40 80 160 240 320 meter



Locatie pilot 2 - onderzoekspercelen

Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156

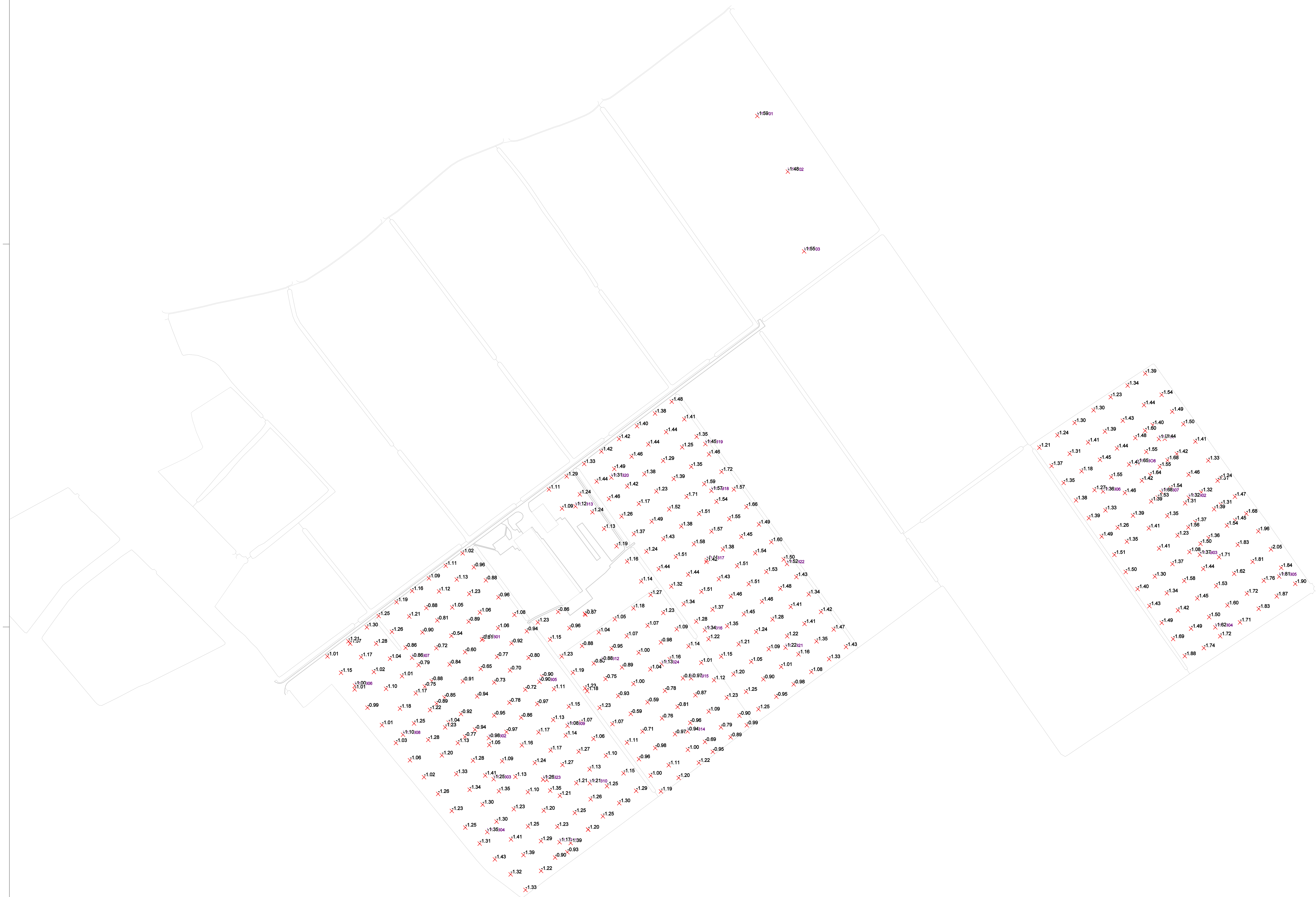


Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:6.000
Formaat: A4
Get: EL - Gec: JdW

© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

Bijlage 2

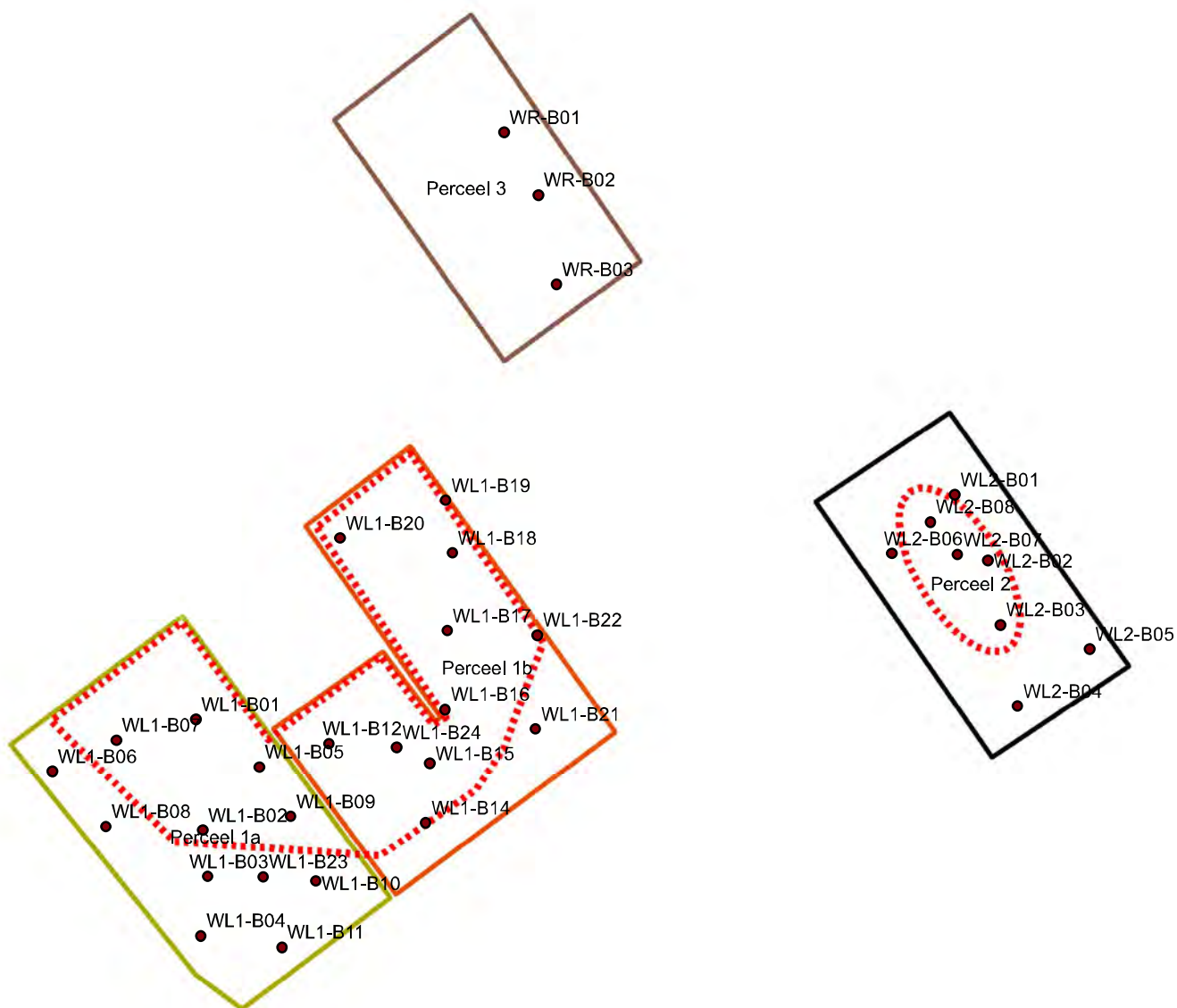
Resultaten hoogtemeting en situatie boringen





Legenda

- Boorpunten
- Locaties ongelijkmatige maaiveldzakking



0 45 90 180 270 360 meter



Locatie pilot 1 - onderzoekspercelen

Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

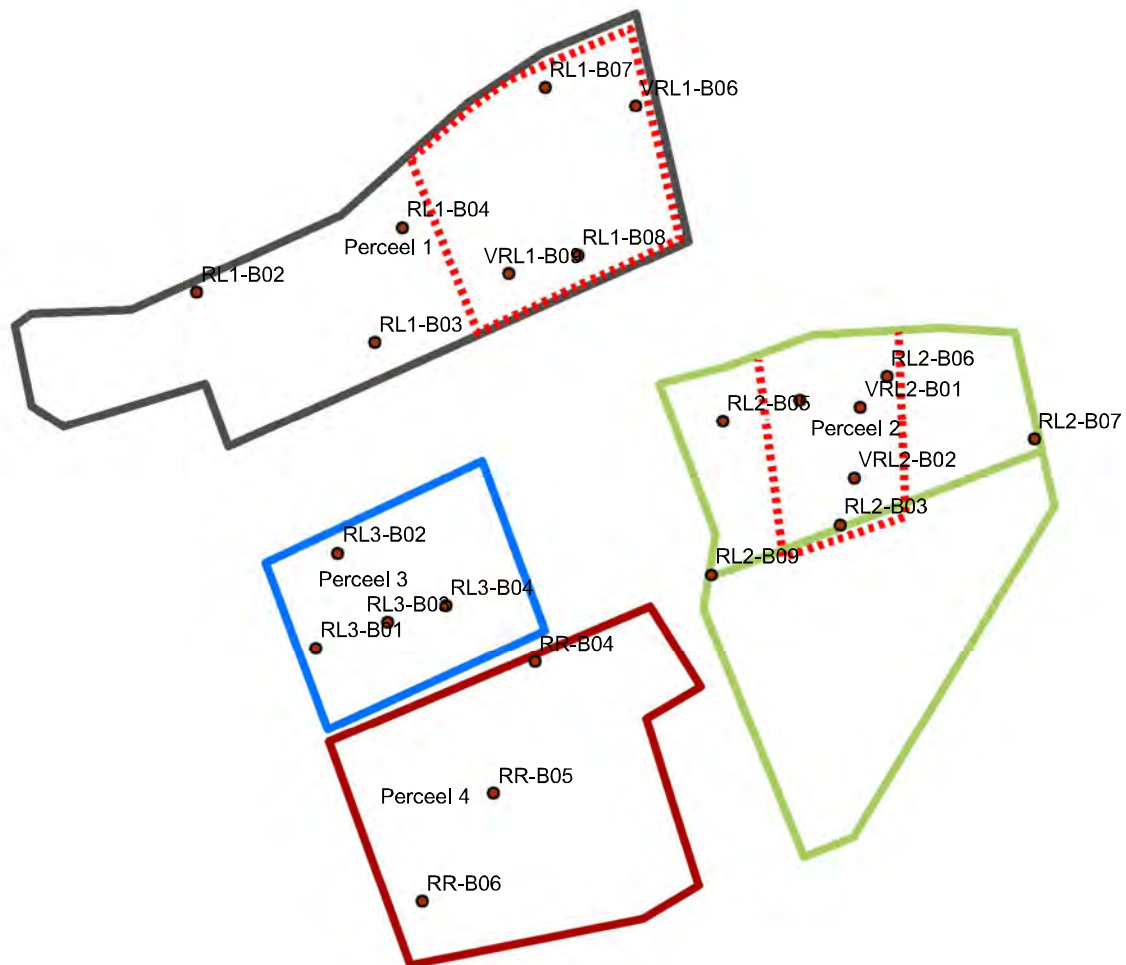
Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:7.000
Formaat: A4
Get: EL - Gec: JdW

Legenda

- Boorpunten
- Locaties ongelijkmatige maaiveldzakking



0 40 80 160 240 320 meter



Locatie pilot 2 - onderzoekspercelen Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:6.000
Formaat: A4
Get: EL - Gec: JdW

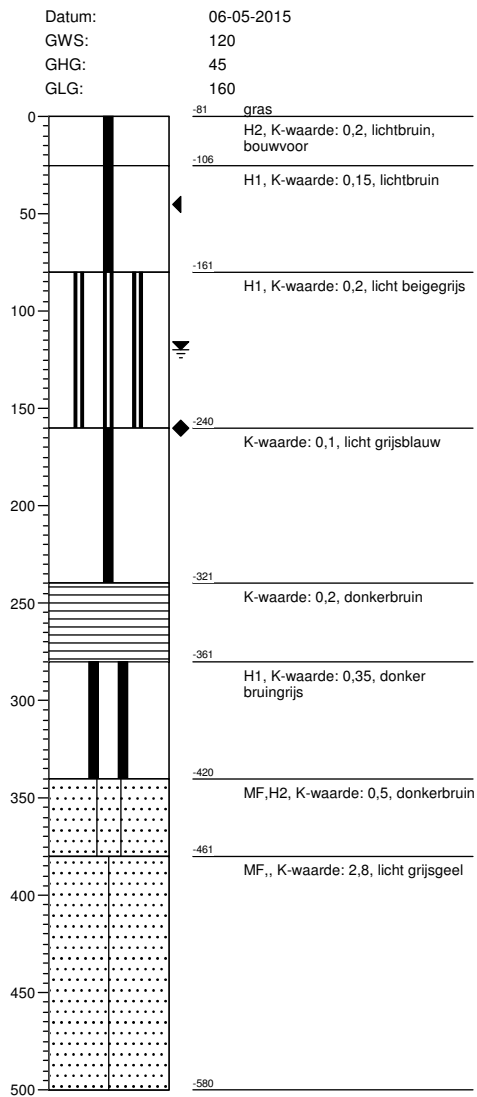
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

Bijlage 3

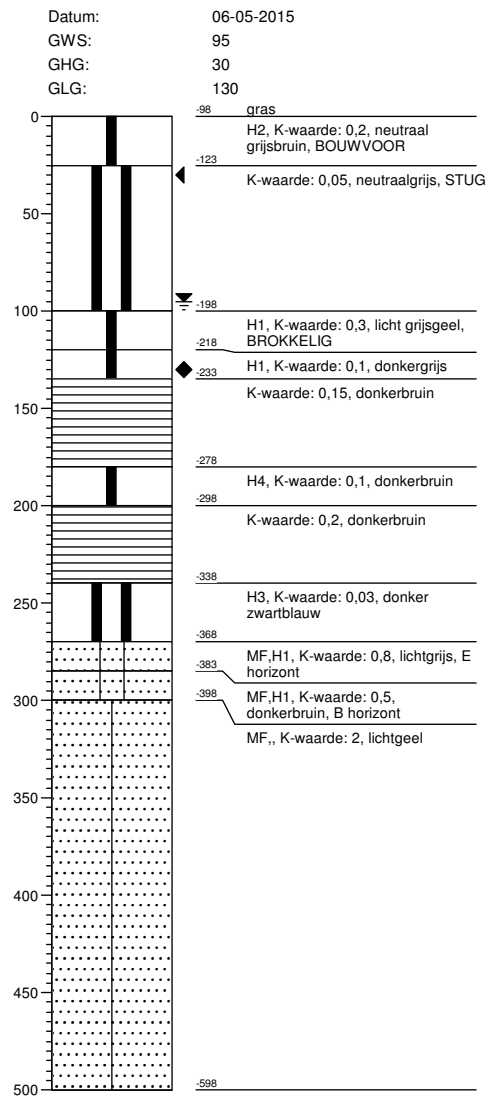
Boorprofielen, inclusief verklaringsblad

Bijlage 3: Locatie pilot 1 Boorprofielen Stiboka

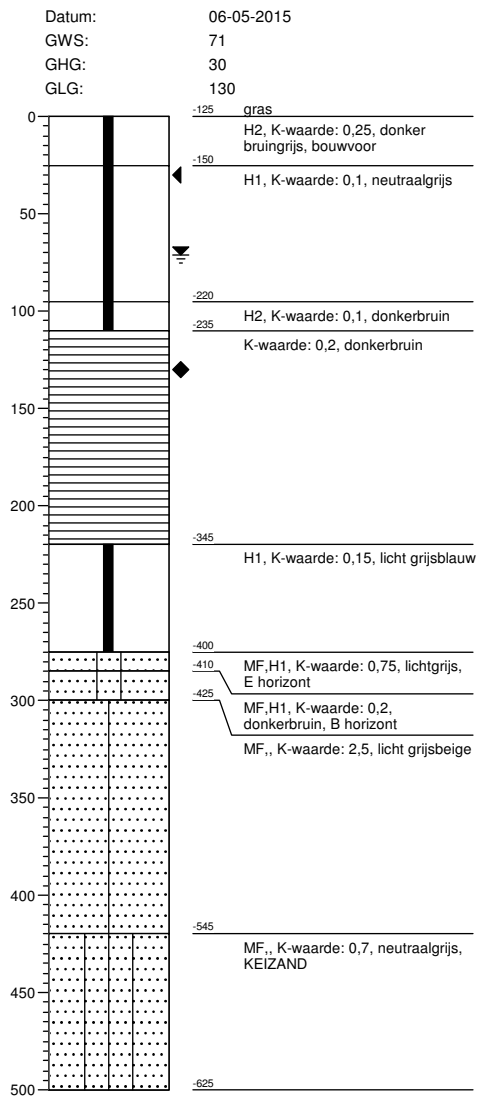
Boring: WL1-B01



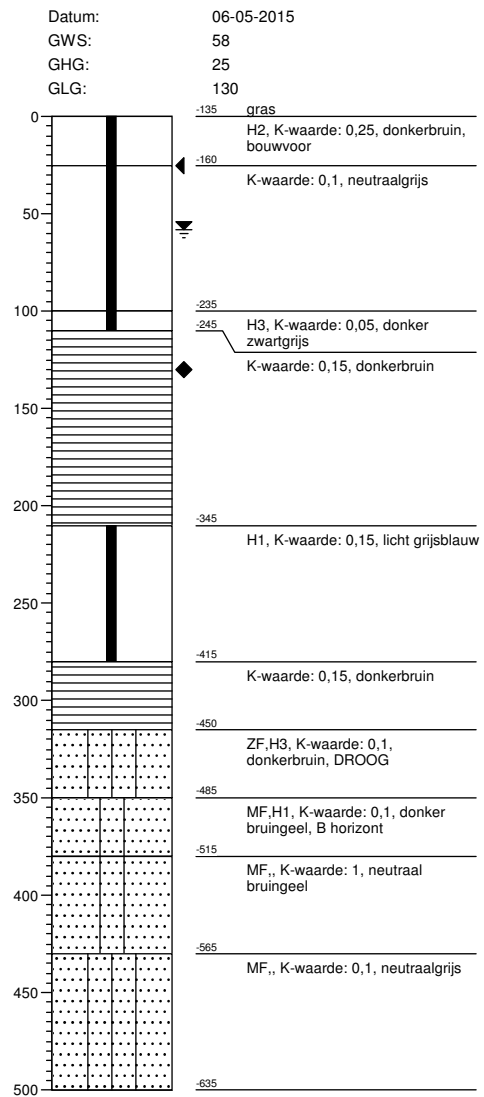
Boring: WL1-B02



Boring: WL1-B03

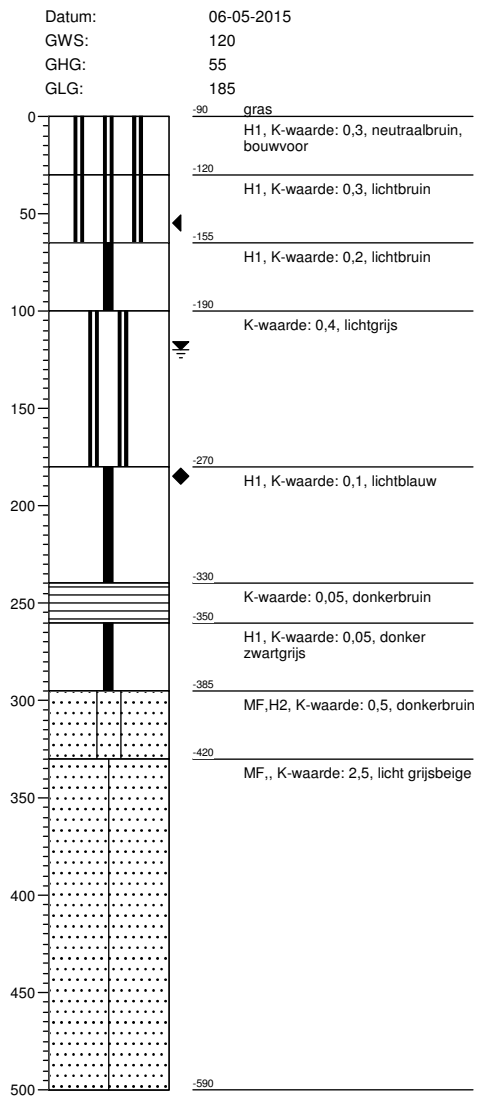


Boring: WL1-B04

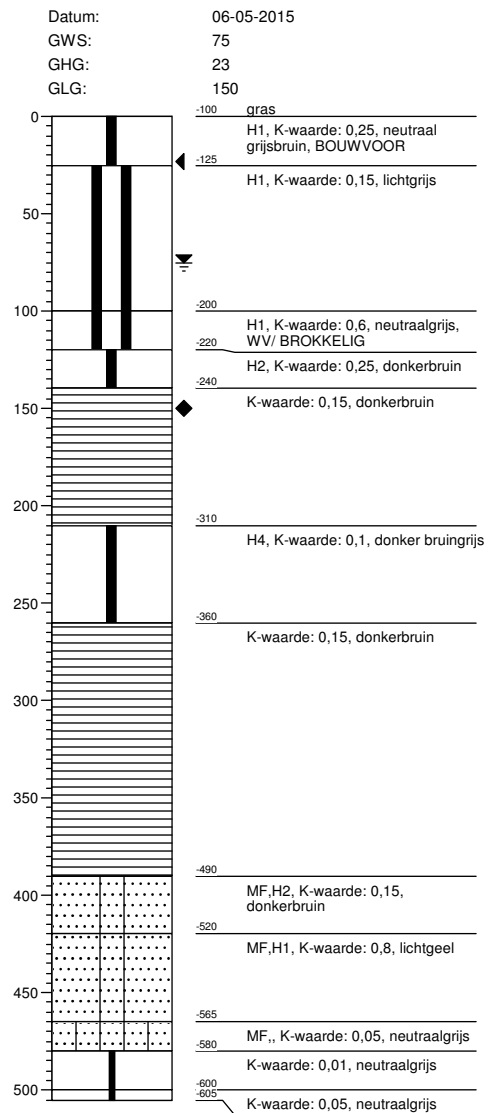


Bijlage 3: Locatie pilot 1 Boorprofielen Stiboka

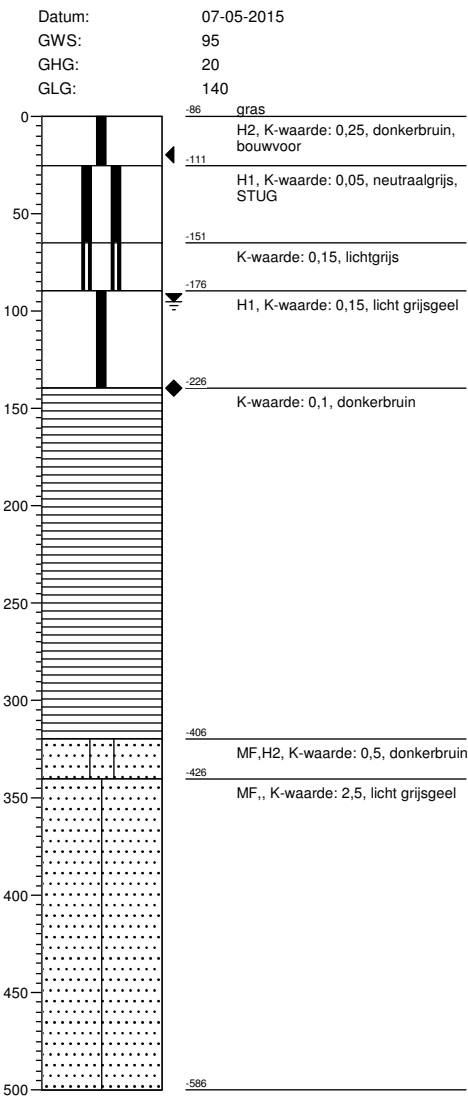
Boring: WL1-B05



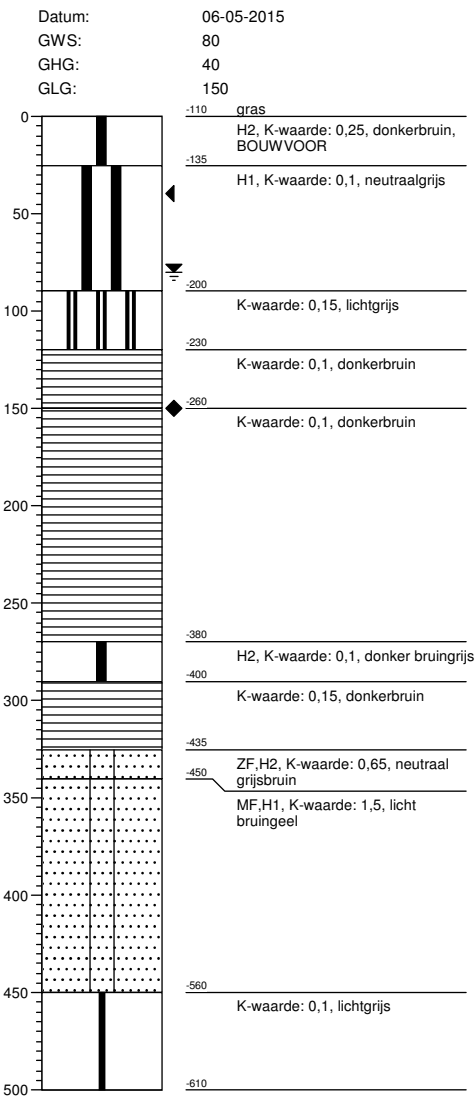
Boring: WL1-B06



Boring: WL1-B07

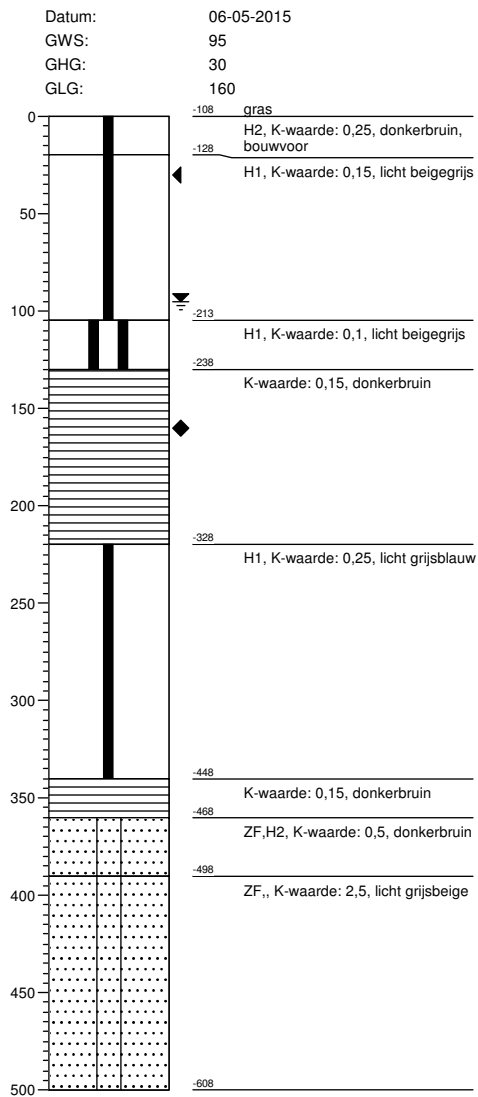


Boring: WL1-B08

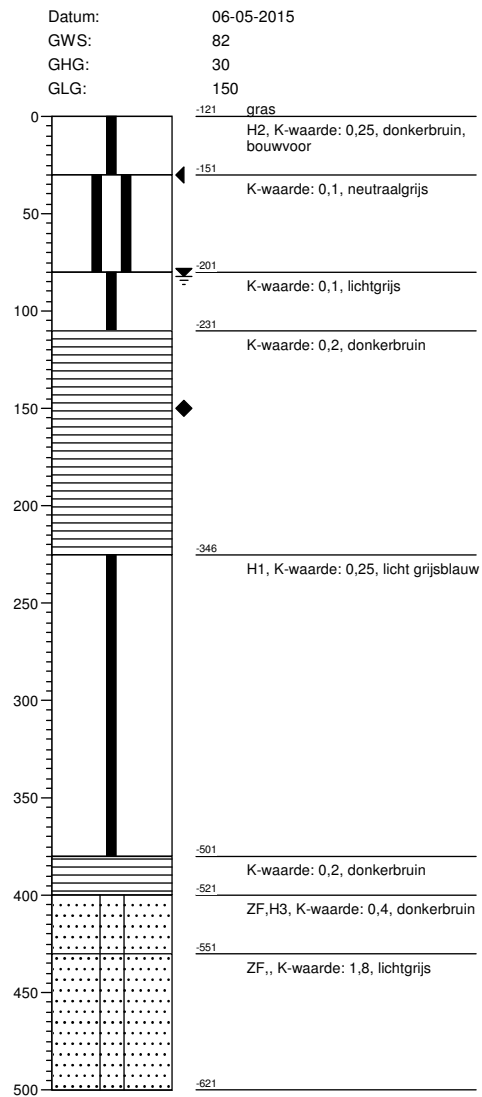


Bijlage 3: Locatie pilot 1 Boorprofielen Stiboka

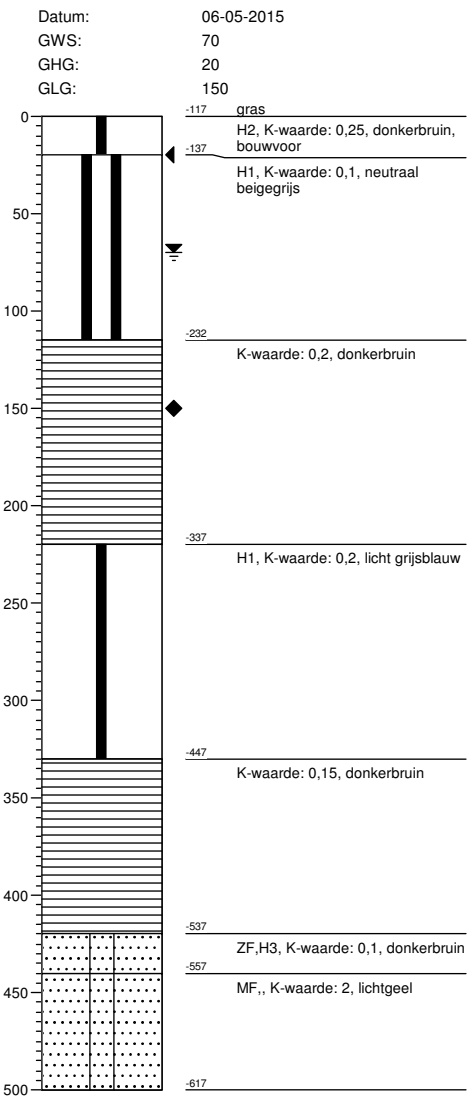
Boring: WL1-B09



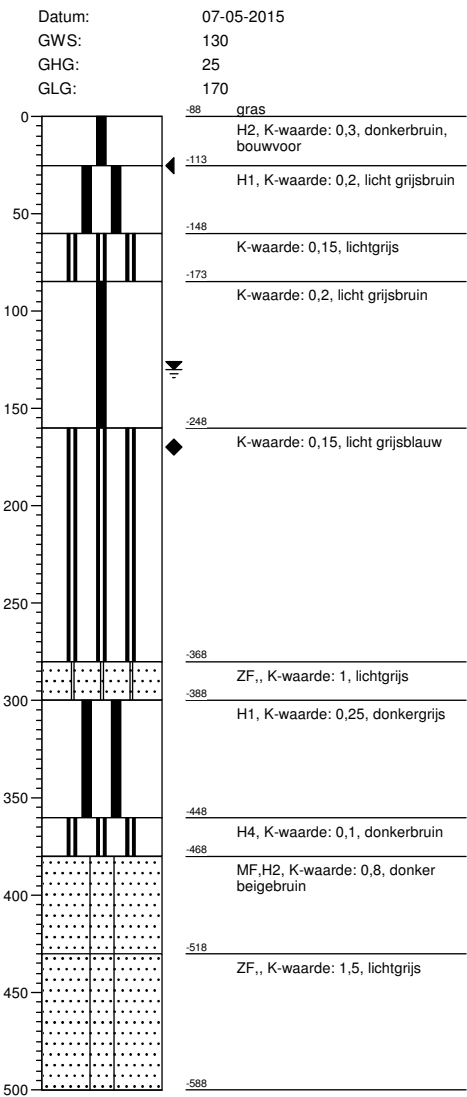
Boring: WL1-B10



Boring: WL1-B11

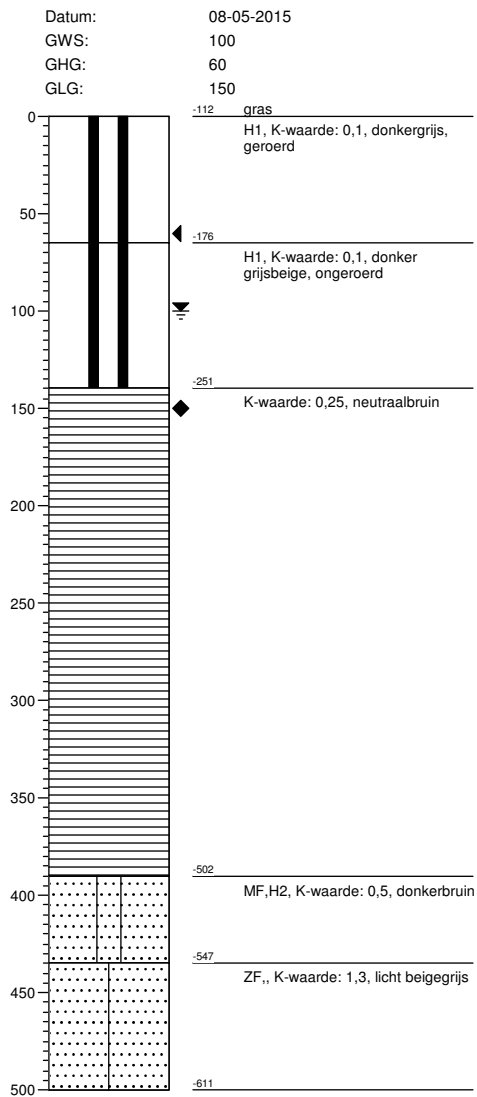


Boring: WL1-B12

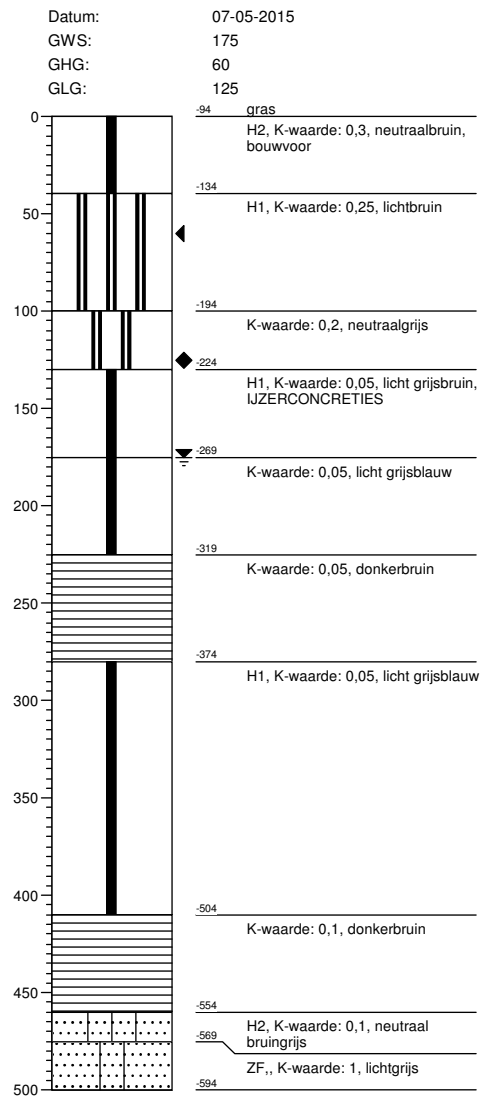


Bijlage 3: Locatie pilot 1 Boorprofielen Stiboka

Boring: WL1-B13

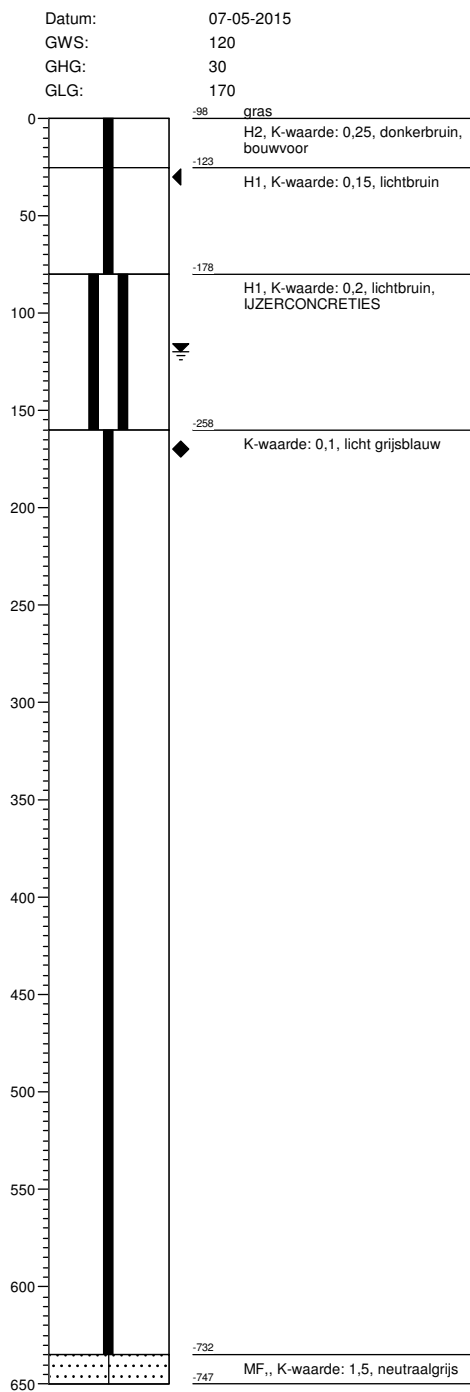


Boring: WL1-B14

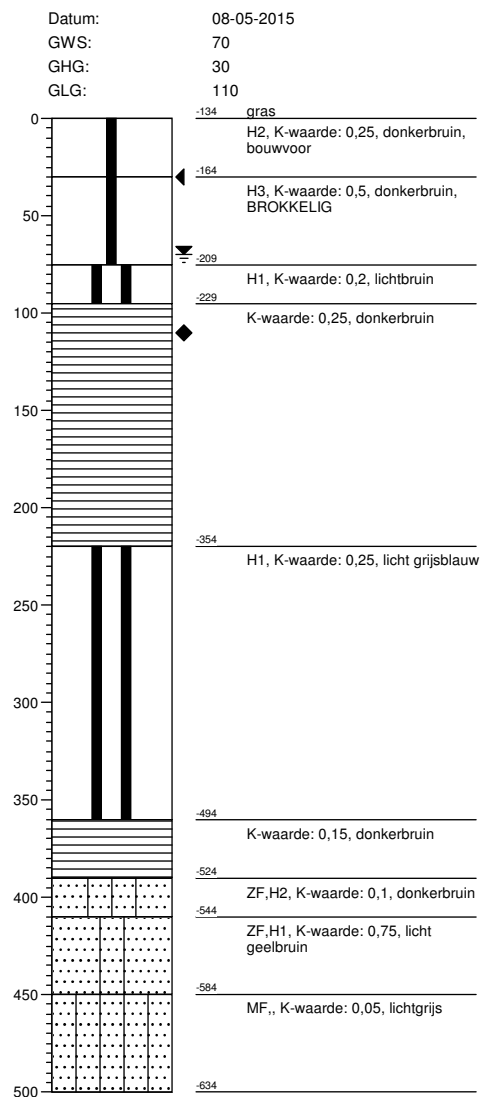


Bijlage 3: Locatie pilot 1 Boorprofielen Stiboka

Boring: WL1-B15

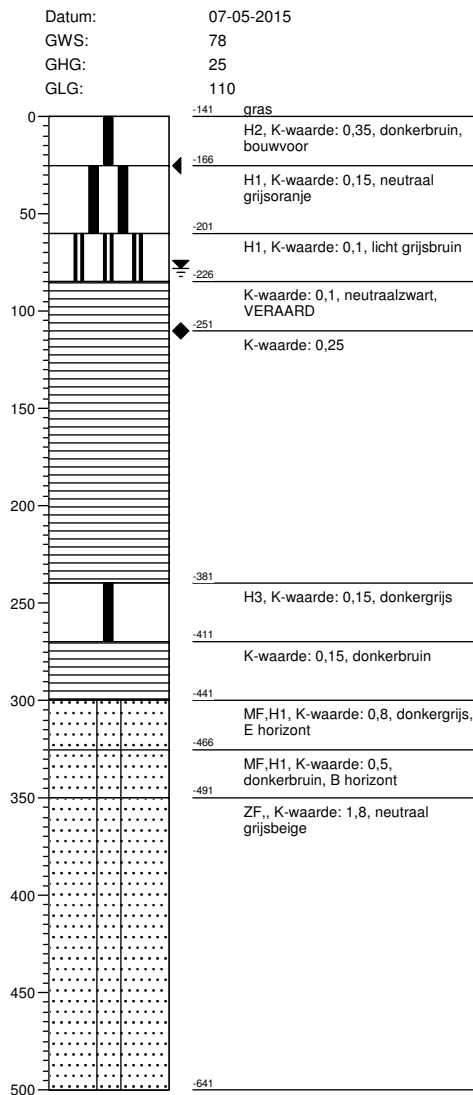


Boring: WL1-B16

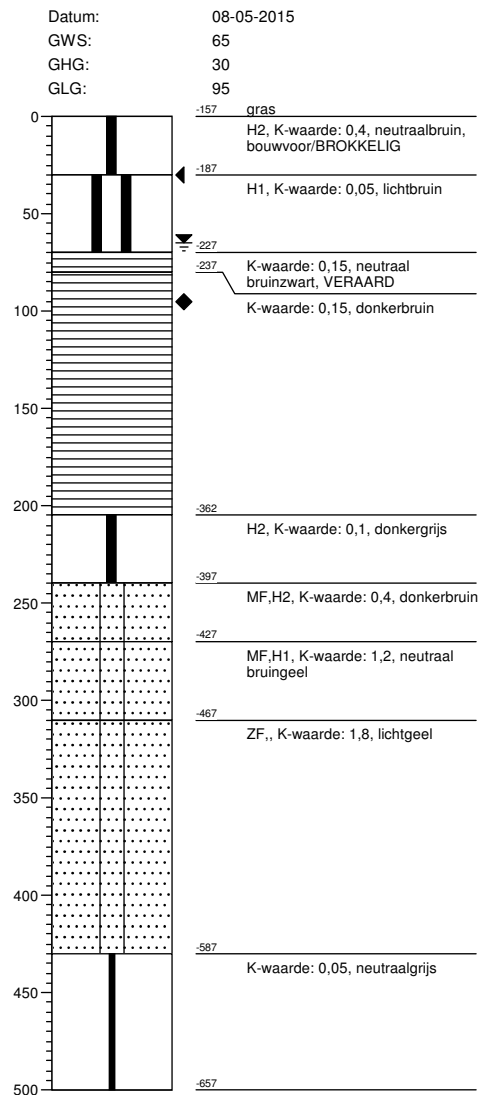


Bijlage 3: Locatie pilot 1 Boorprofielen Stiboka

Boring: WL1-B17

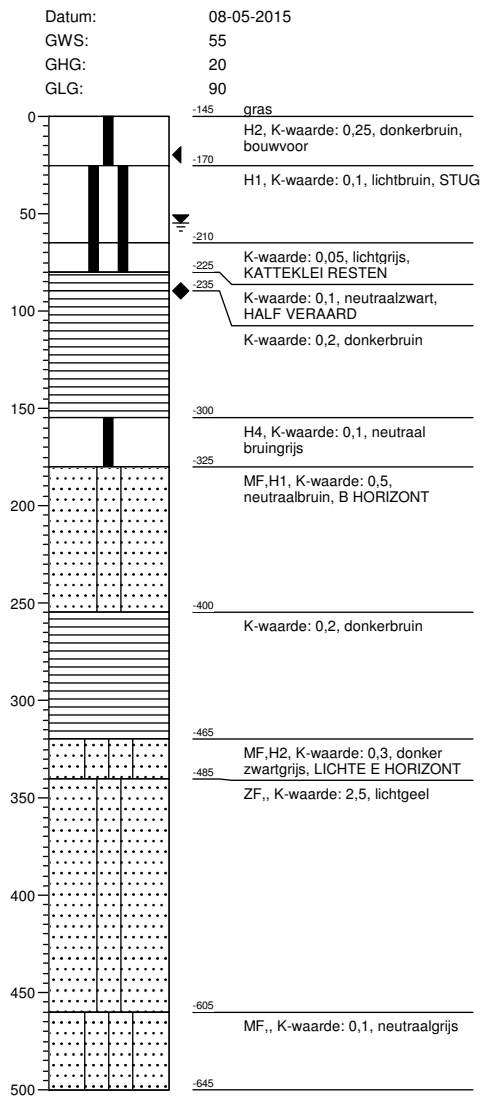


Boring: WL1-B18

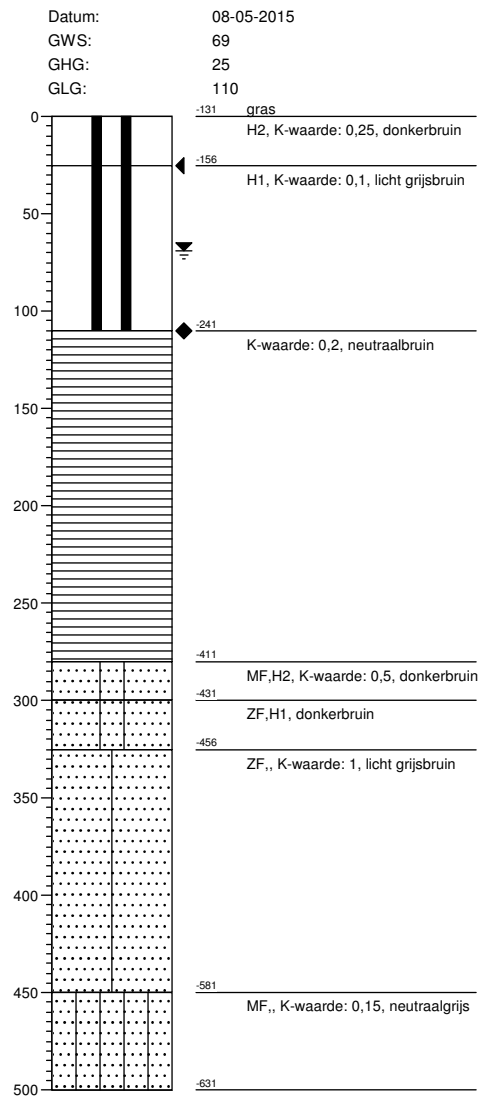


Bijlage 3: Locatie pilot 1 Boorprofielen Stiboka

Boring: WL1-B19

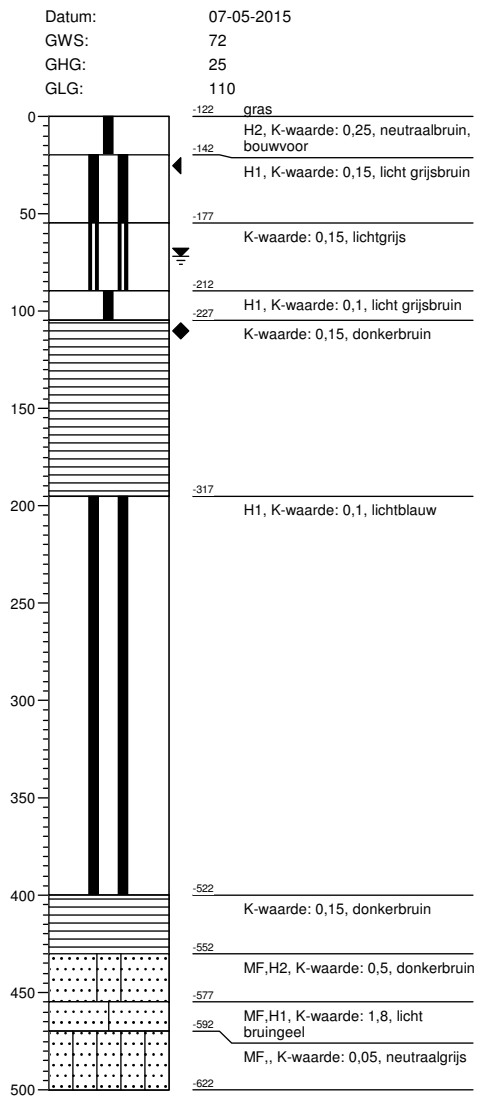


Boring: WL1-B20

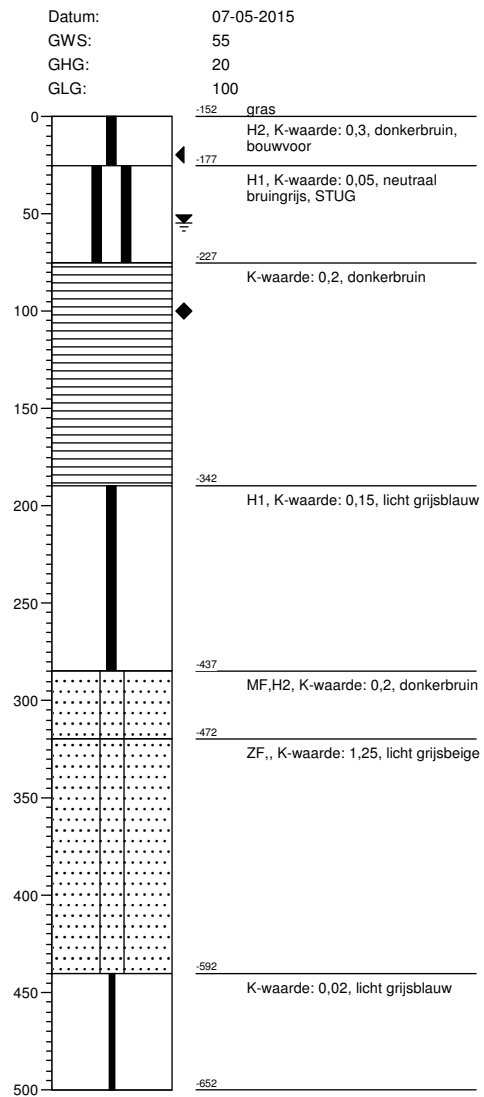


Bijlage 3: Locatie pilot 1 Boorprofielen Stiboka

Boring: WL1-B21

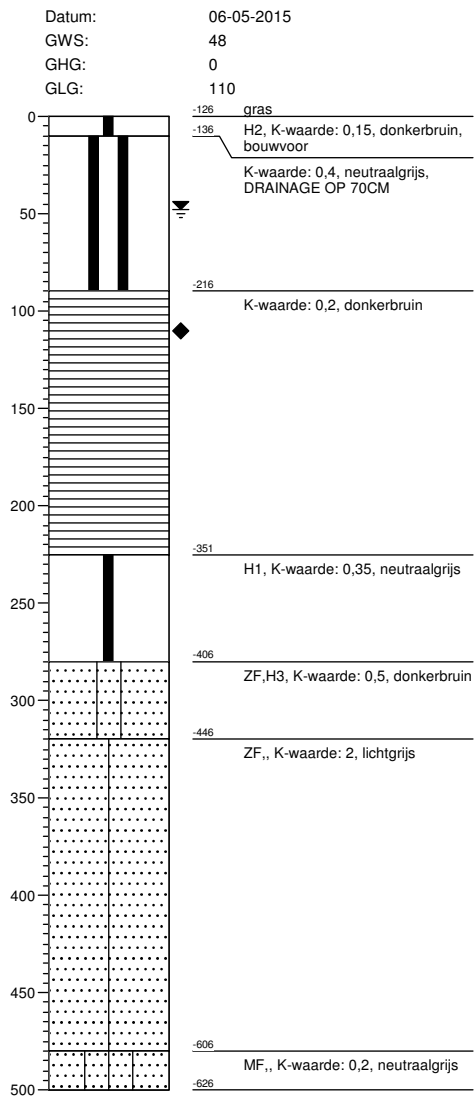


Boring: WL1-B22

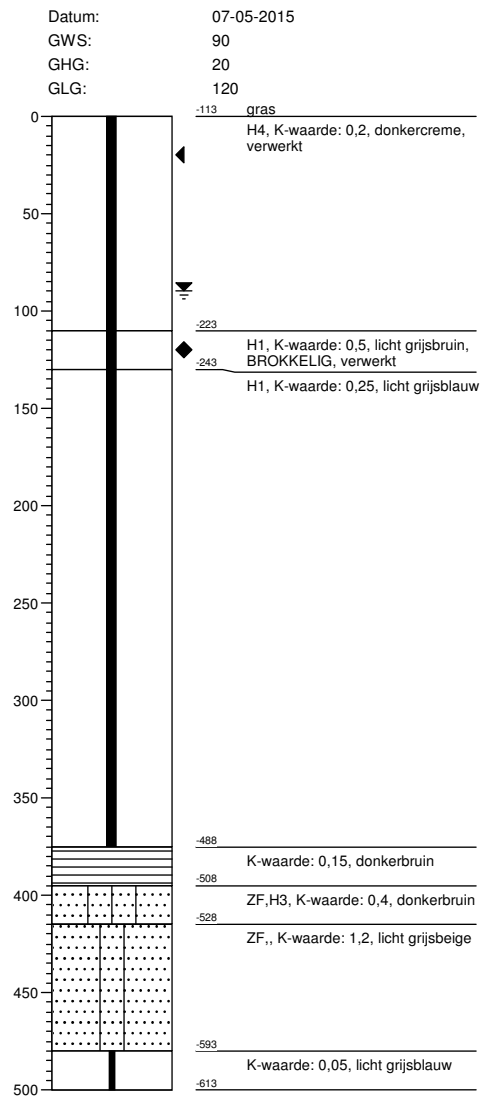


Bijlage 3: Locatie pilot 1 Boorprofielen Stiboka

Boring: WL1-B23

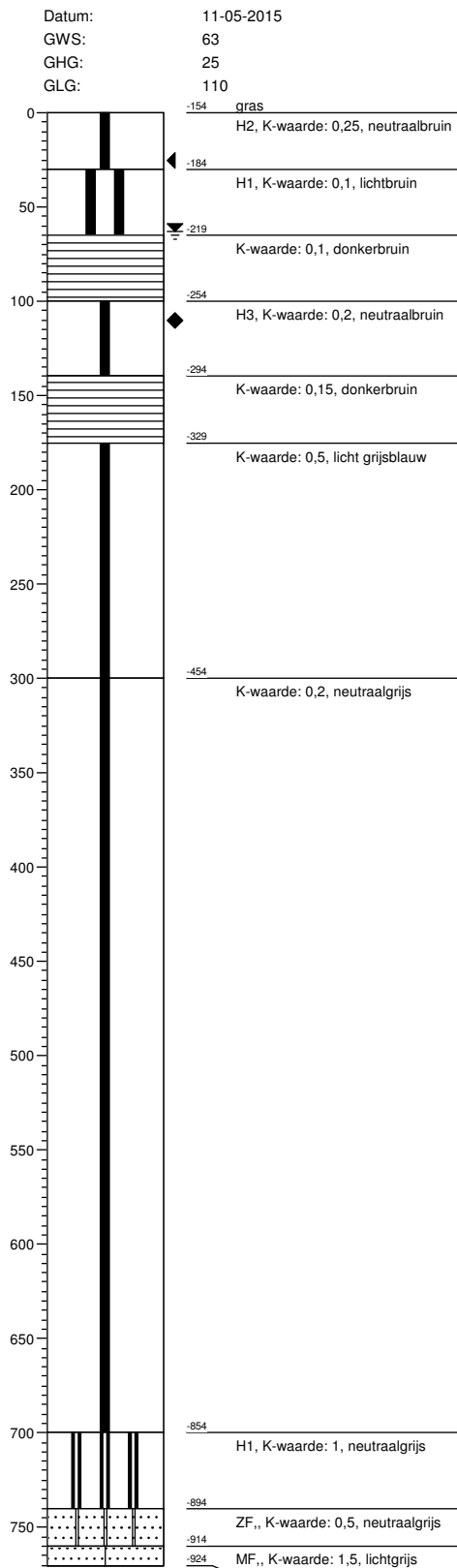


Boring: WL1-B24

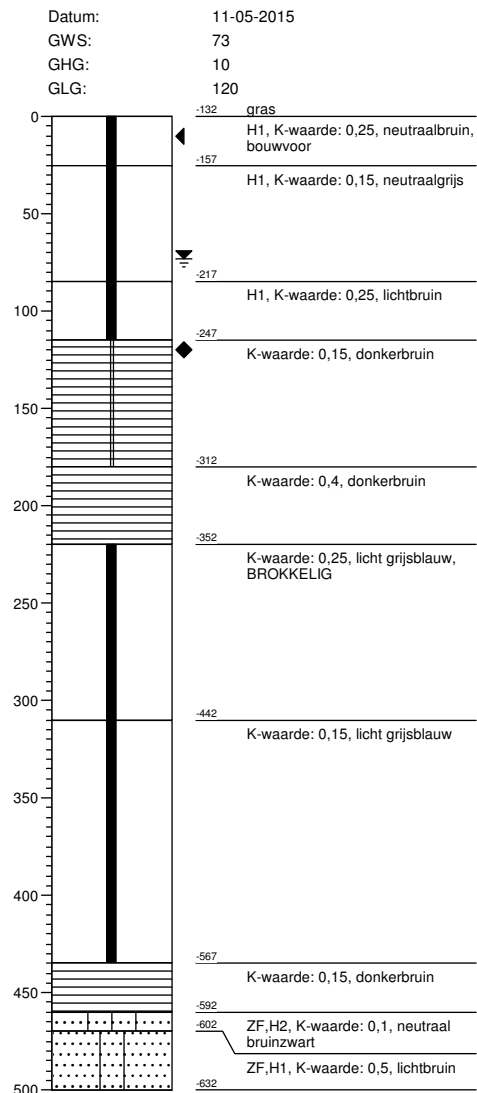


Bijlage 3: Locatie pilot 1 Boorprofielen Stiboka

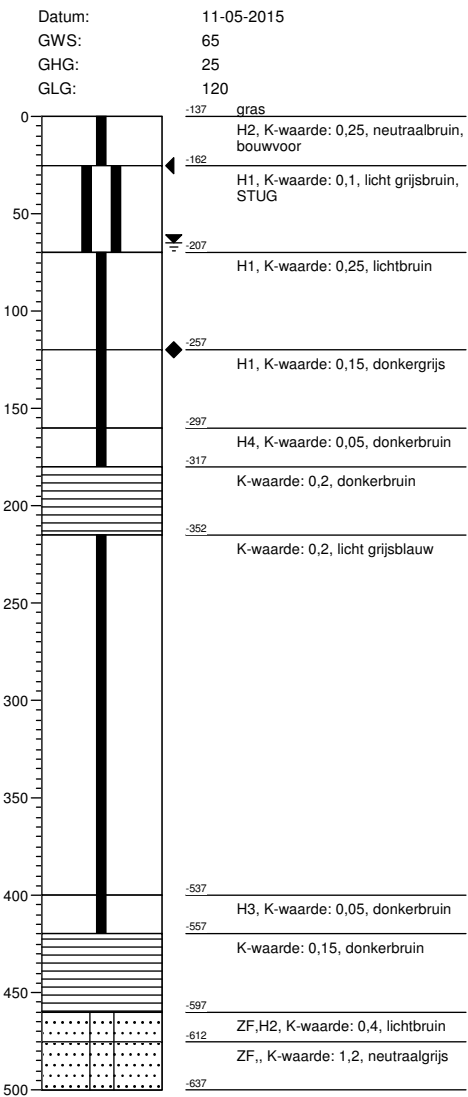
Boring: WL2-B01



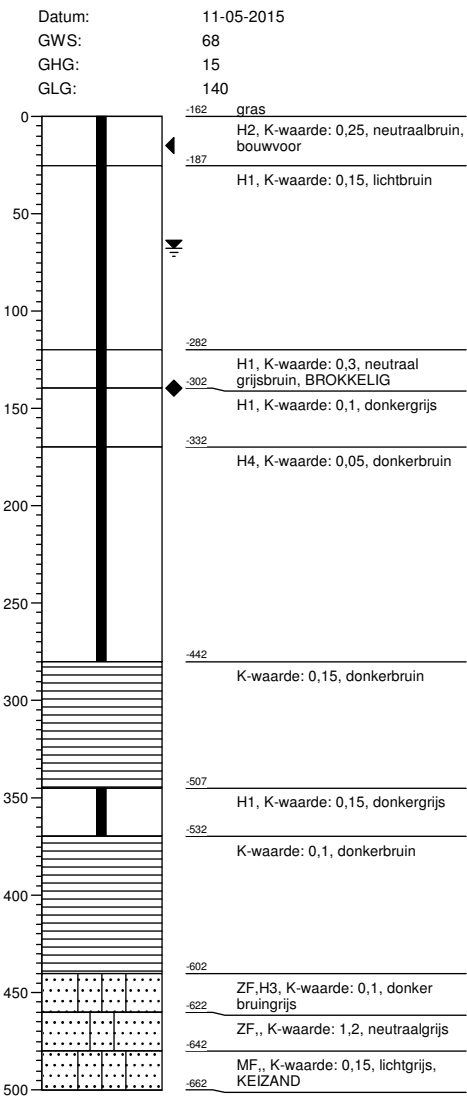
Boring: WL2-B02



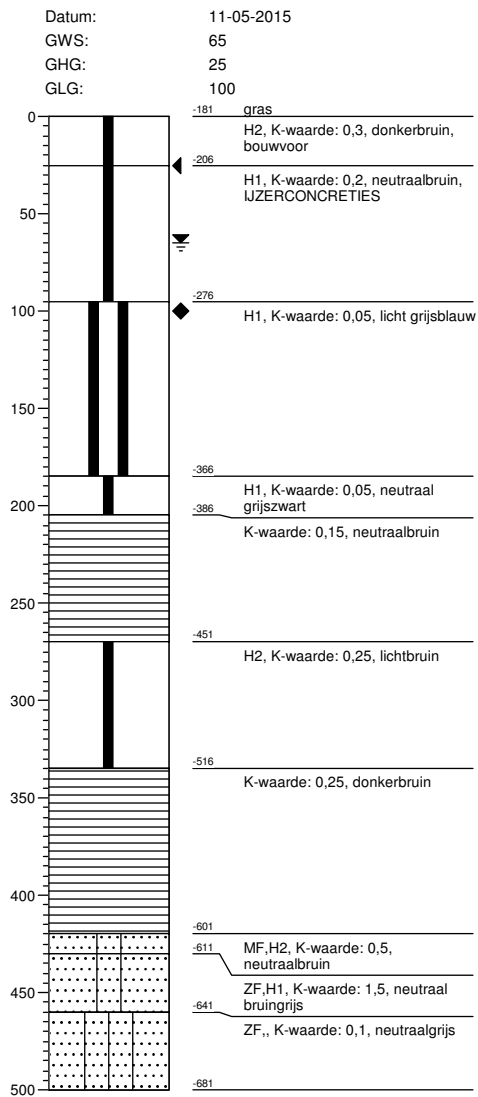
Boring: WL2-B03



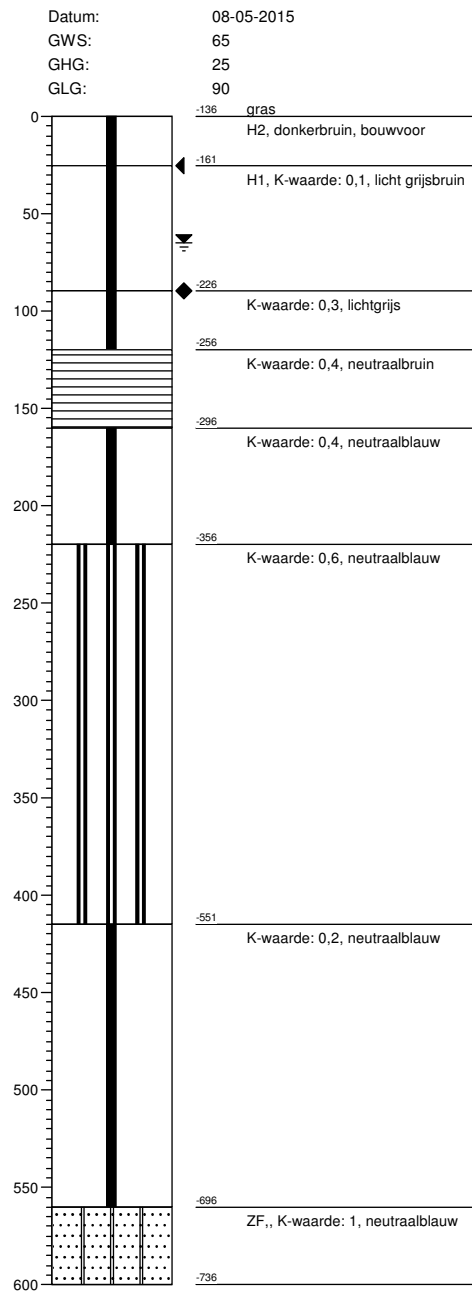
Boring: WL2-B04



Boring: WL2-B05

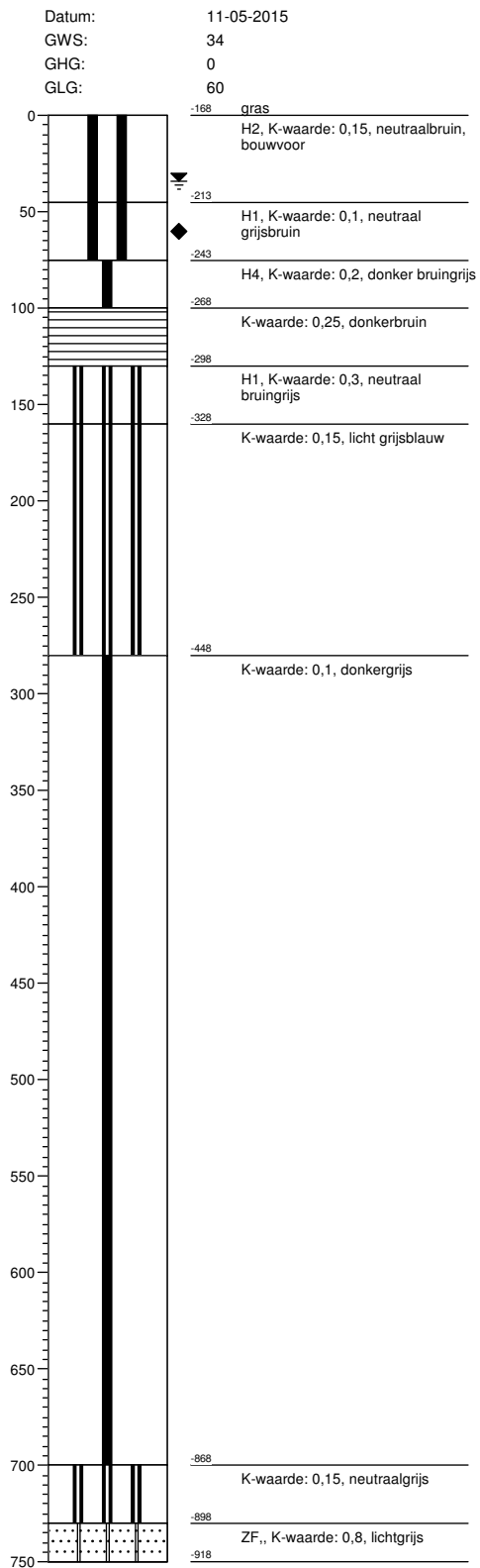


Boring: WL2-B06

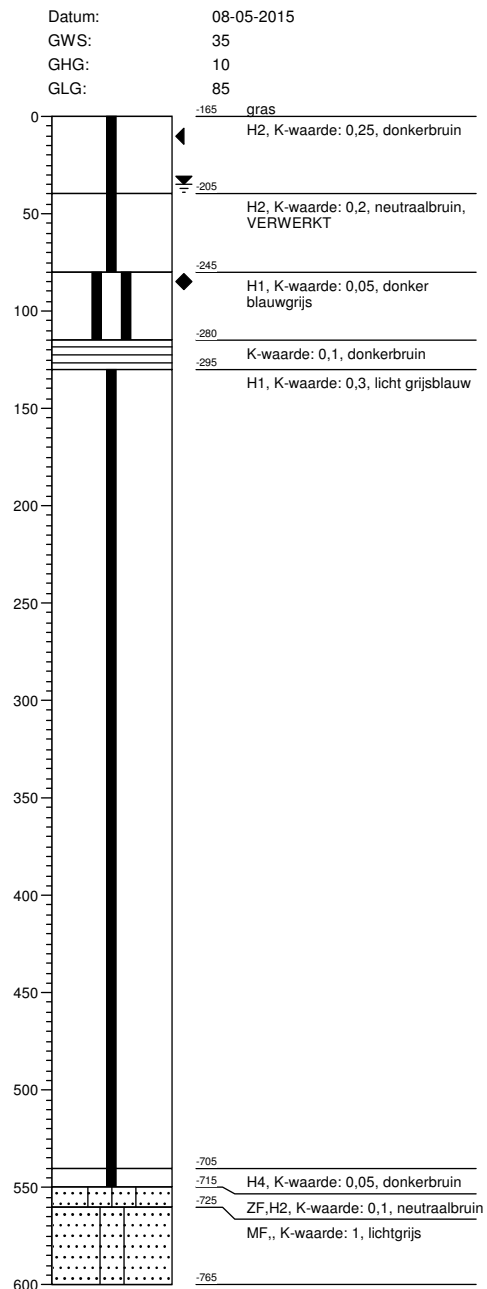


Bijlage 3: Locatie pilot 1 Boorprofielen Stiboka

Boring: WL2-B07



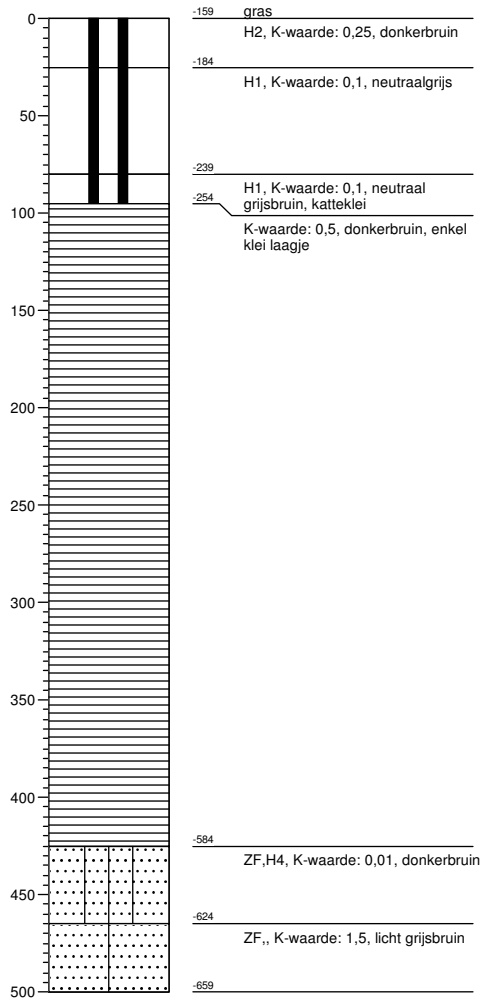
Boring: WL2-B08



Bijlage 3: Locatie pilot 1 Boorprofielen Stiboka

Boring: WR-B01

Datum: 08-05-2015



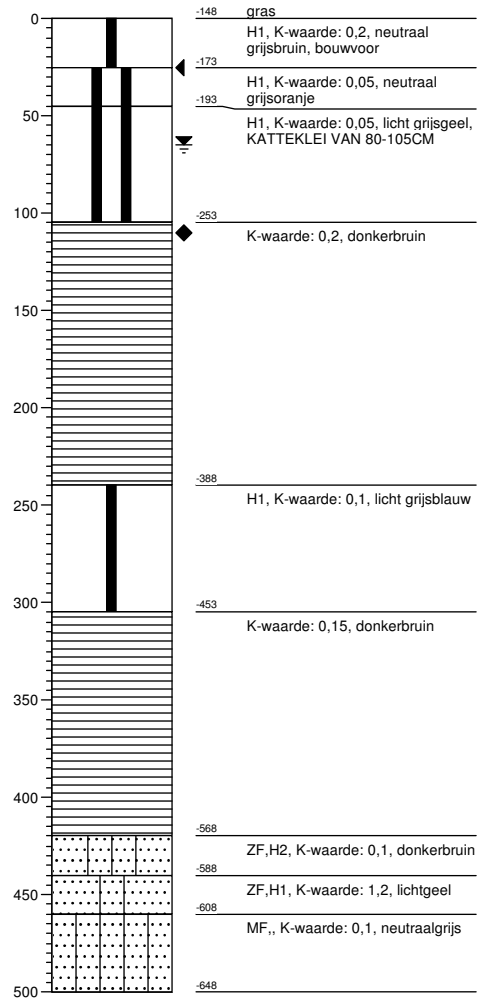
Boring: WR-B02

Datum: 08-05-2015

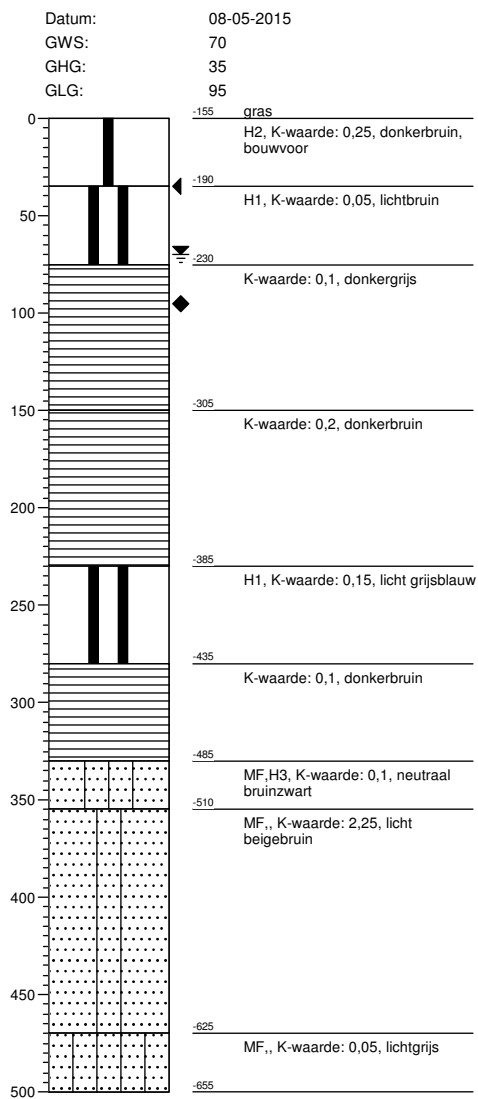
GWS: 65

GHG: 25

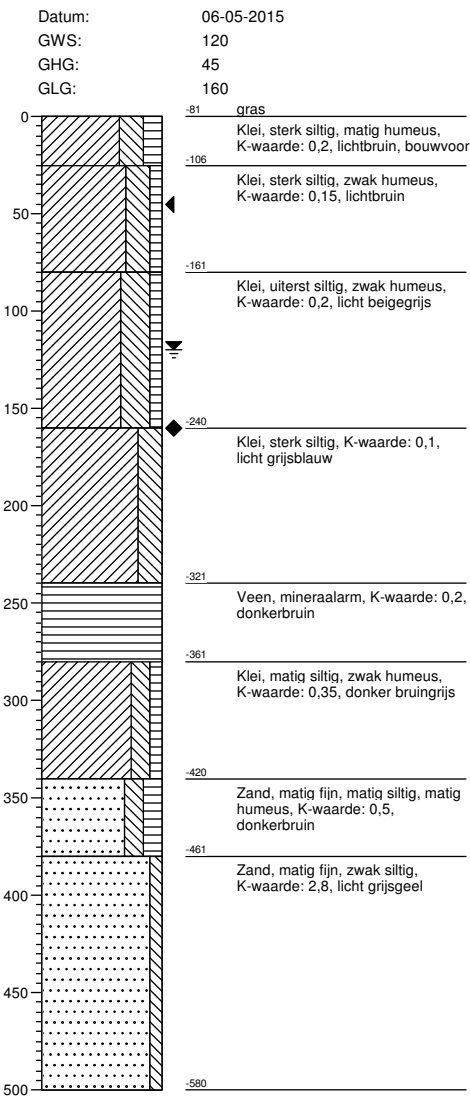
GLG: 110



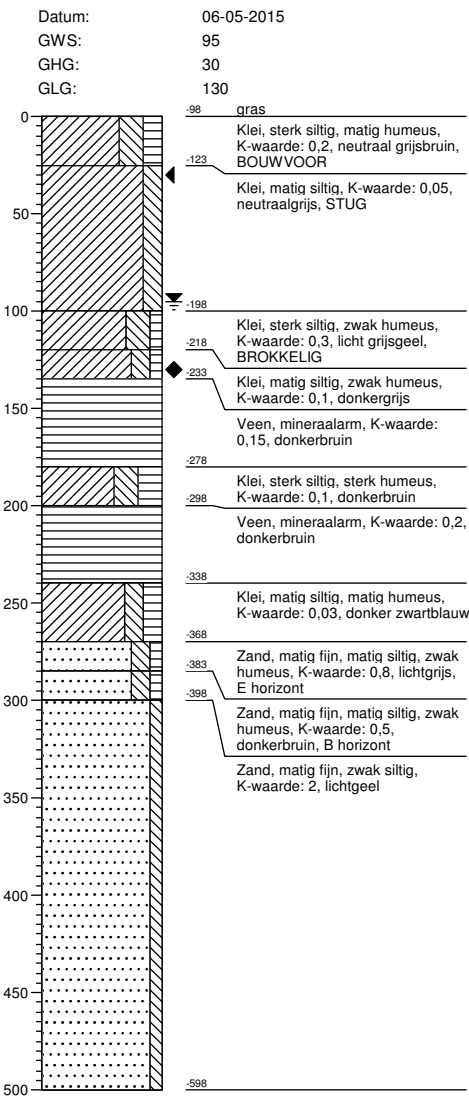
Boring: WR-B03



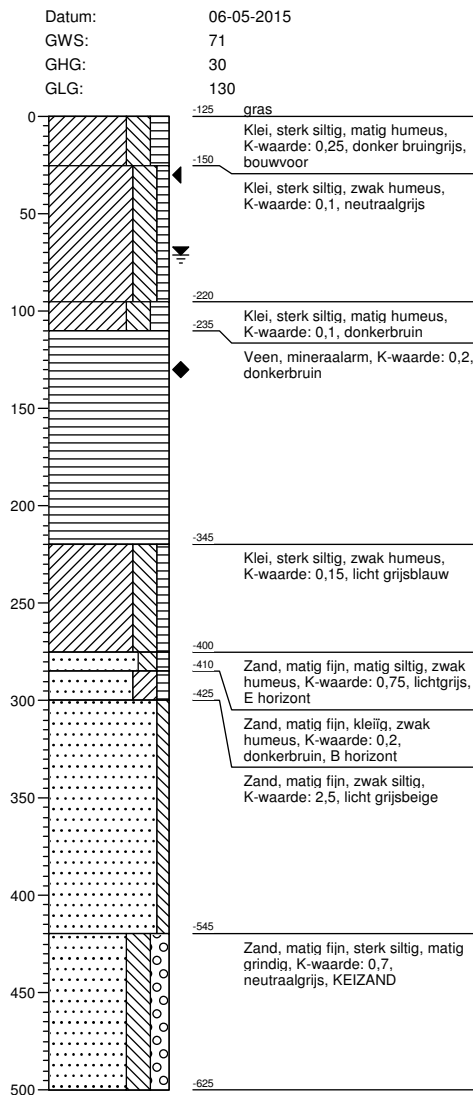
Boring: WL1-B01



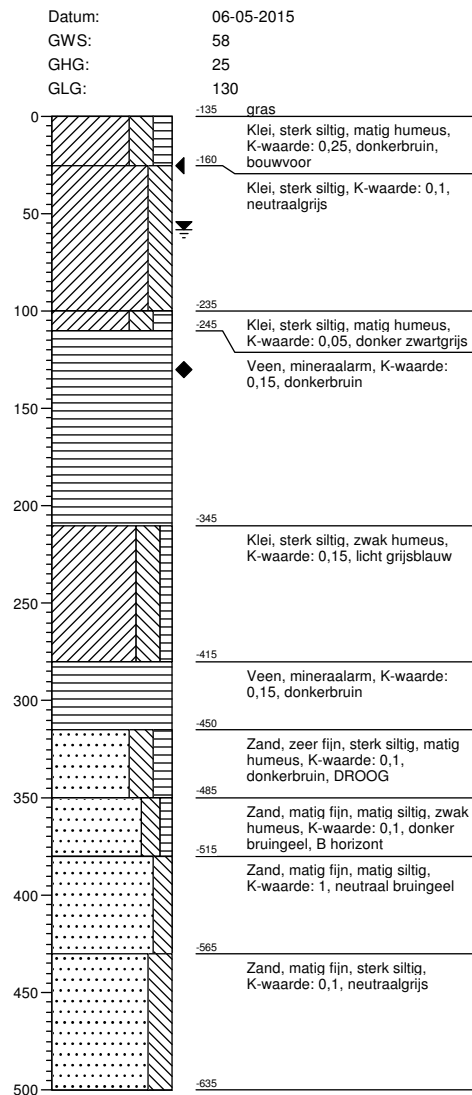
Boring: WL1-B02



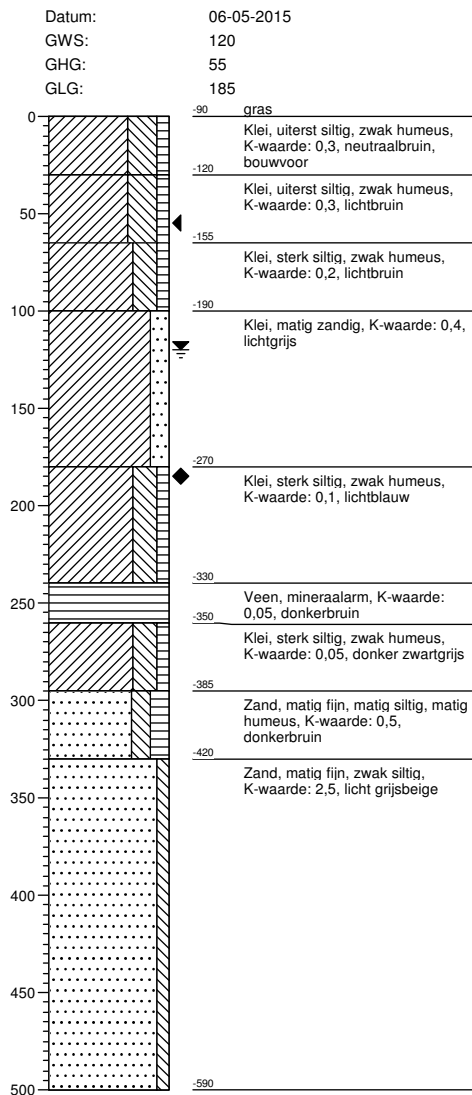
Boring: WL1-B03



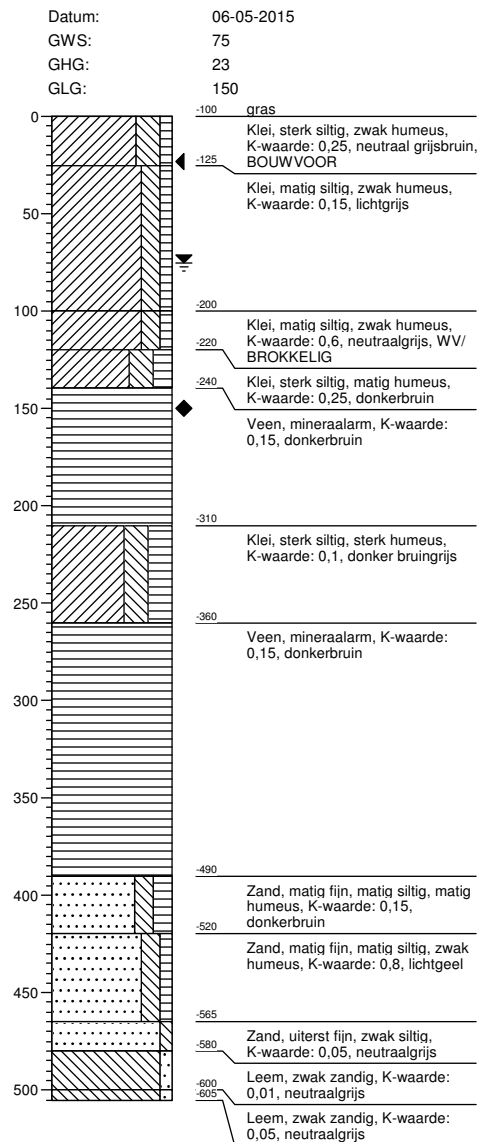
Boring: WL1-B04



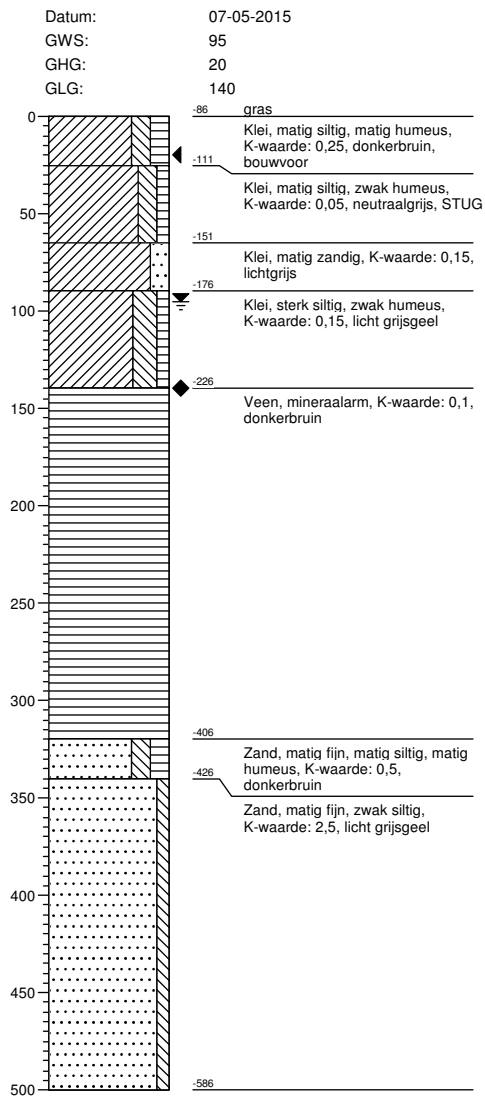
Boring: WL1-B05



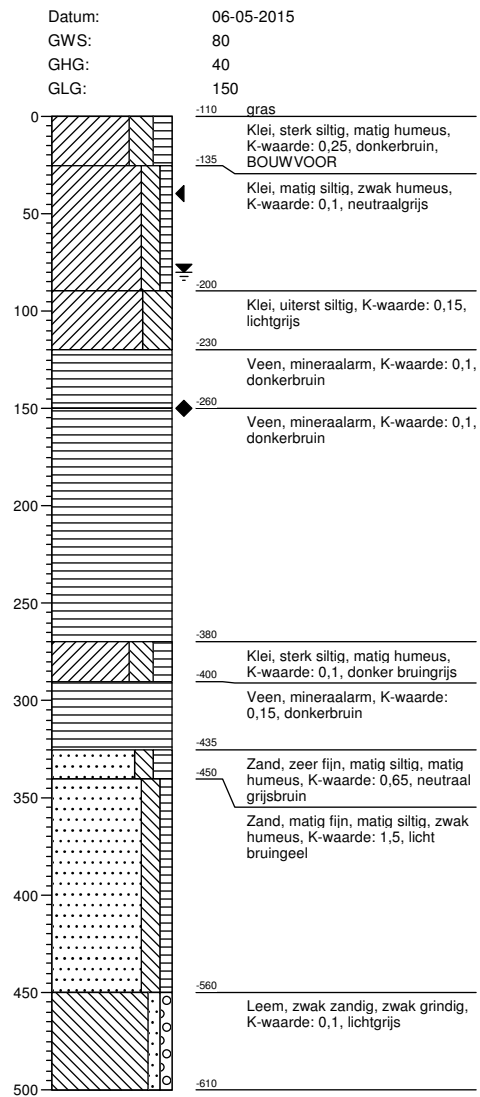
Boring: WL1-B06



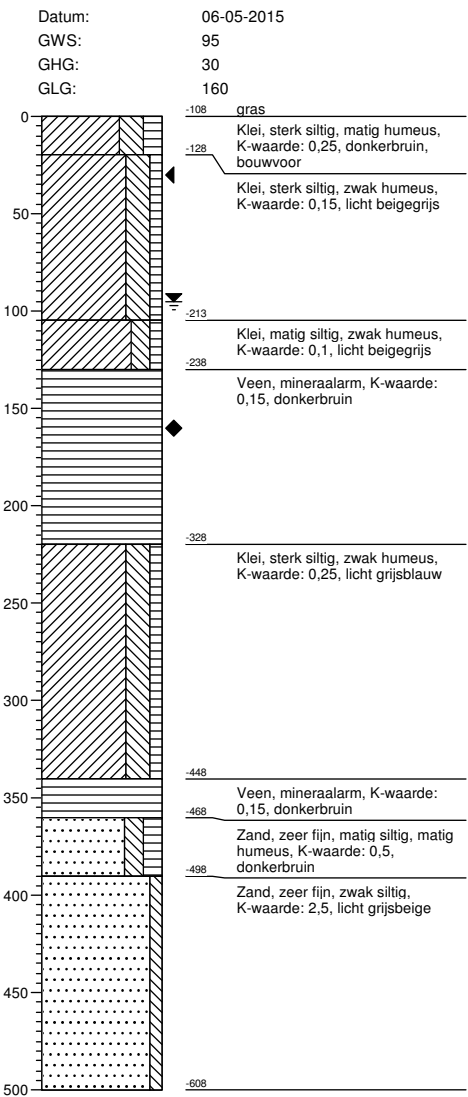
Boring: WL1-B07



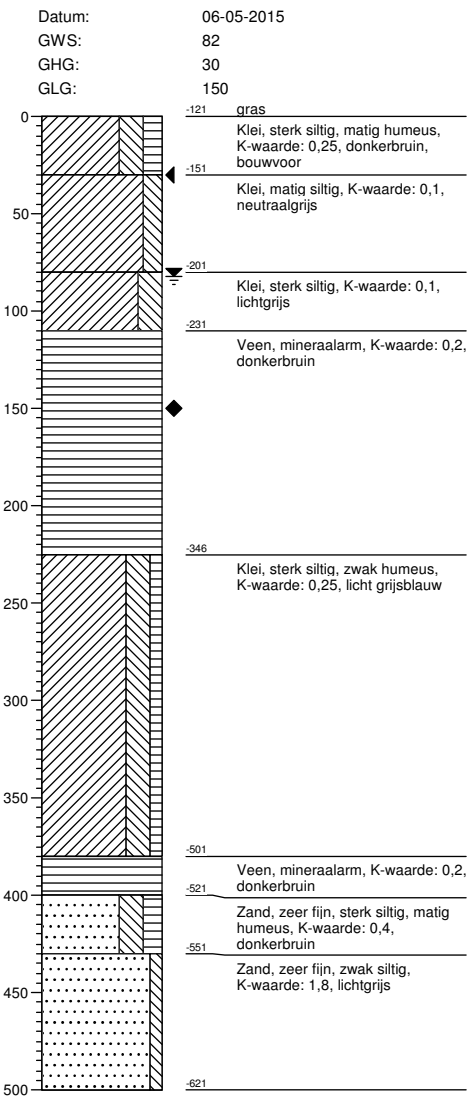
Boring: WL1-B08



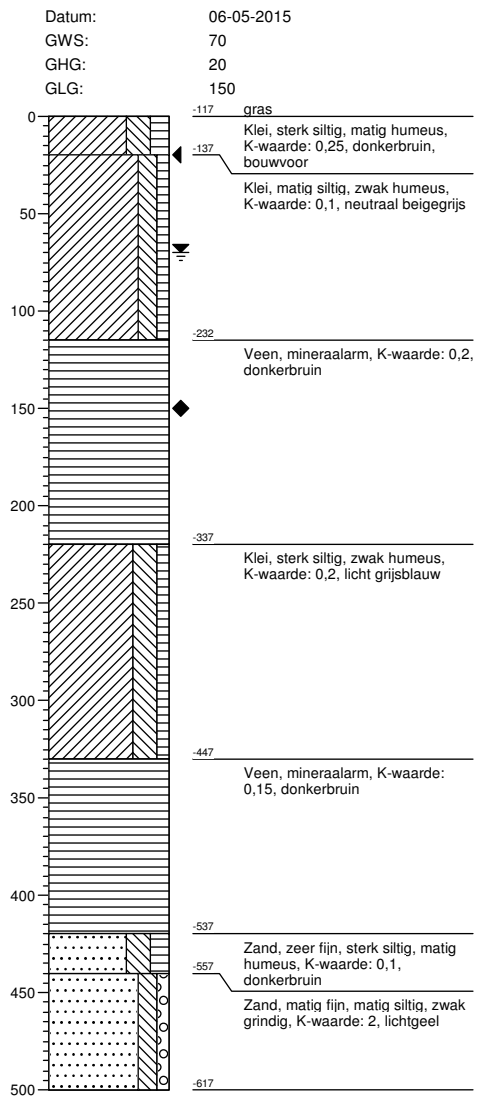
Boring: WL1-B09



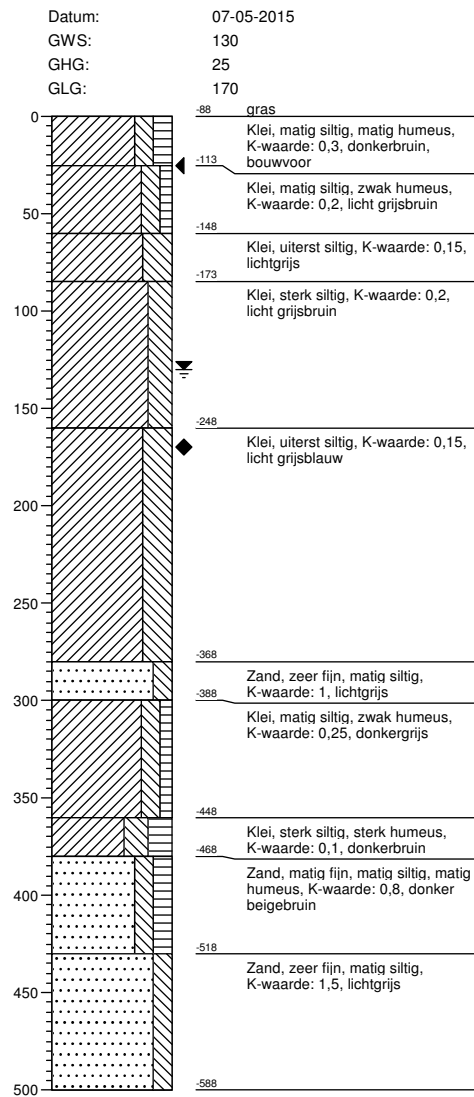
Boring: WL1-B10



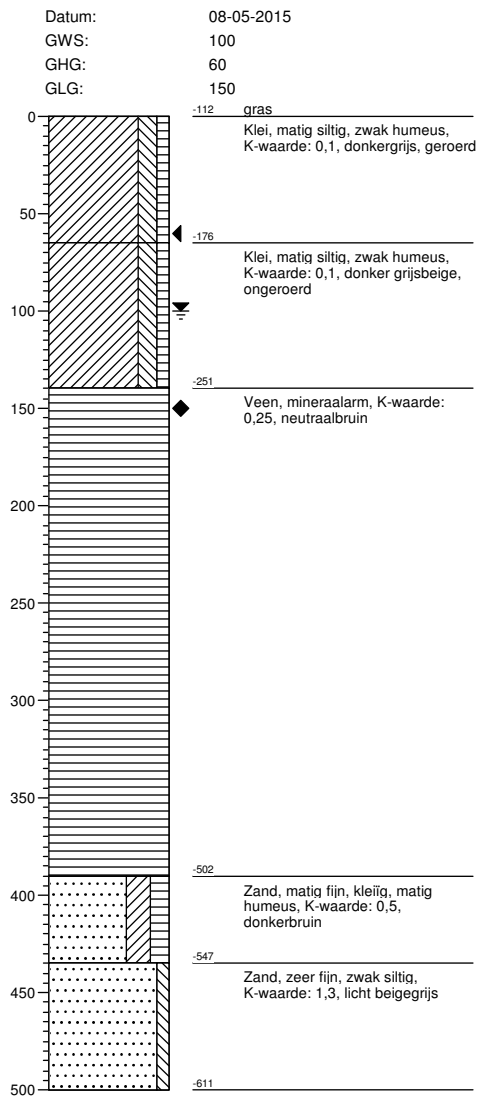
Boring: WL1-B11



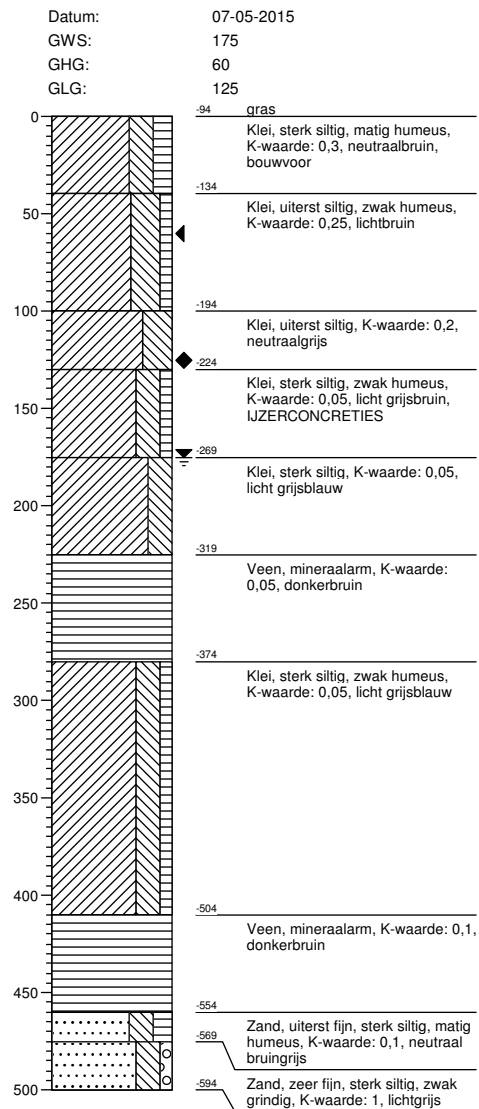
Boring: WL1-B12



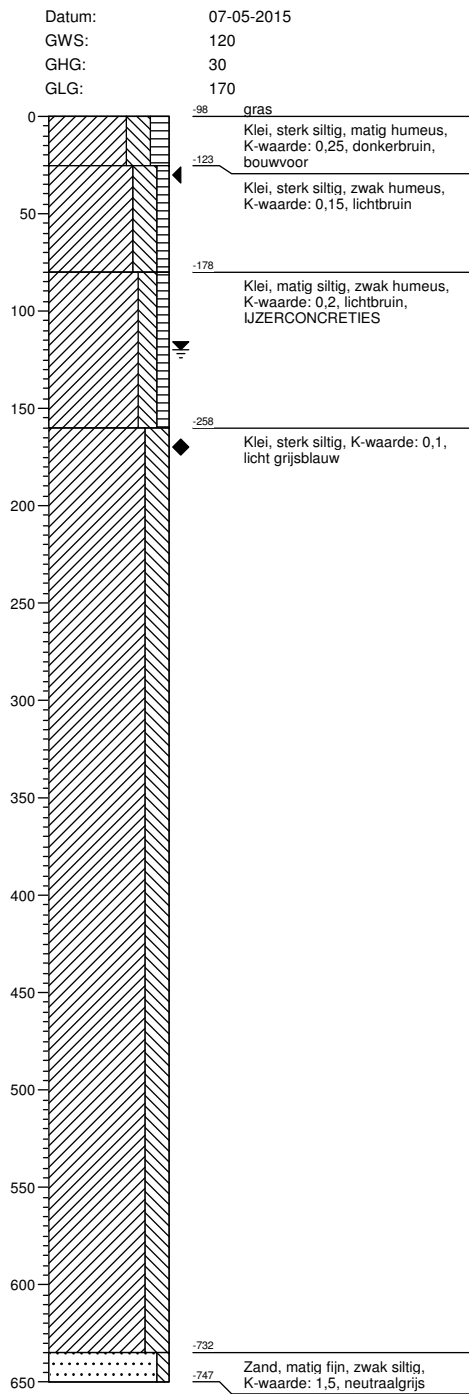
Boring: WL1-B13



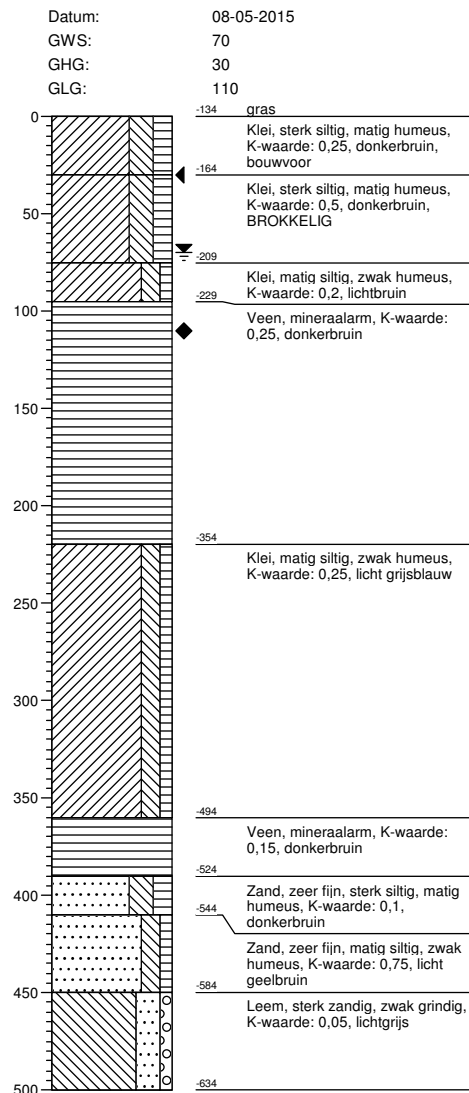
Boring: WL1-B14



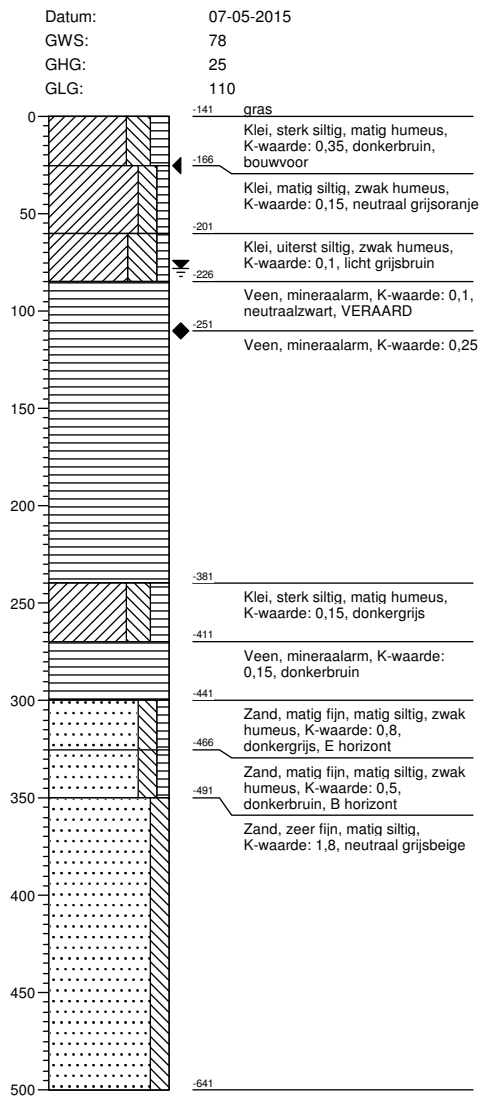
Boring: WL1-B15



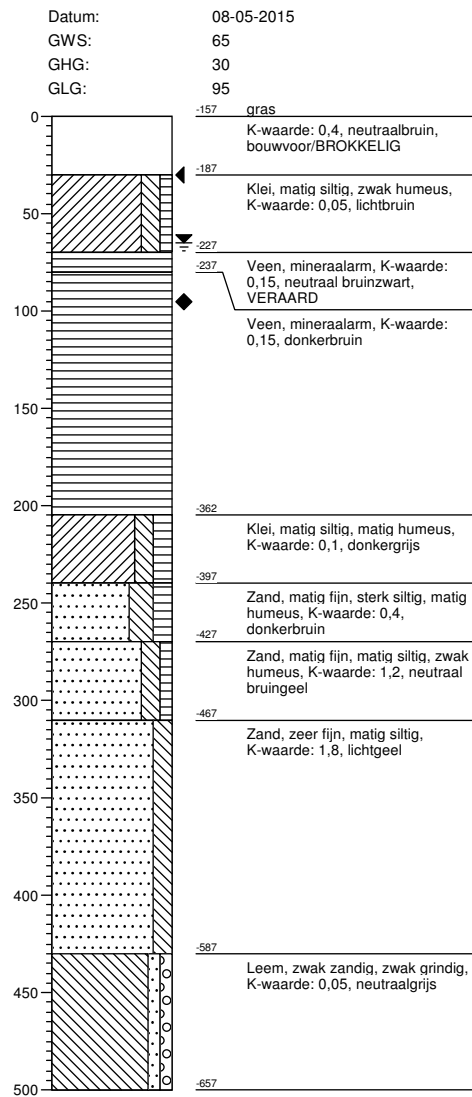
Boring: WL1-B16



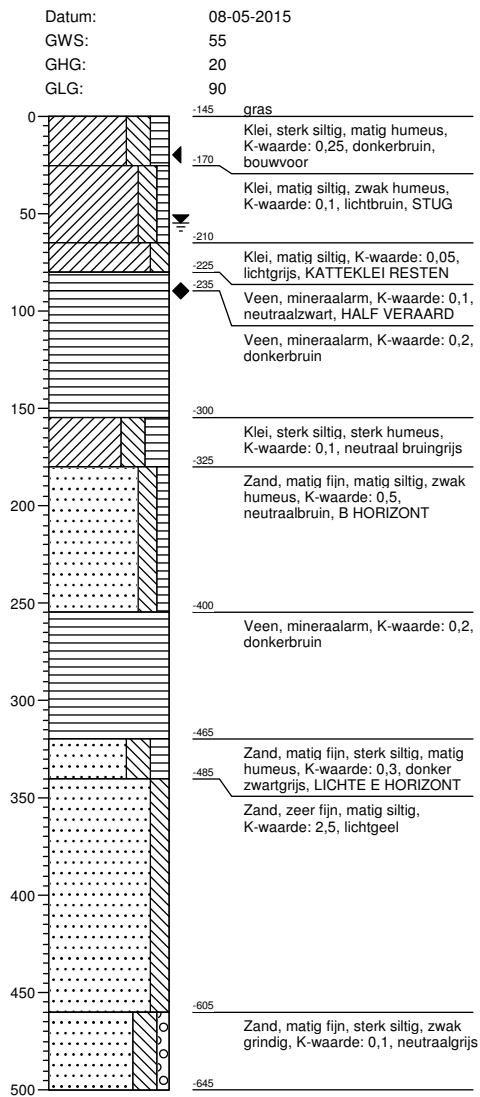
Boring: WL1-B17



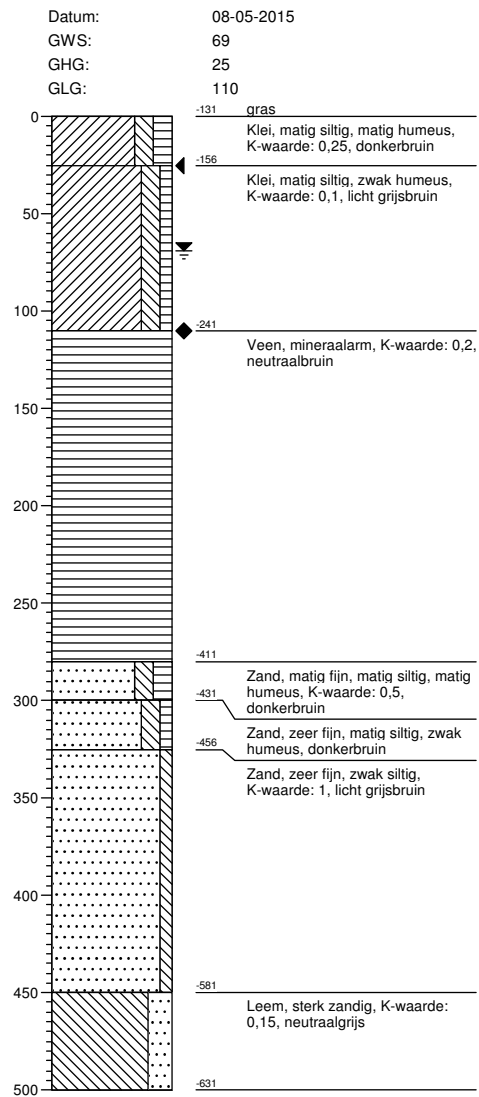
Boring: WL1-B18



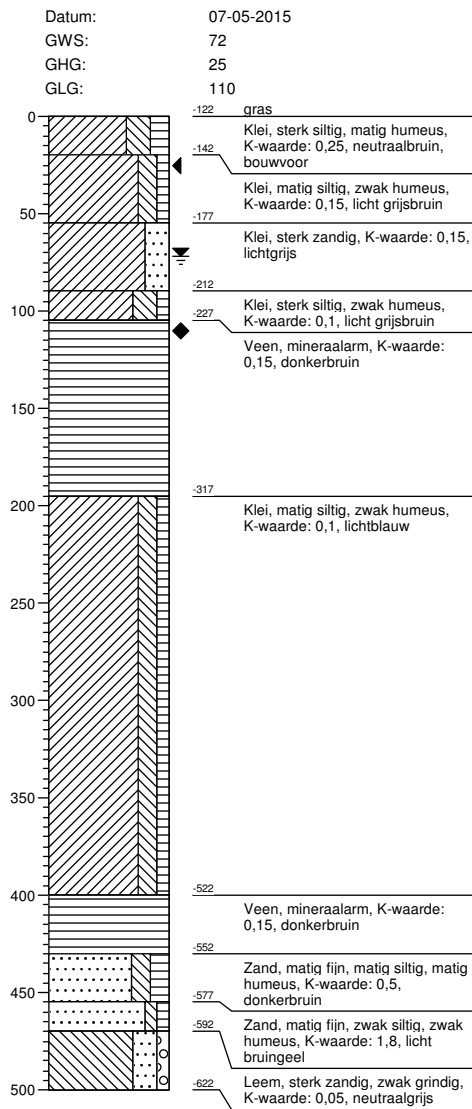
Boring: WL1-B19



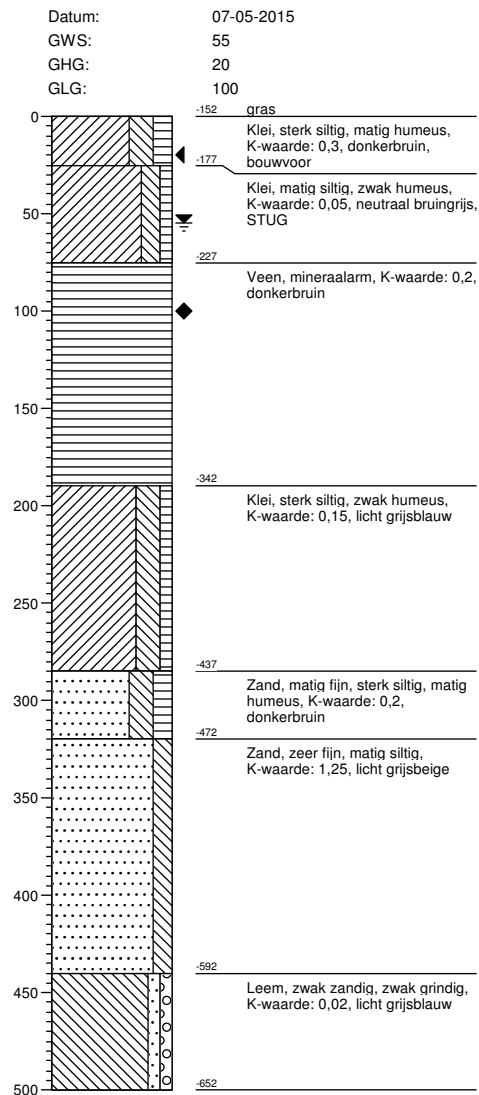
Boring: WL1-B20



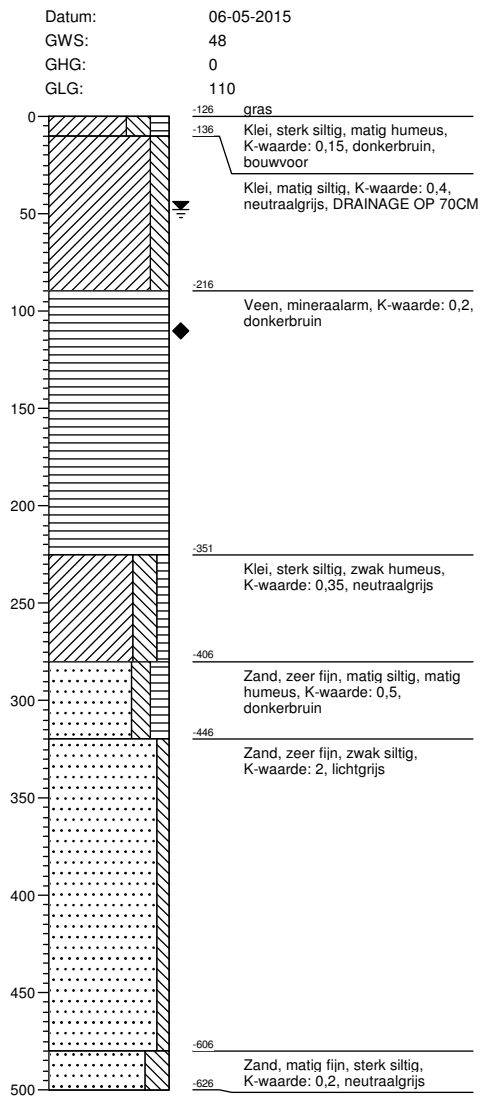
Boring: WL1-B21



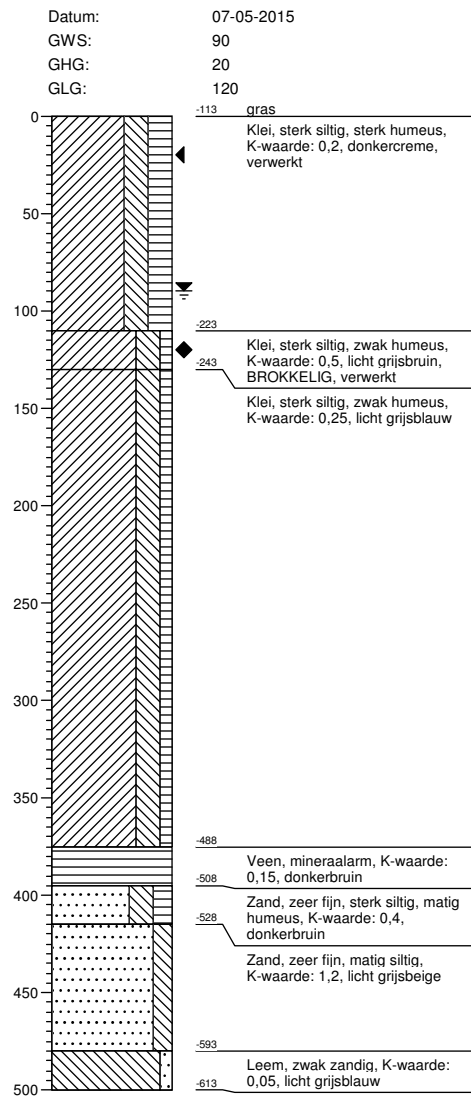
Boring: WL1-B22



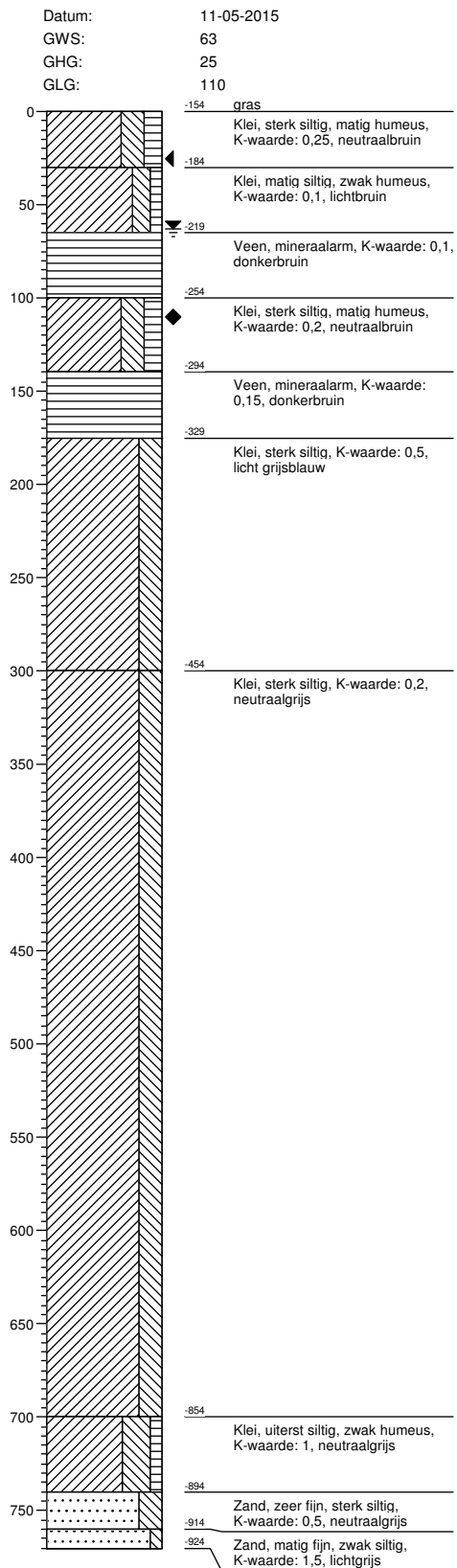
Boring: WL1-B23



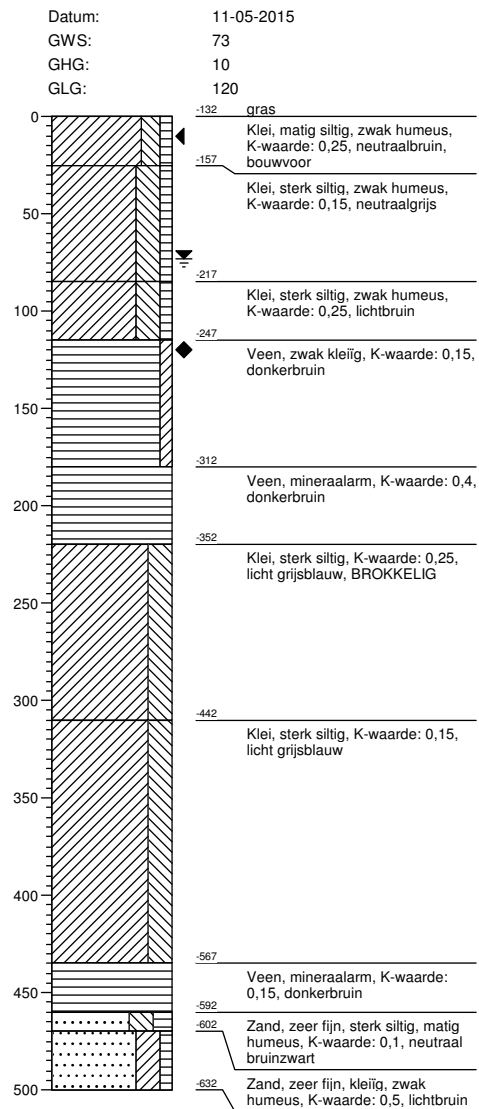
Boring: WL1-B24



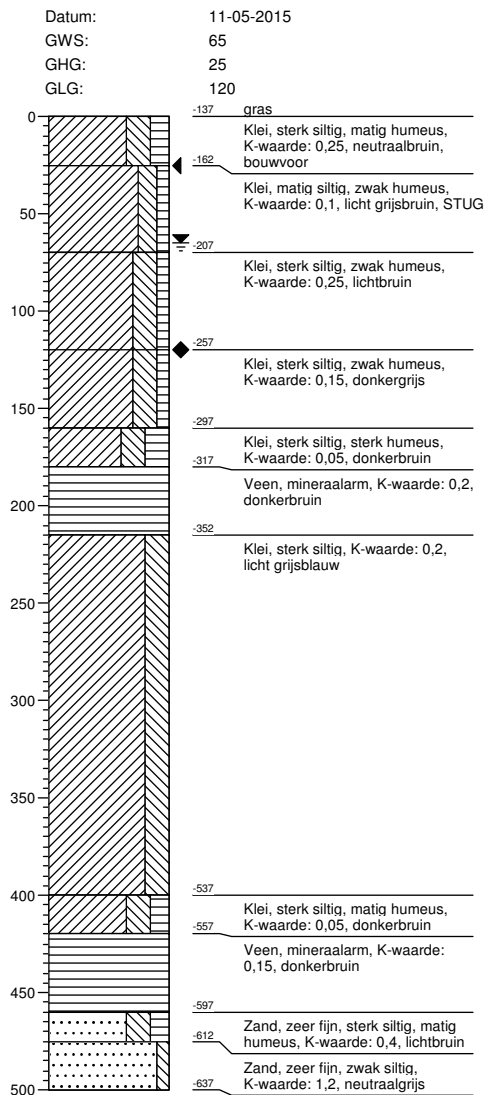
Boring: WL2-B01



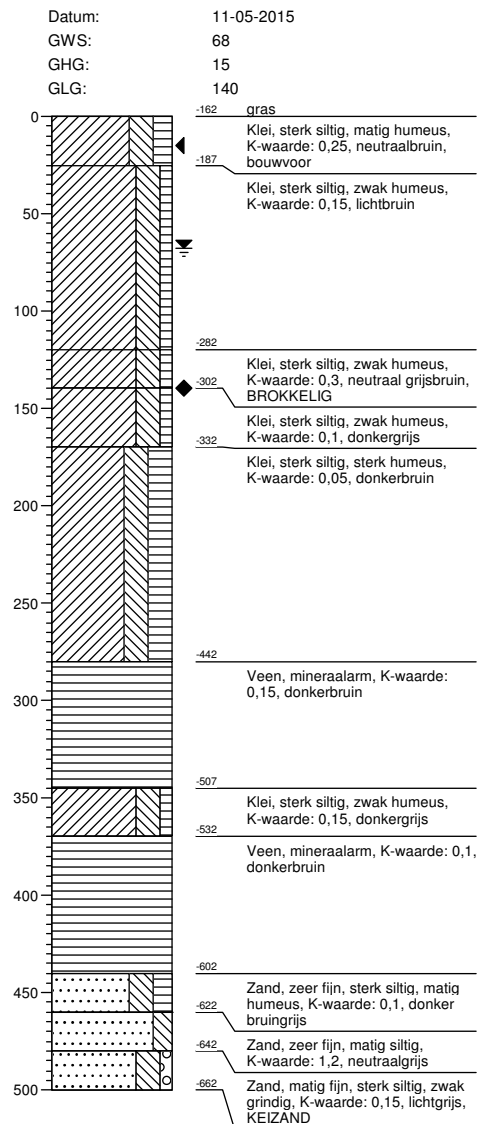
Boring: WL2-B02



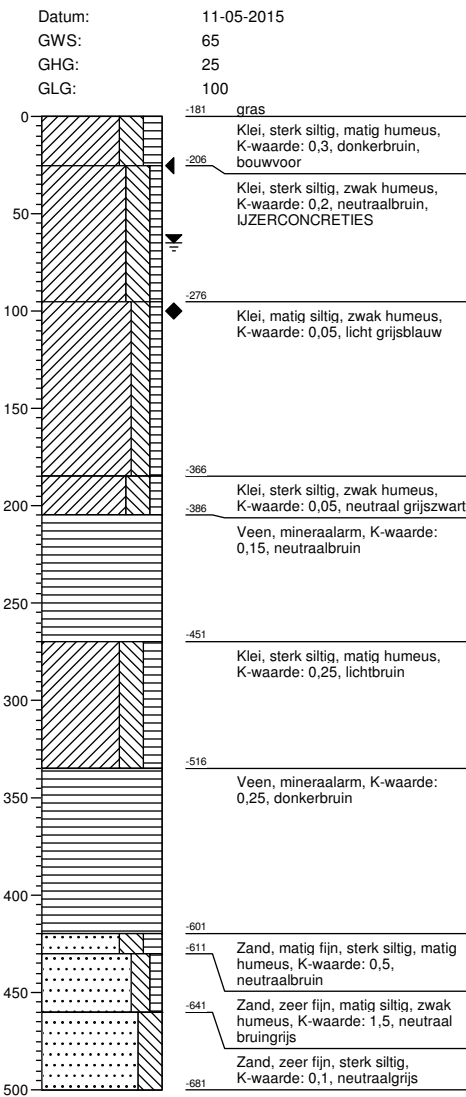
Boring: WL2-B03



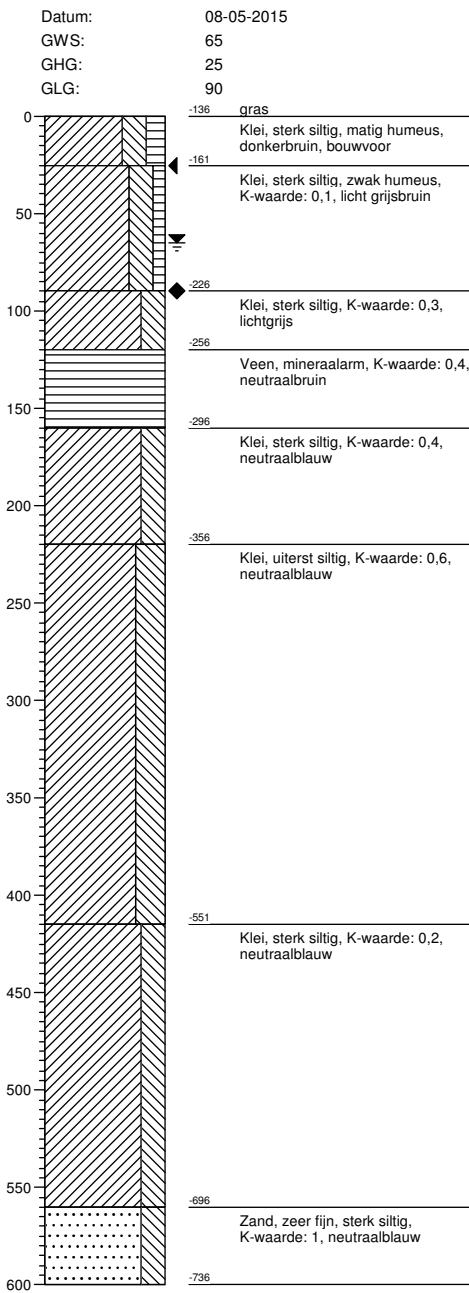
Boring: WL2-B04



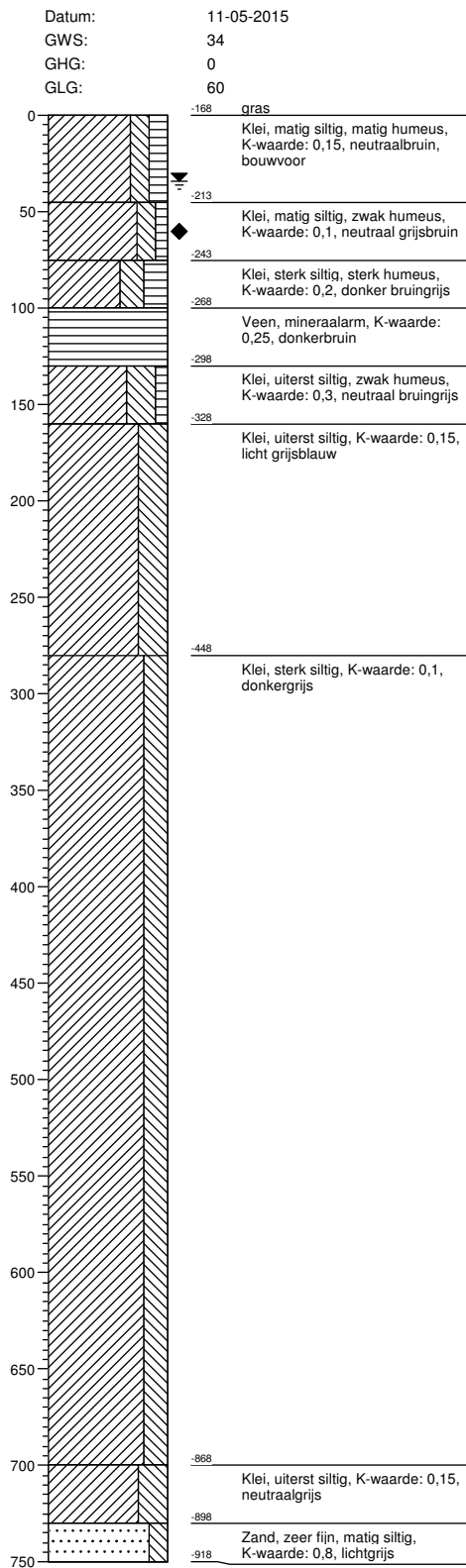
Boring: WL2-B05



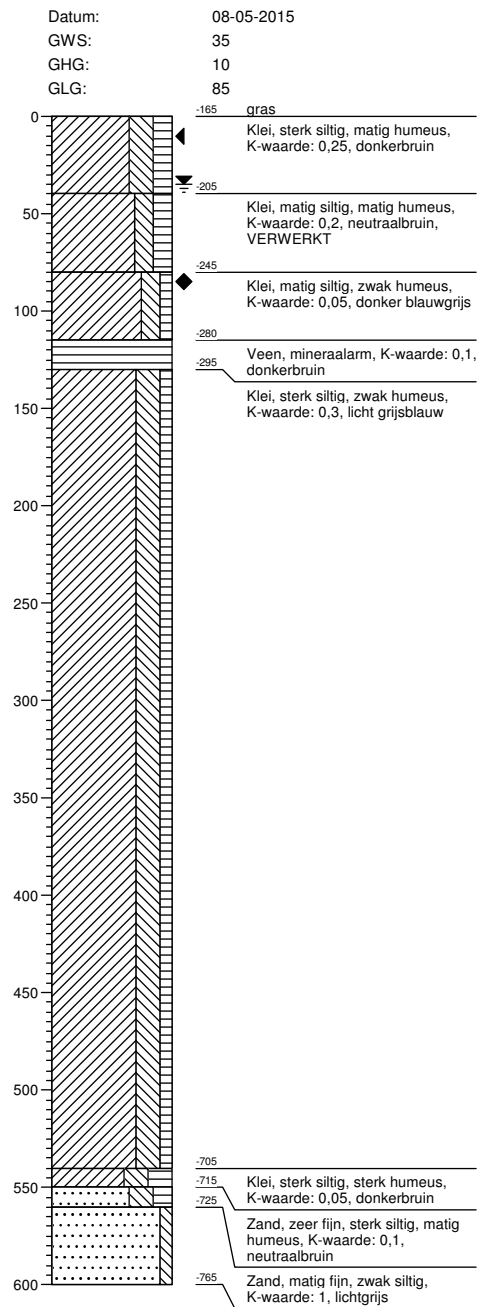
Boring: WL2-B06



Boring: WL2-B07

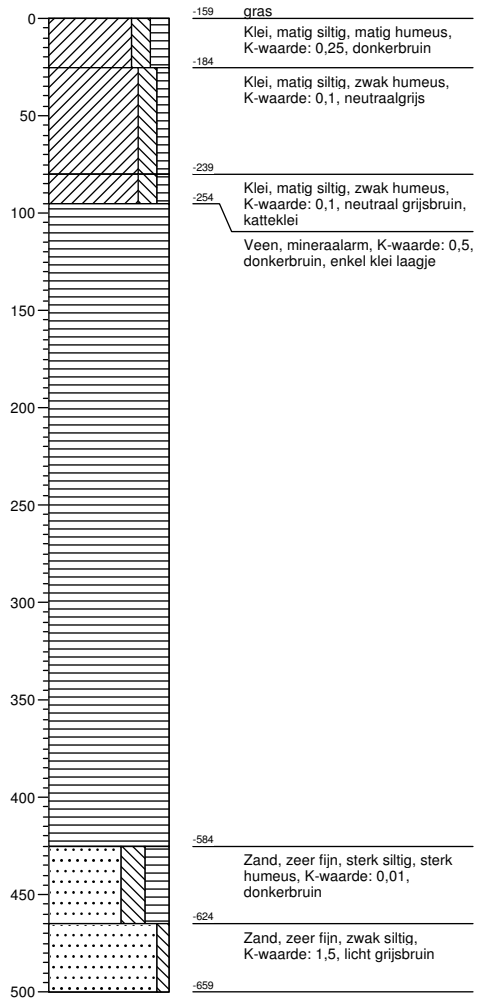


Boring: WL2-B08



Boring: WR-B01

Datum: 08-05-2015



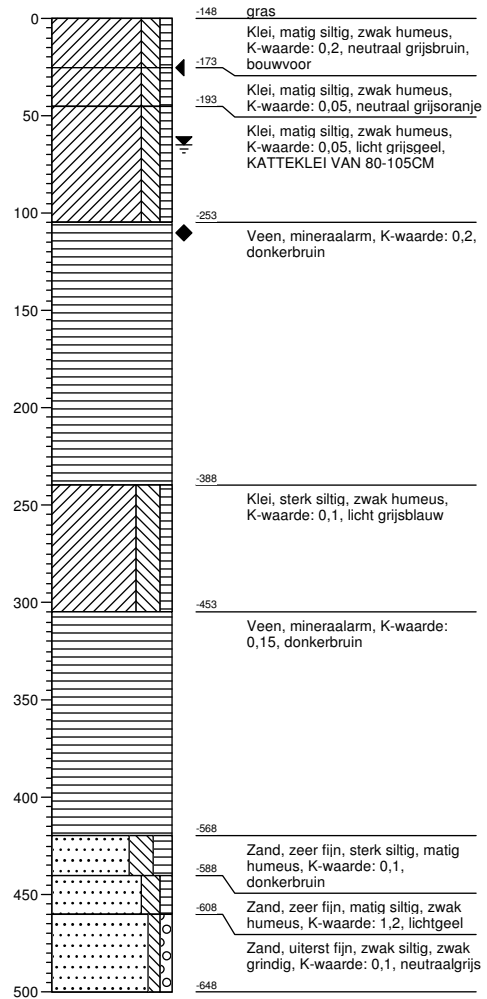
Boring: WR-B02

Datum: 08-05-2015

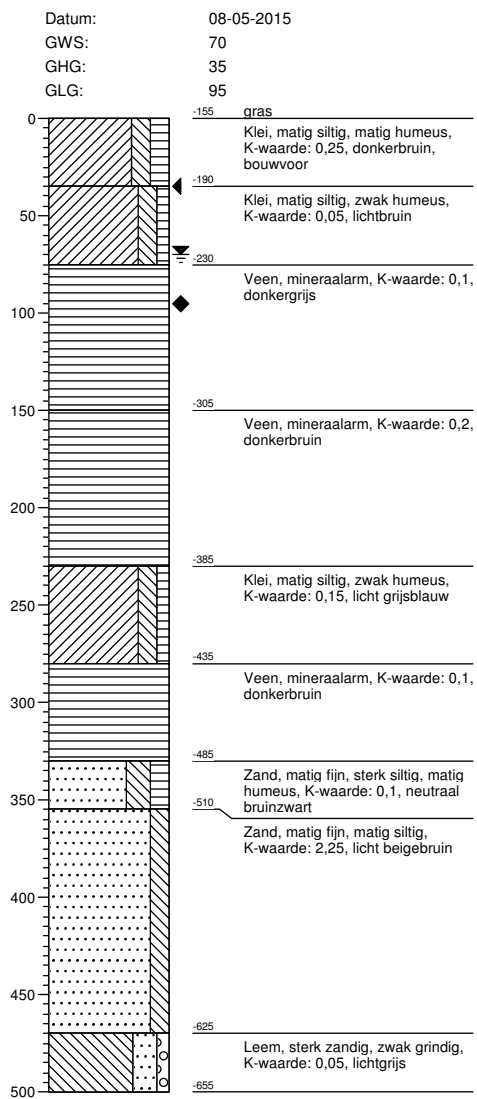
GWS: 65

GHG: 25

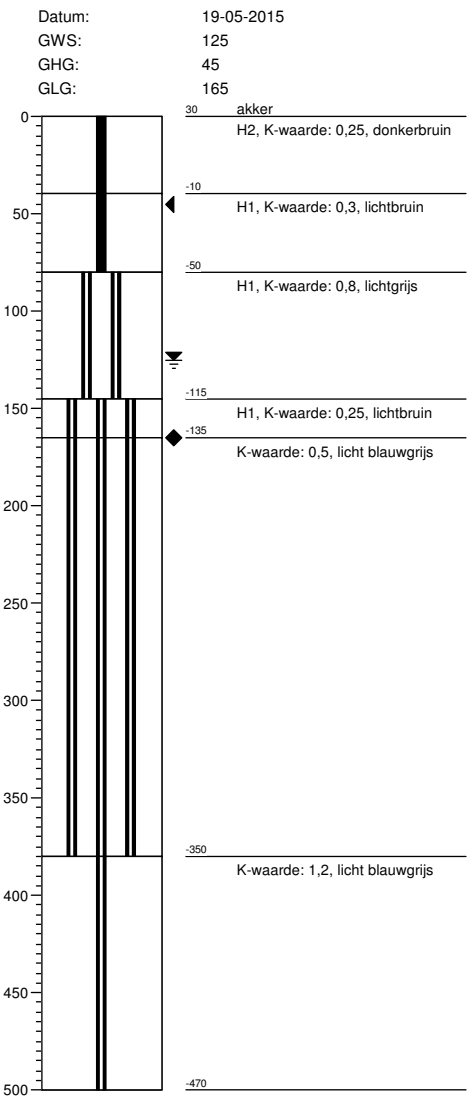
GLG: 110



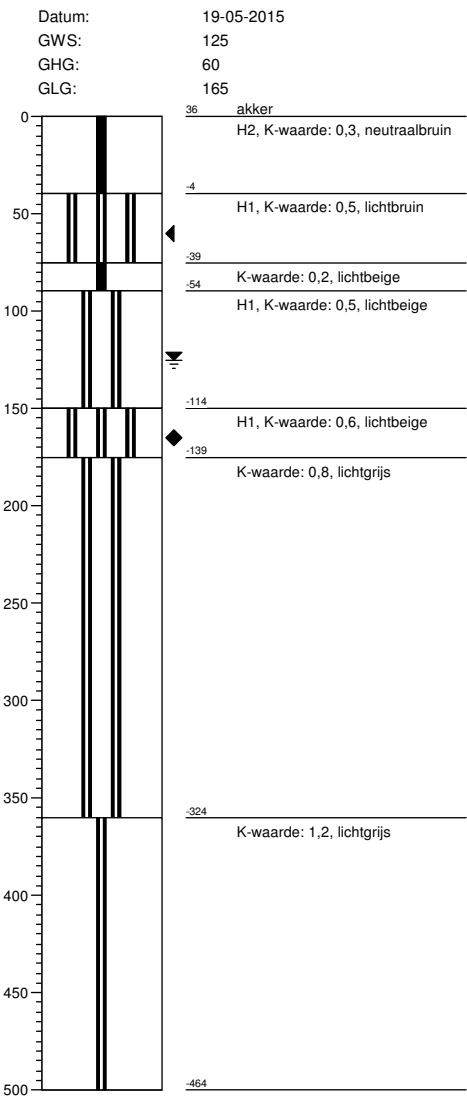
Boring: WR-B03



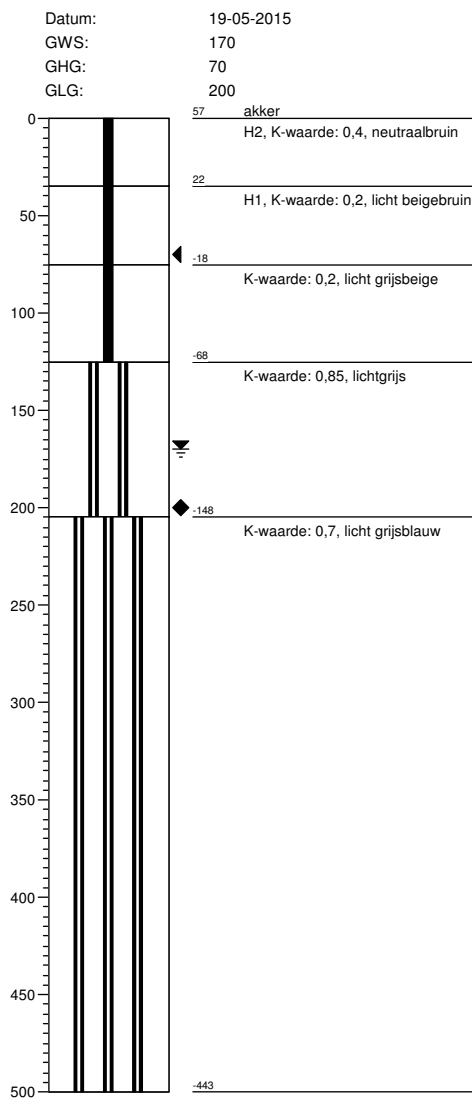
Boring: RL1-B01



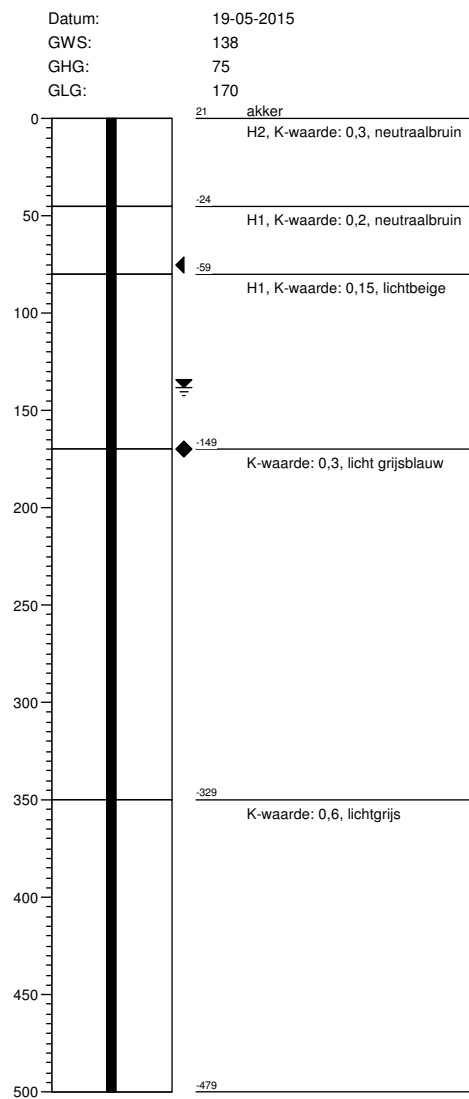
Boring: RL1-B02



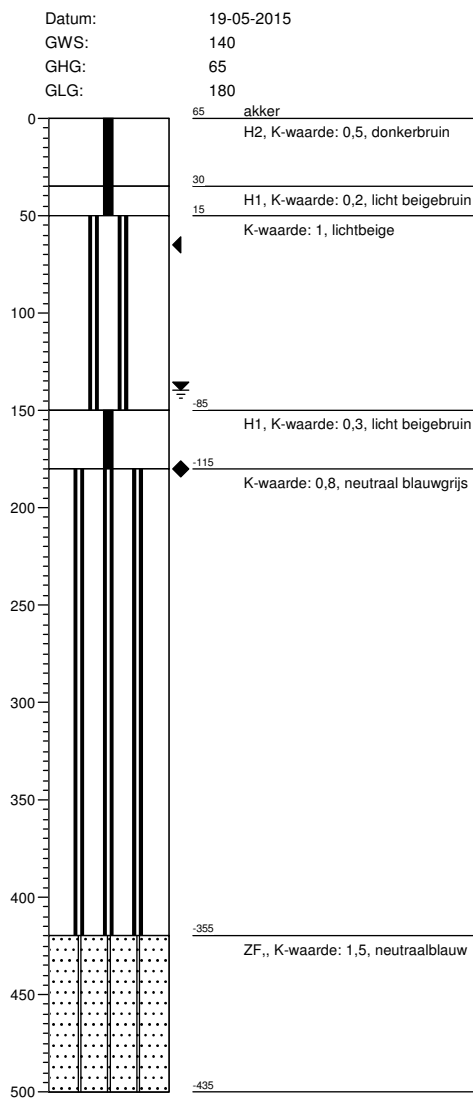
Boring: RL1-B03



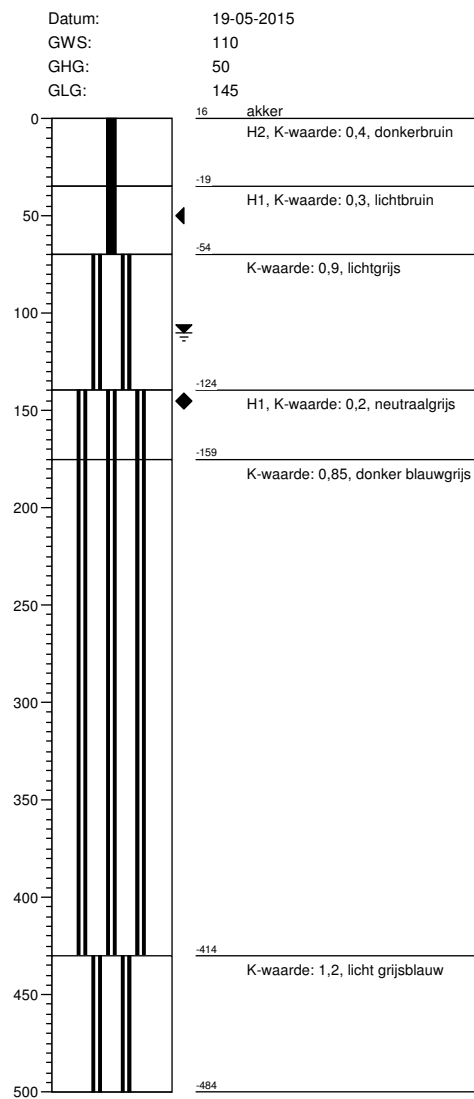
Boring: RL1-B04



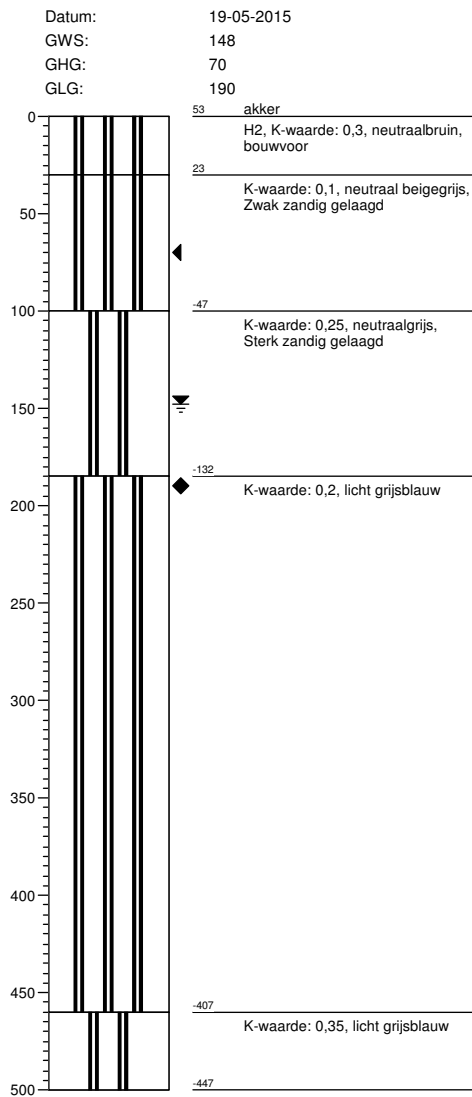
Boring: RL1-B07



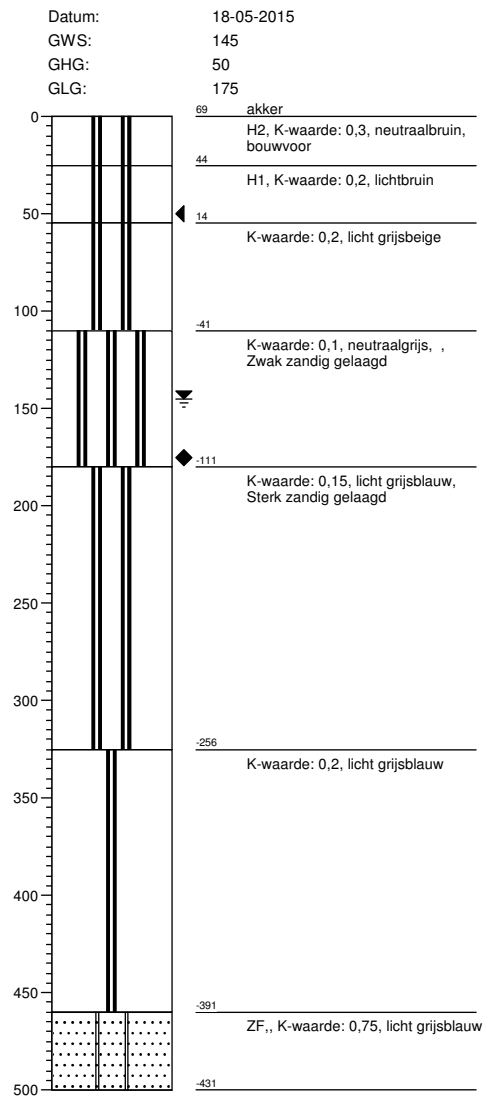
Boring: RL1-B08



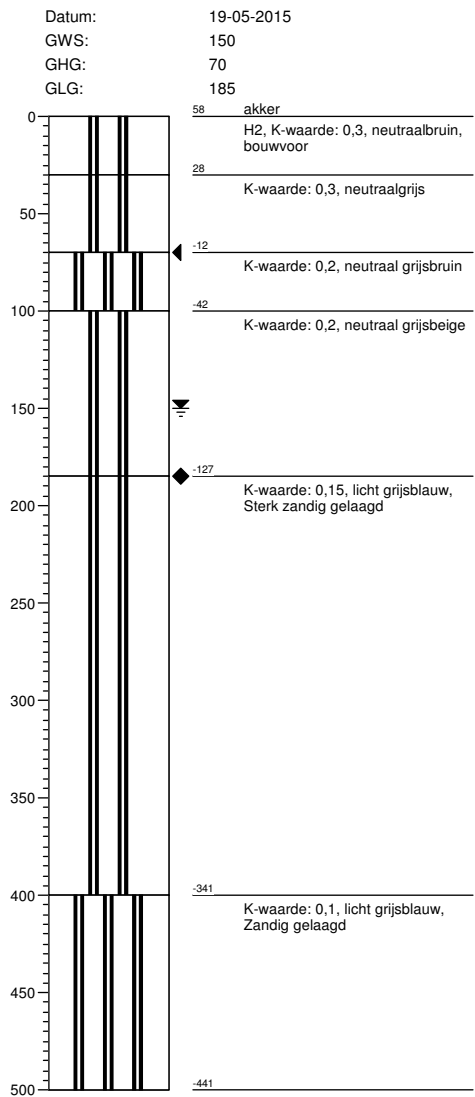
Boring: RL2-B03



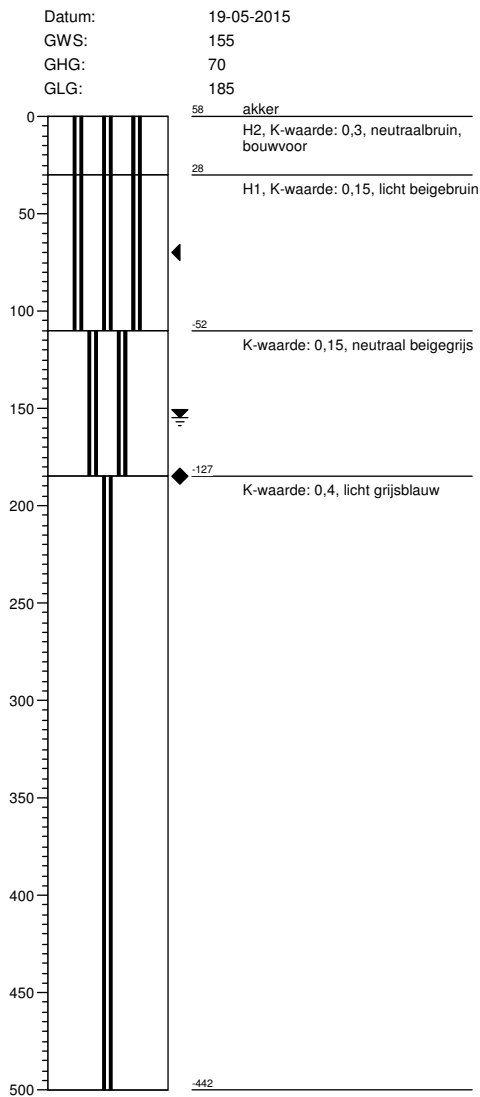
Boring: RL2-B05



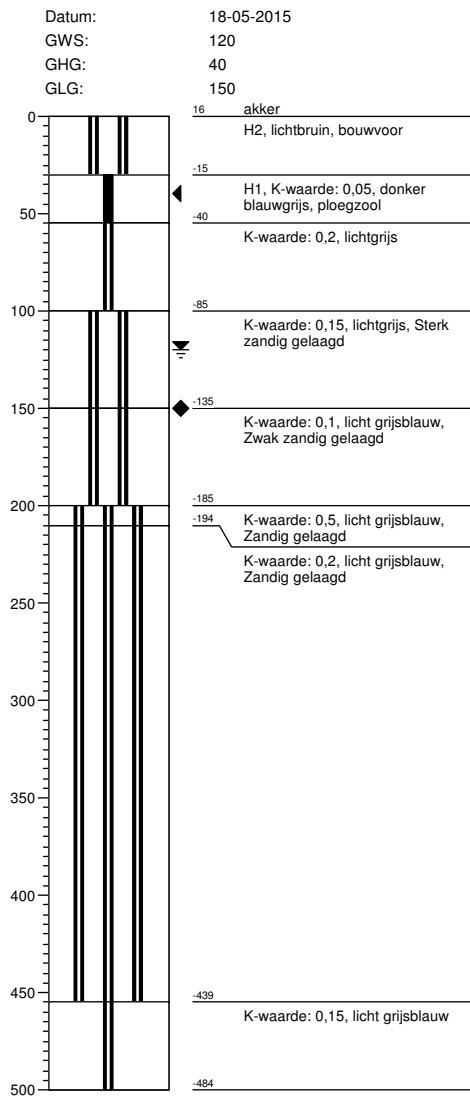
Boring: RL2-B06



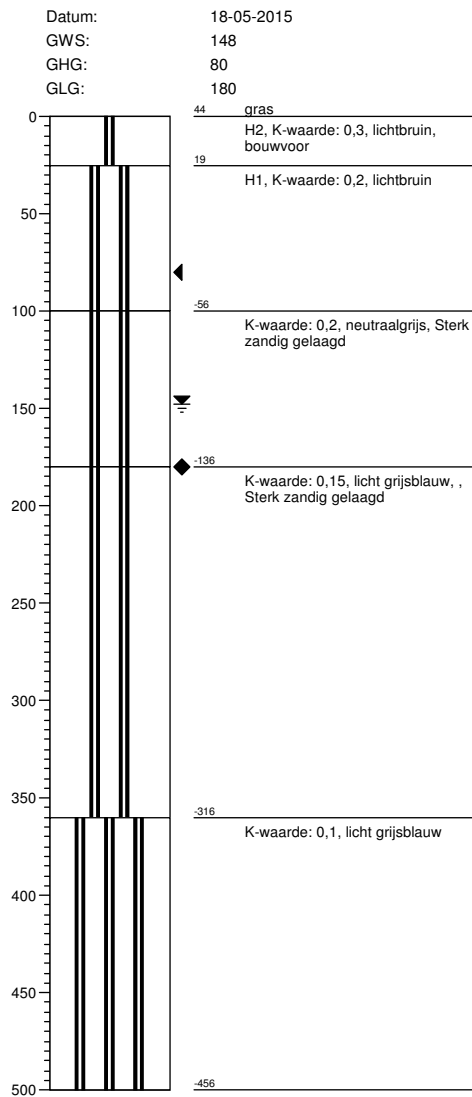
Boring: RL2-B07



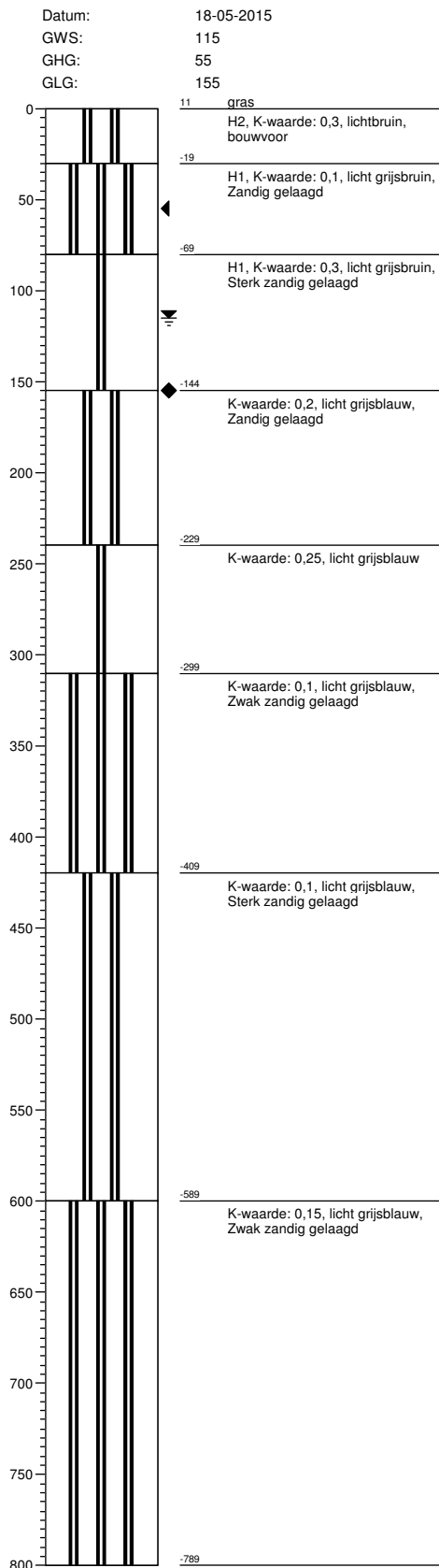
Boring: RL2-B09



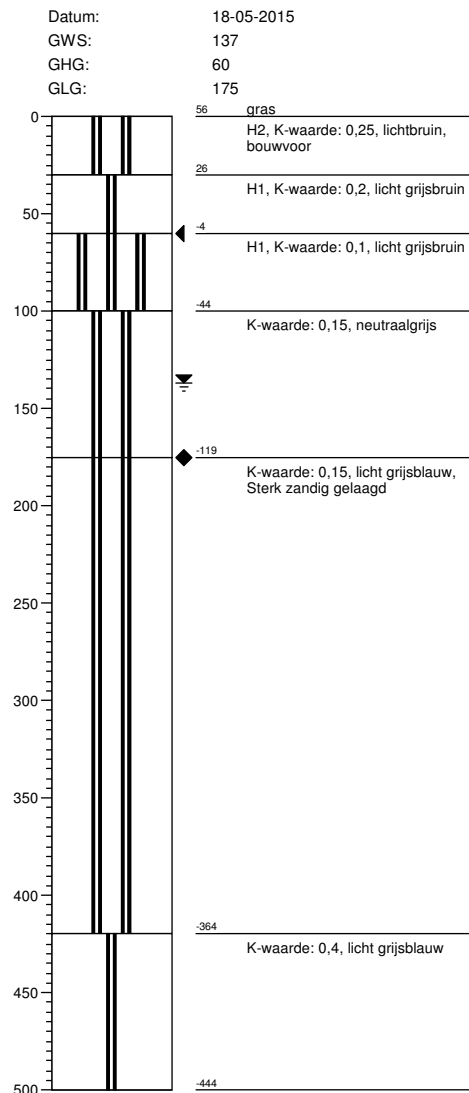
Boring: RL3-B01



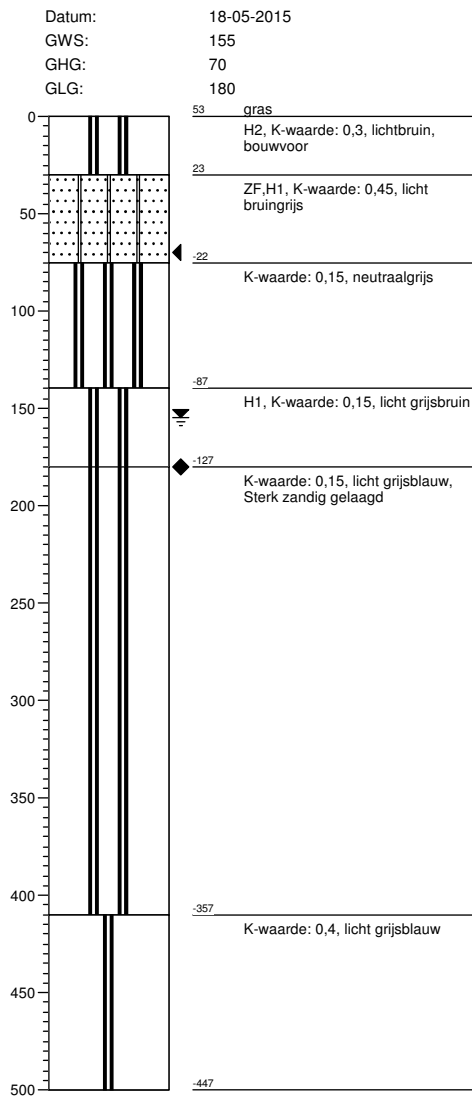
Boring: RL3-B02



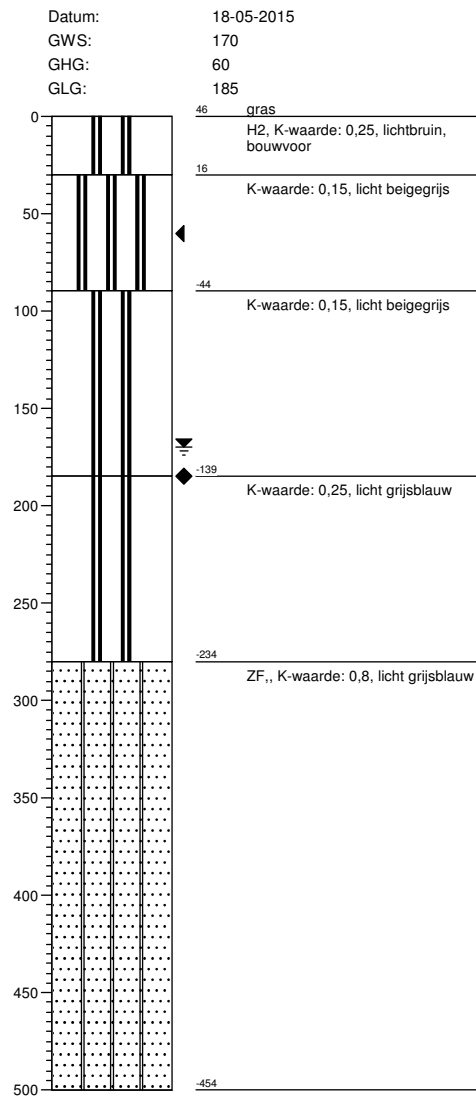
Boring: RL3-B03



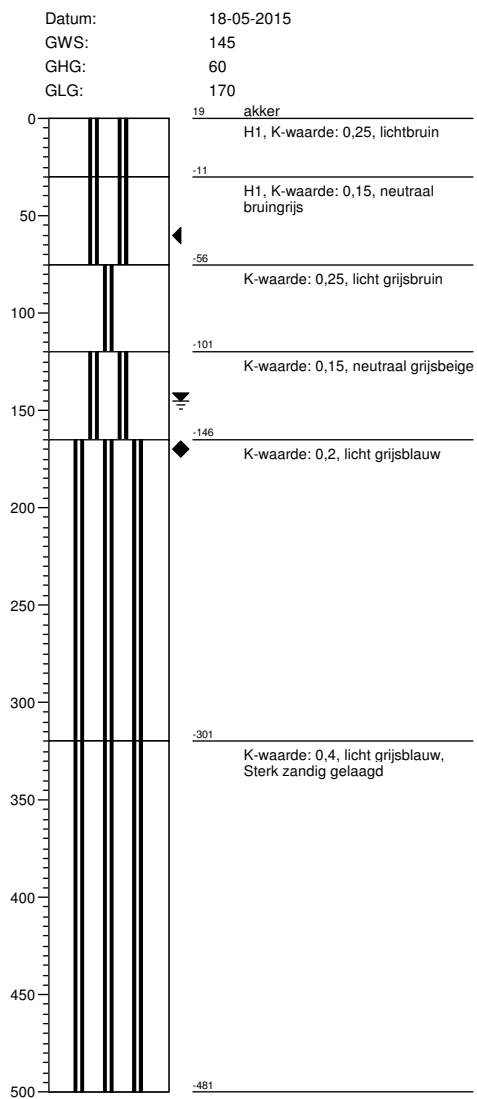
Boring: RL3-B04



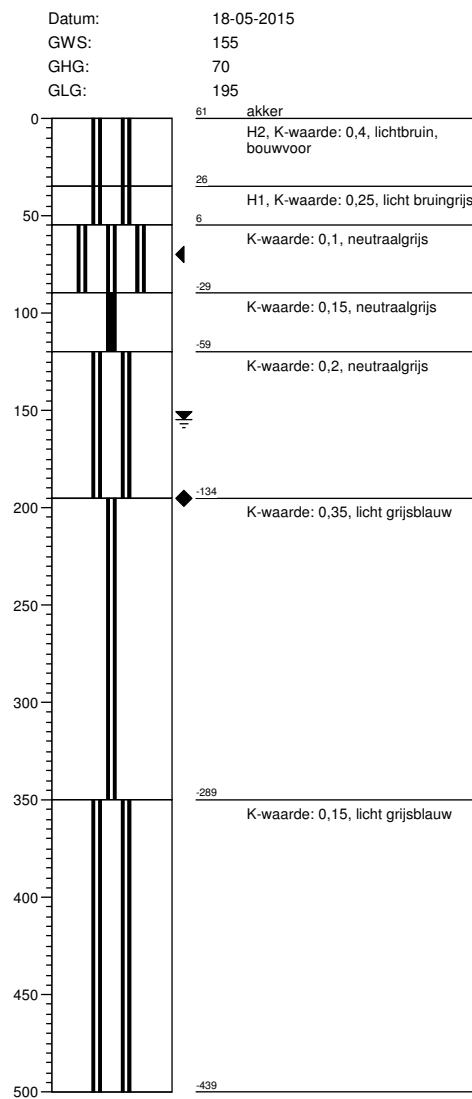
Boring: RR-B04



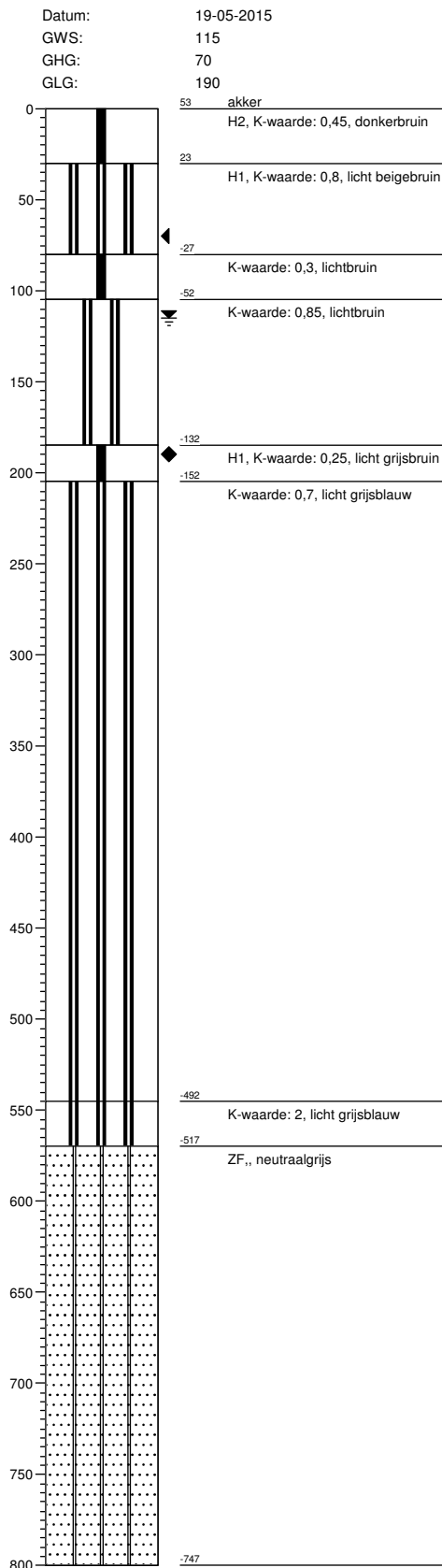
Boring: RR-B05



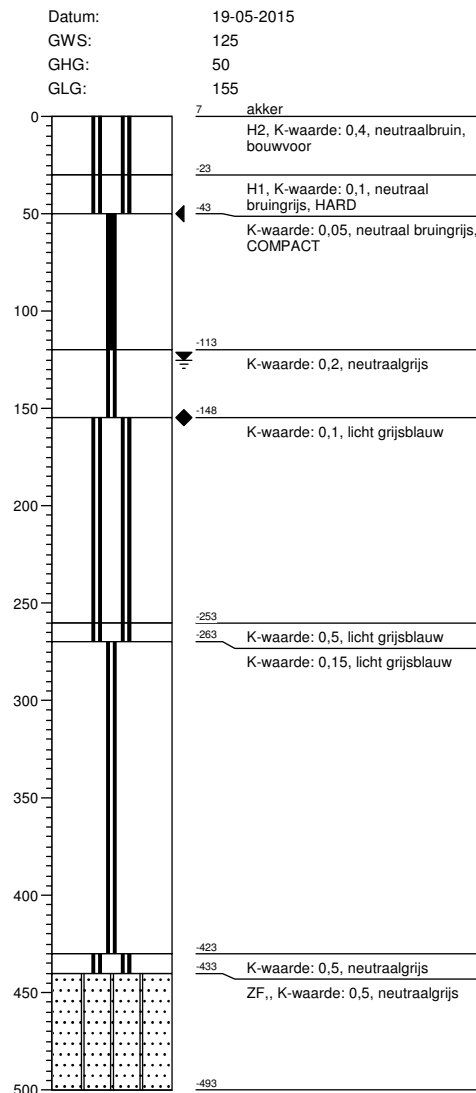
Boring: RR-B06



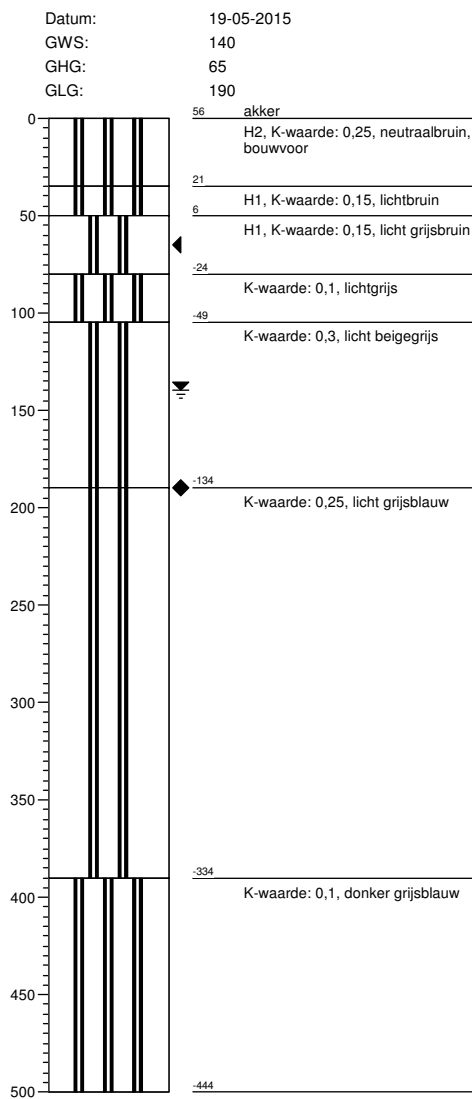
Boring: VRL1-B06



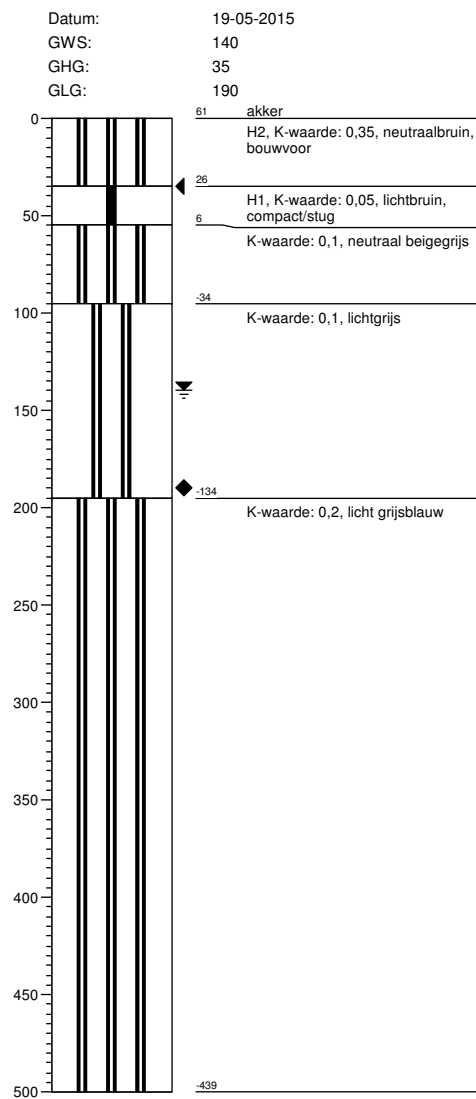
Boring: VRL1-B09



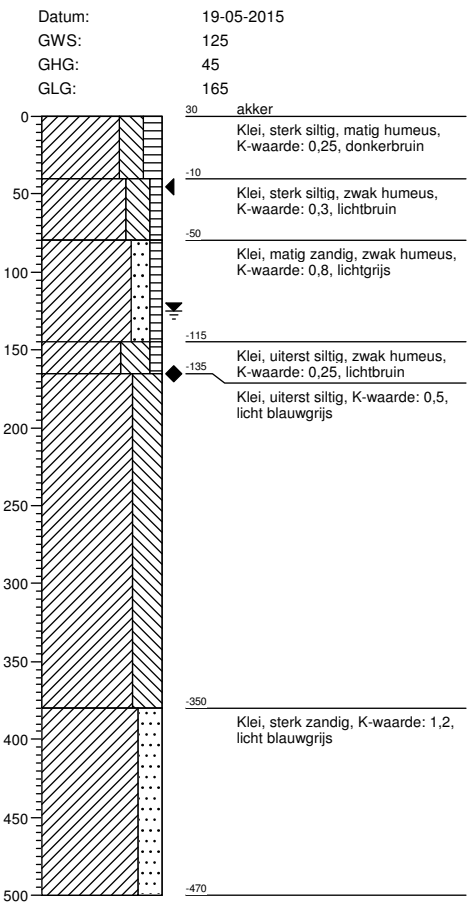
Boring: VRL2-B01



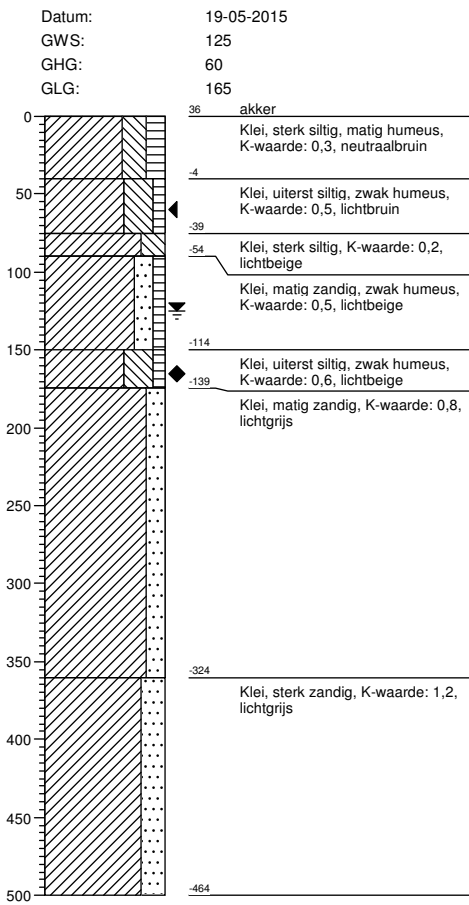
Boring: VRL2-B02



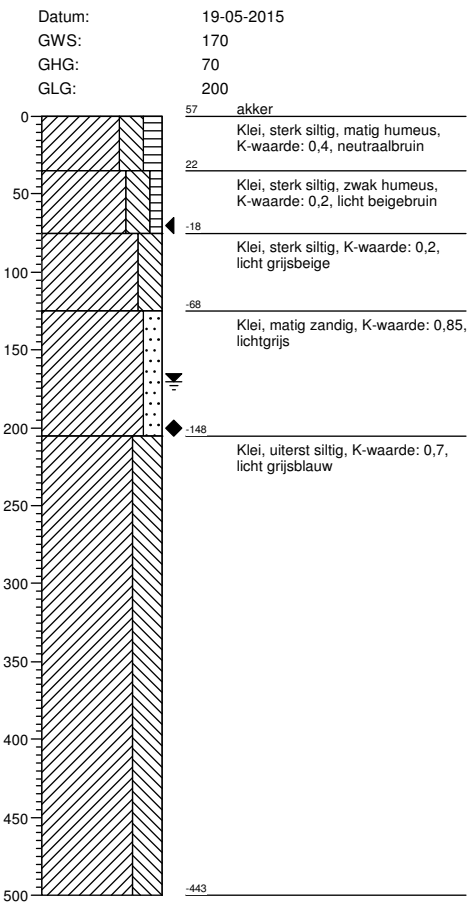
Boring: RL1-B01



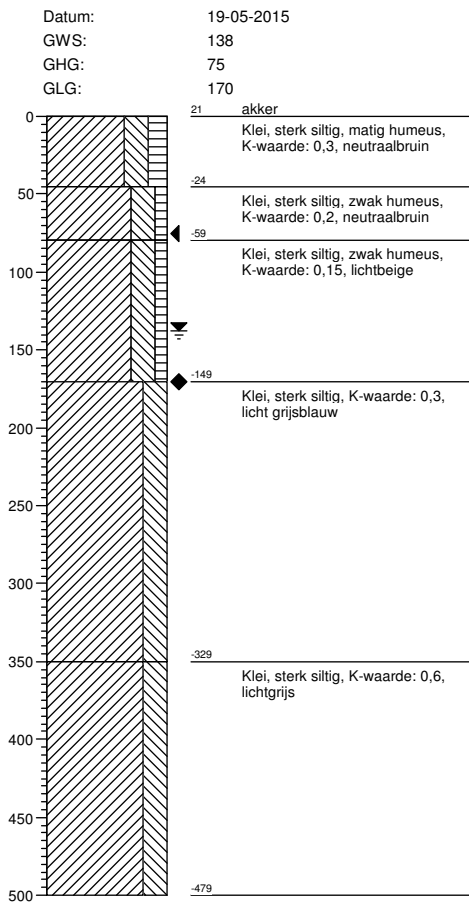
Boring: RL1-B02



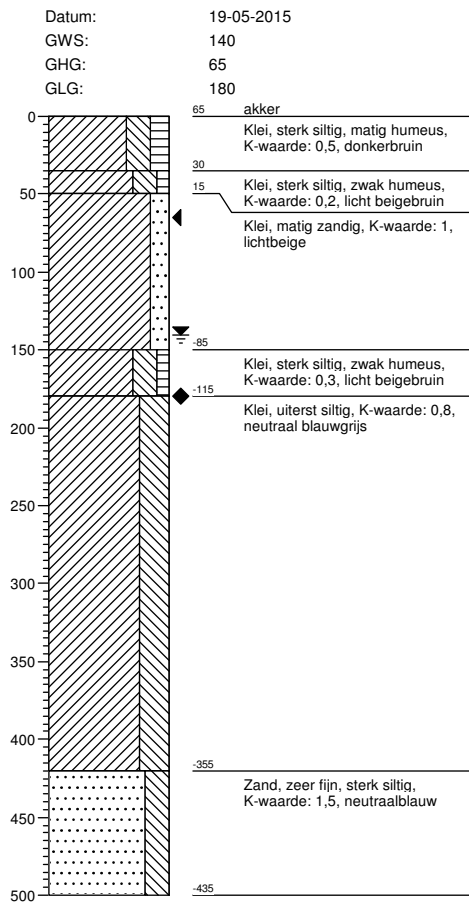
Boring: RL1-B03



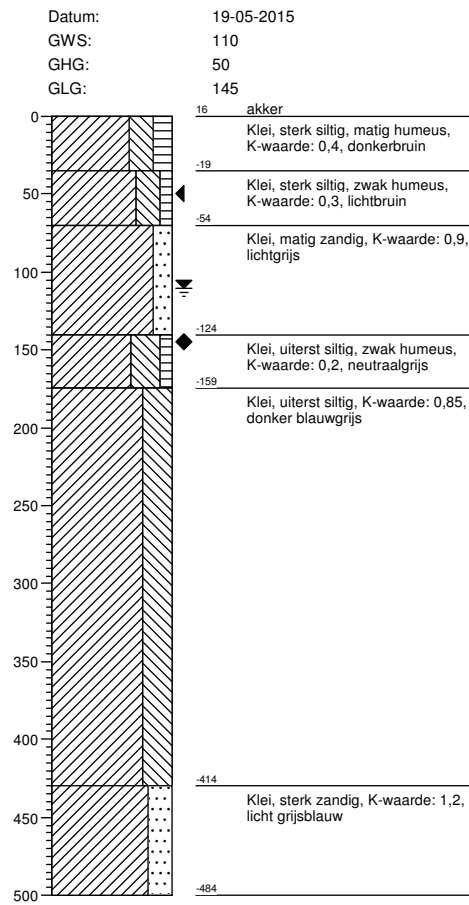
Boring: RL1-B04



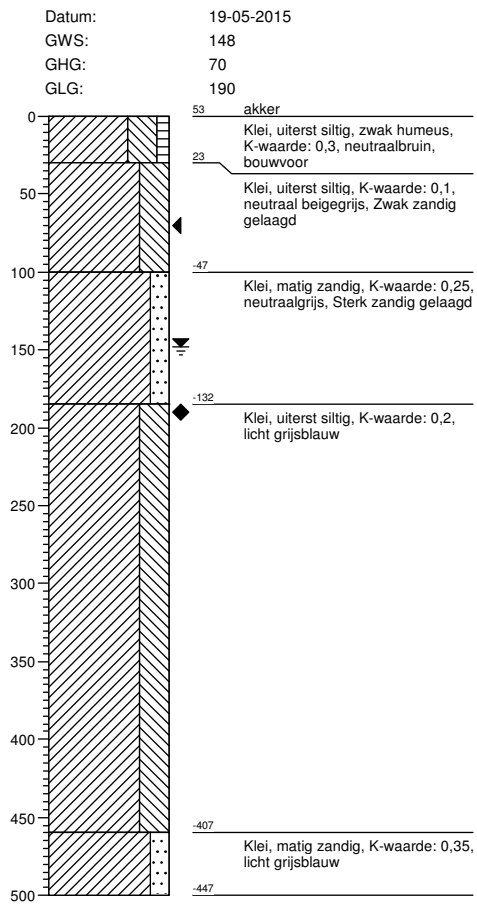
Boring: RL1-B07



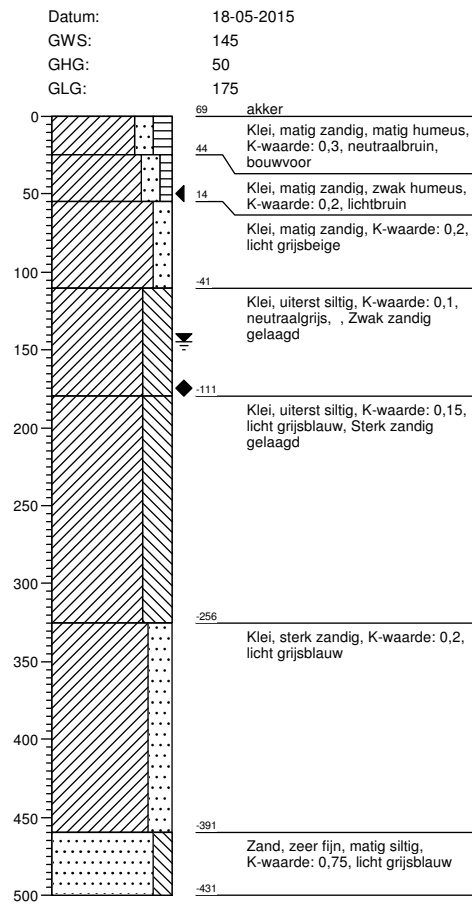
Boring: RL1-B08



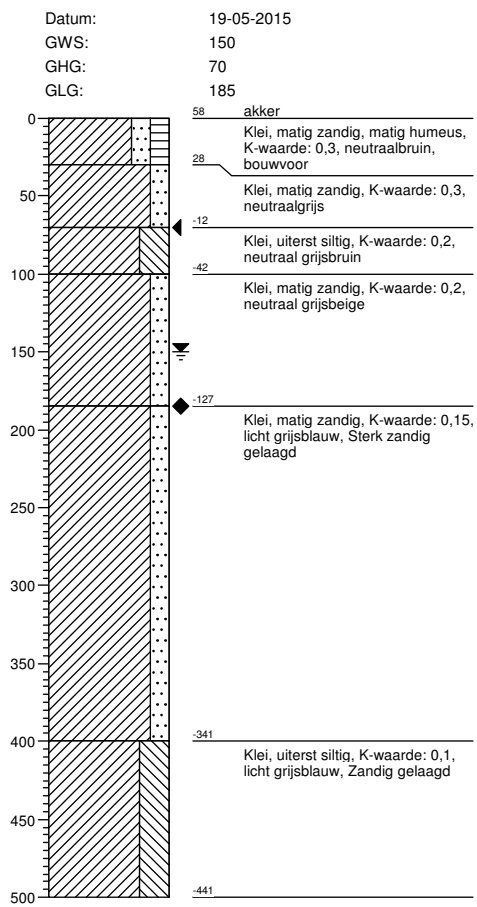
Boring: RL2-B03



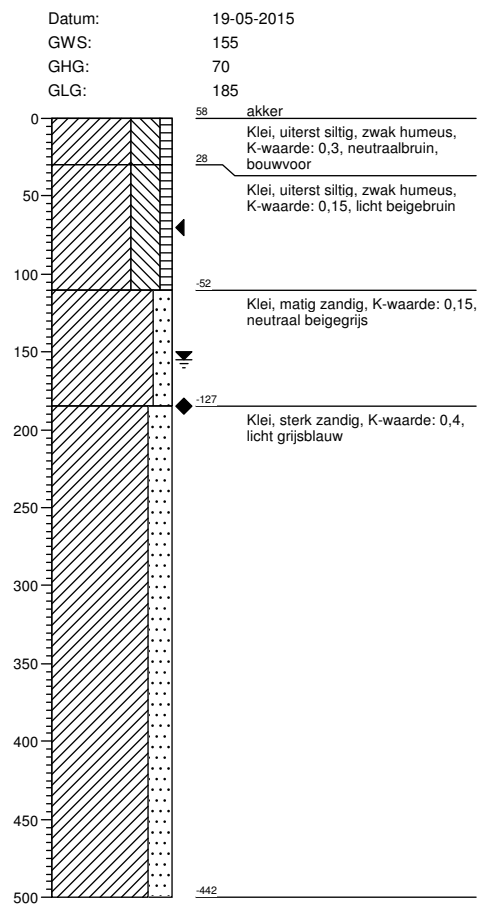
Boring: RL2-B05



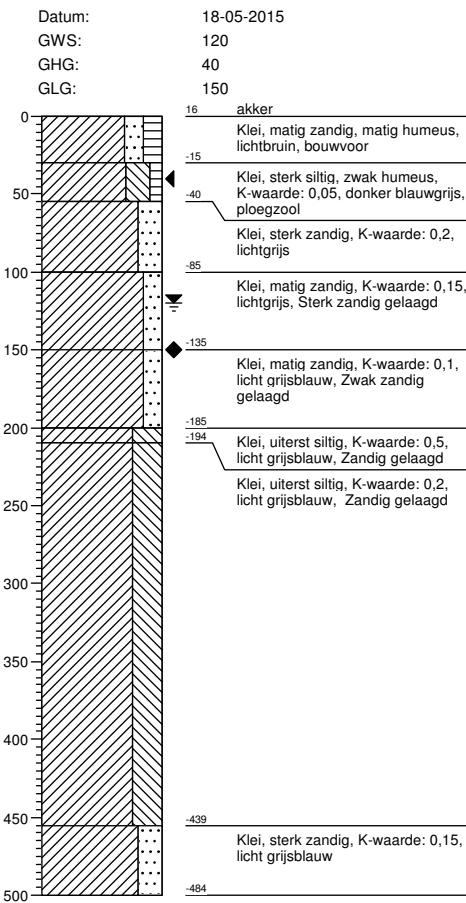
Boring: RL2-B06



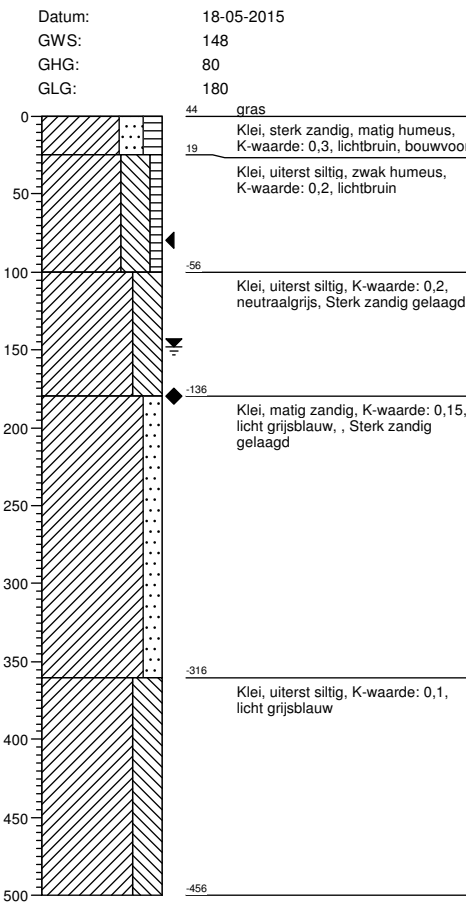
Boring: RL2-B07



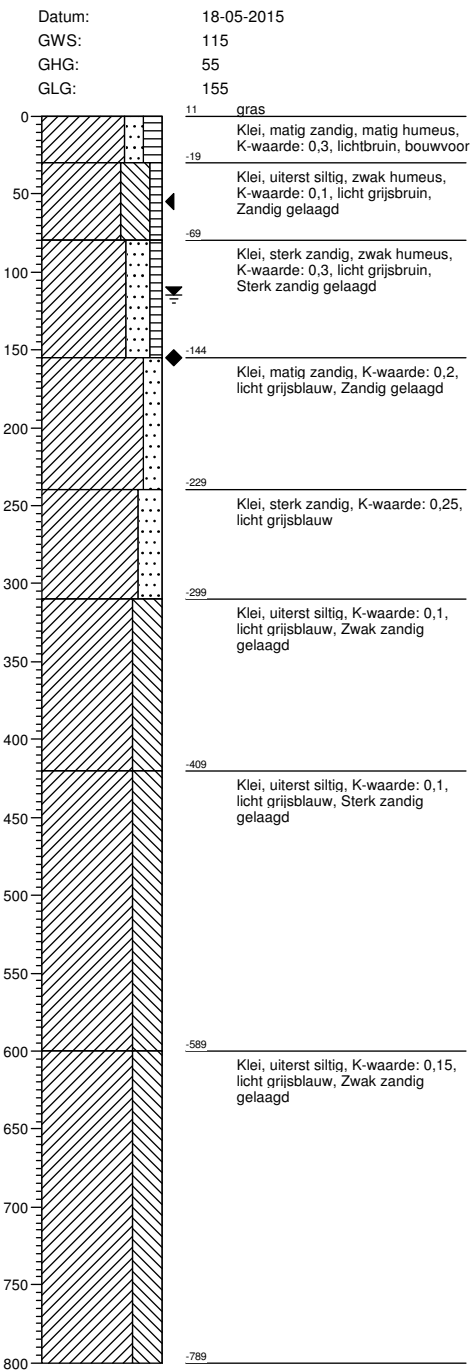
Boring: RL2-B09



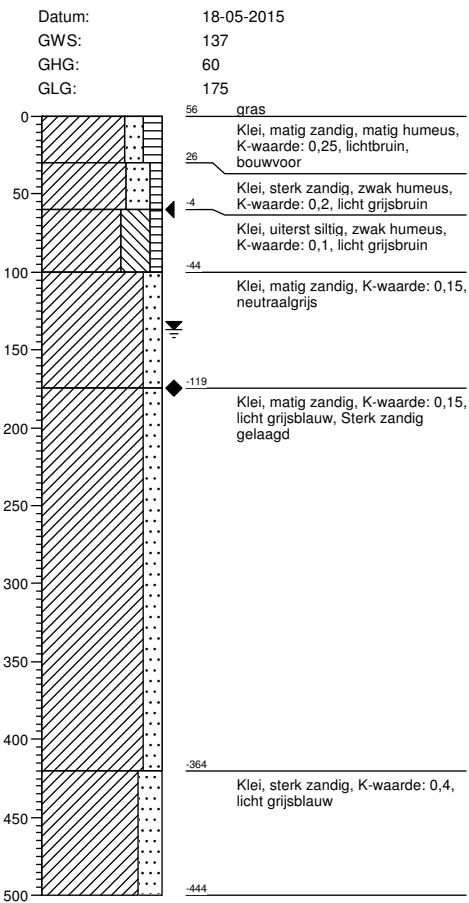
Boring: RL3-B01



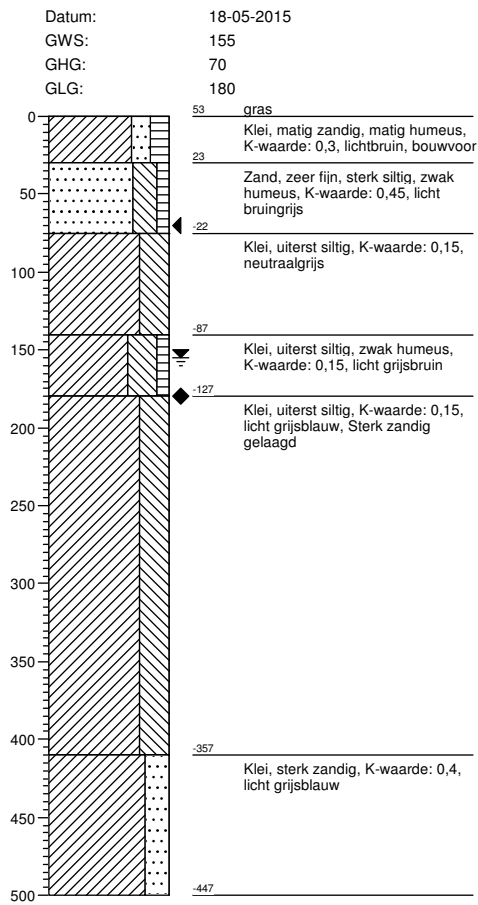
Boring: RL3-B02



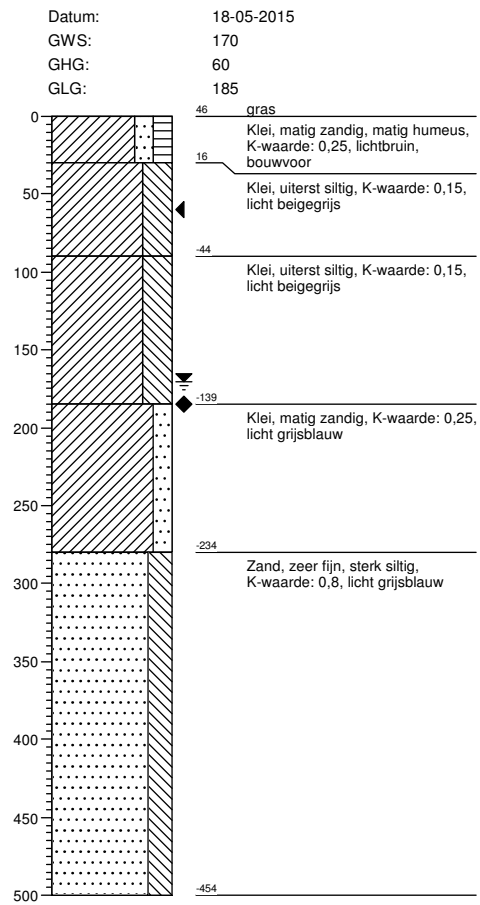
Boring: RL3-B03



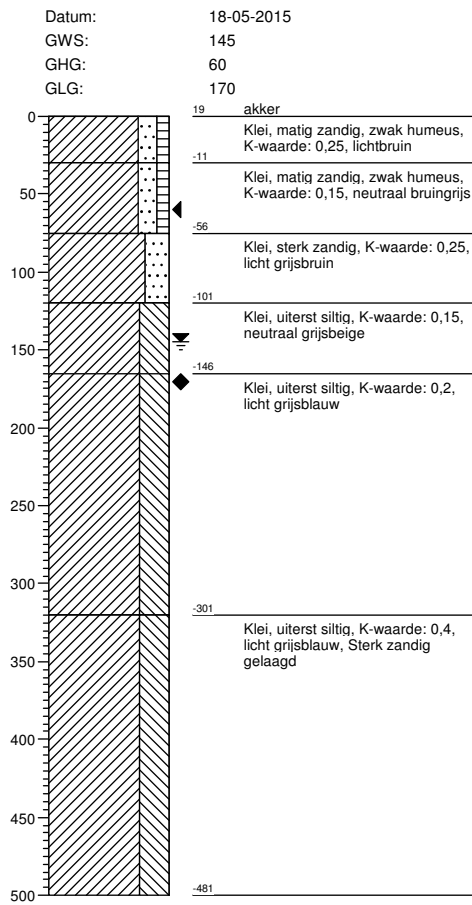
Boring: RL3-B04



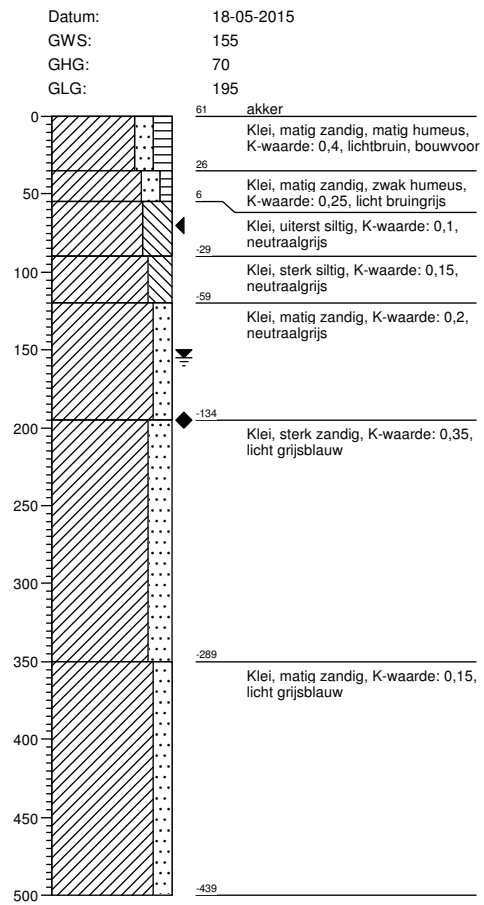
Boring: RR-B04



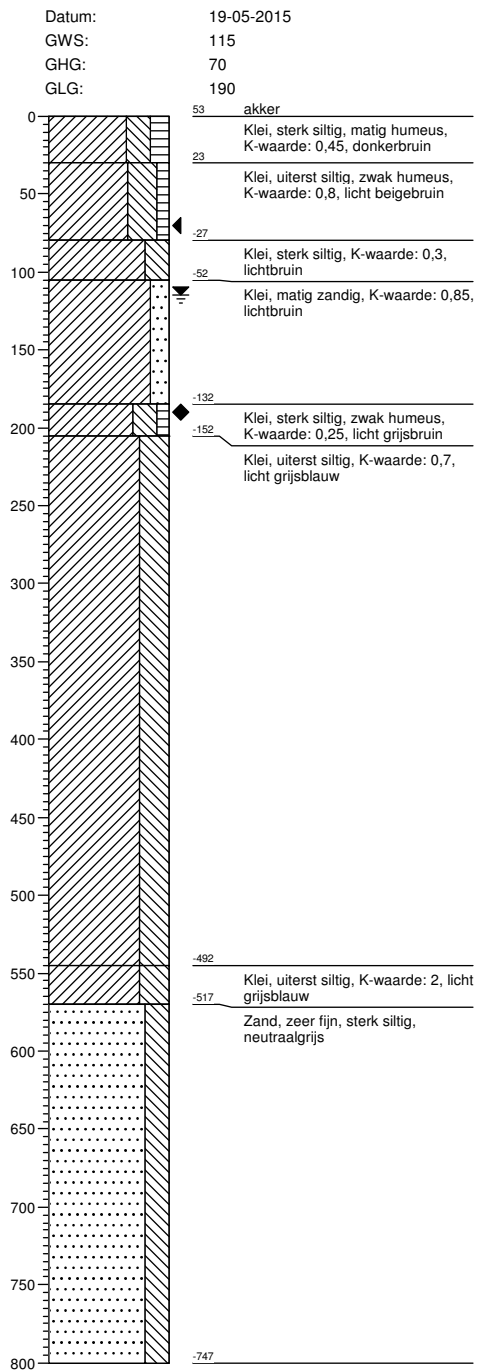
Boring: RR-B05



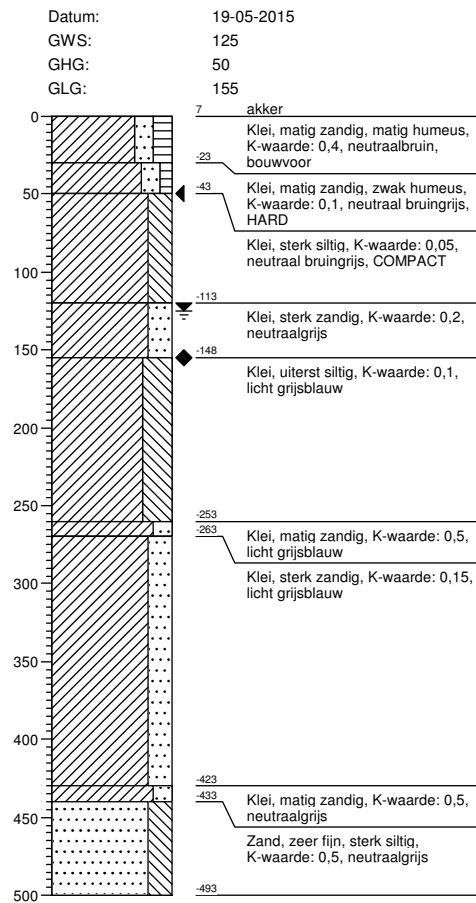
Boring: RR-B06



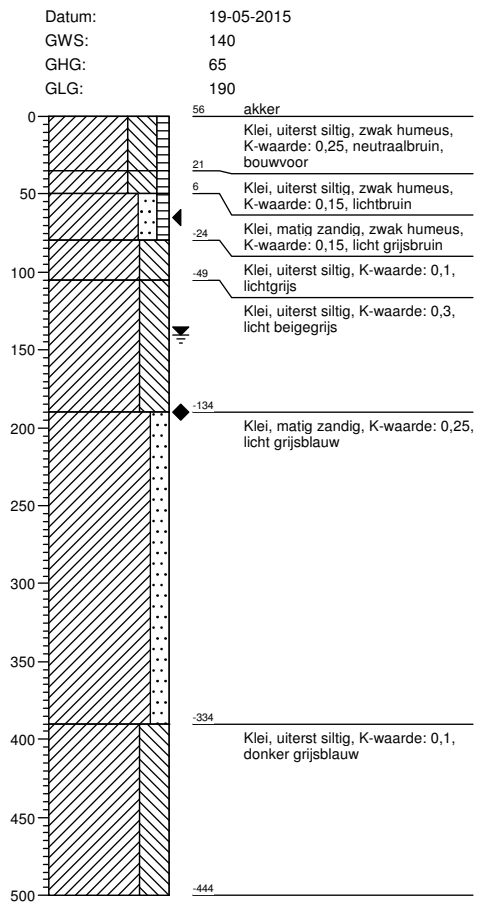
Boring: VRL1-B06



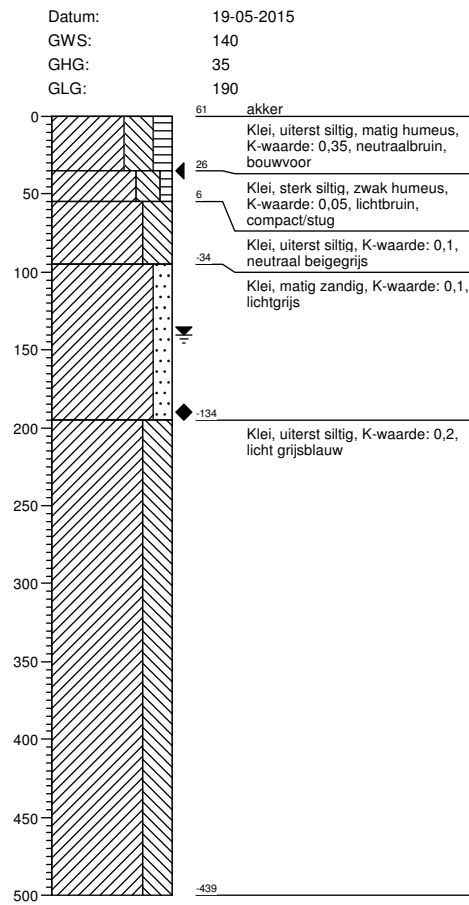
Boring: VRL1-B09



Boring: VRL2-B01



Boring: VRL2-B02



Legenda

Minerale sedimenten

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

	zeer kleiarm zand (0 - 3% lutum)
	matig kleiarm zand (3 - 5% lutum)
	kleiig zand (5 - 8% lutum)
	zeer lichte zavel (8 - 12% lutum)
	matig lichte zavel (12 - 18% lutum)
	zware zavel (18 - 25% lutum)
	lichte klei (25 - 35% lutum)
	matig zware klei (35 - 50% lutum)
	zeer zware klei (meer dan 50% lutum)

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

	zeer leemarm zand (0 - 5% leem)
	matig leemarm zand (5 - 10% leem)
	zwak lemig zand (10 - 18% leem)
	sterk lemig zand (18 - 33% leem)
	zeer sterk lemig zand (33 - 50% leem)
	zandige leem (50 - 85% leem)
	siltige leem (meer dan 85% leem)

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

Veen

	veen
	kleiig veen
	zandig veen

monsters

- geroerd monster
- ongeroerd monster

Aanduidingen (gebruikt in combinatie met bovenstaande indeling)

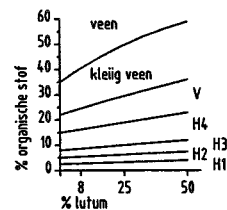
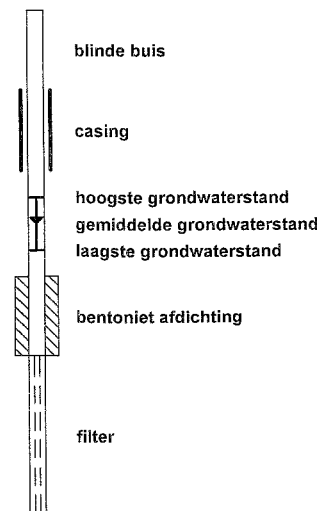
Indeling van zand naar korrelgrootte

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



overig

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

Legenda (conform NEN 5104)

grind

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

zand

	Zand, kleiig
	Zand, zwak siltig
	Zand, matig siltig
	Zand, sterk siltig
	Zand, uiterst siltig

veen

	Veen, mineraalarm
	Veen, zwak kleiig
	Veen, sterk kleiig
	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

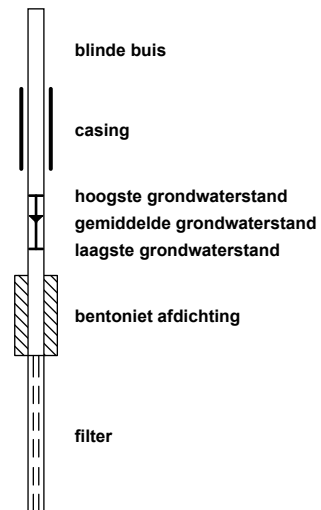
	geroerd monster
	ongeroid monster

overig

	bijzonder bestanddeel
	Gemiddeld hoogste grondwaterstand
	grondwaterstand
	Gemiddeld laagste grondwaterstand

	slib
	water

peilbuis



Bijlage 4

Foto's pilotlocaties



Foto 1 Noordzijde perceel 1a



Foto 2 Sloot tussen perceel 1 a en 1b



Foto 3 Pitrus in perceel 1a



Foto 4 Open graszode perceel 1a



Foto 5 Perceel 1b achter de boerderij



Foto 6 Perceel 1b achter en doorlopend naast de boerderij



Foto 7 Open graszode perceel 2



Foto 8 Perceel 2 – noordoostelijk gelegen sloot



Foto 1 Perceel 1 (gerst)



Foto 2 Perceel 1 (gerst)



Foto 3 Perceel 2 (achter boerderij)



Foto 4 Perceel 2



Foto 5 Perceel 3 Grasland (referentie)



Foto 6 Uitvoering boring op perceel 3 (referentie)



Foto 7 Uitvoering boring in perceel 4 (referentie)



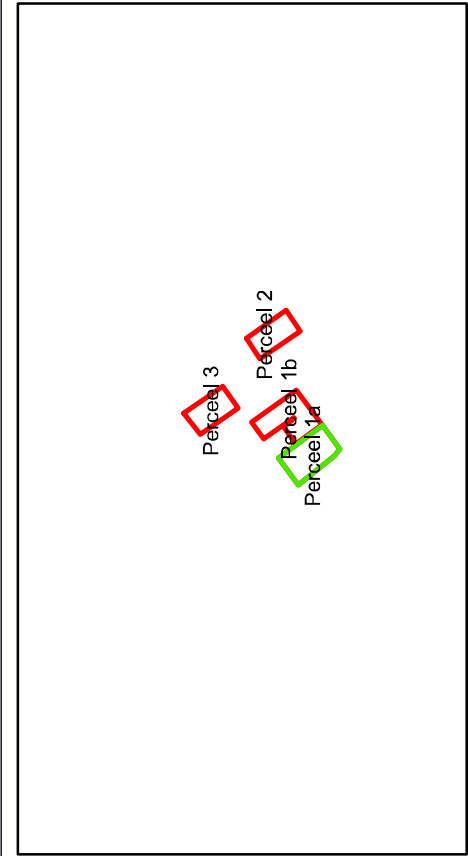
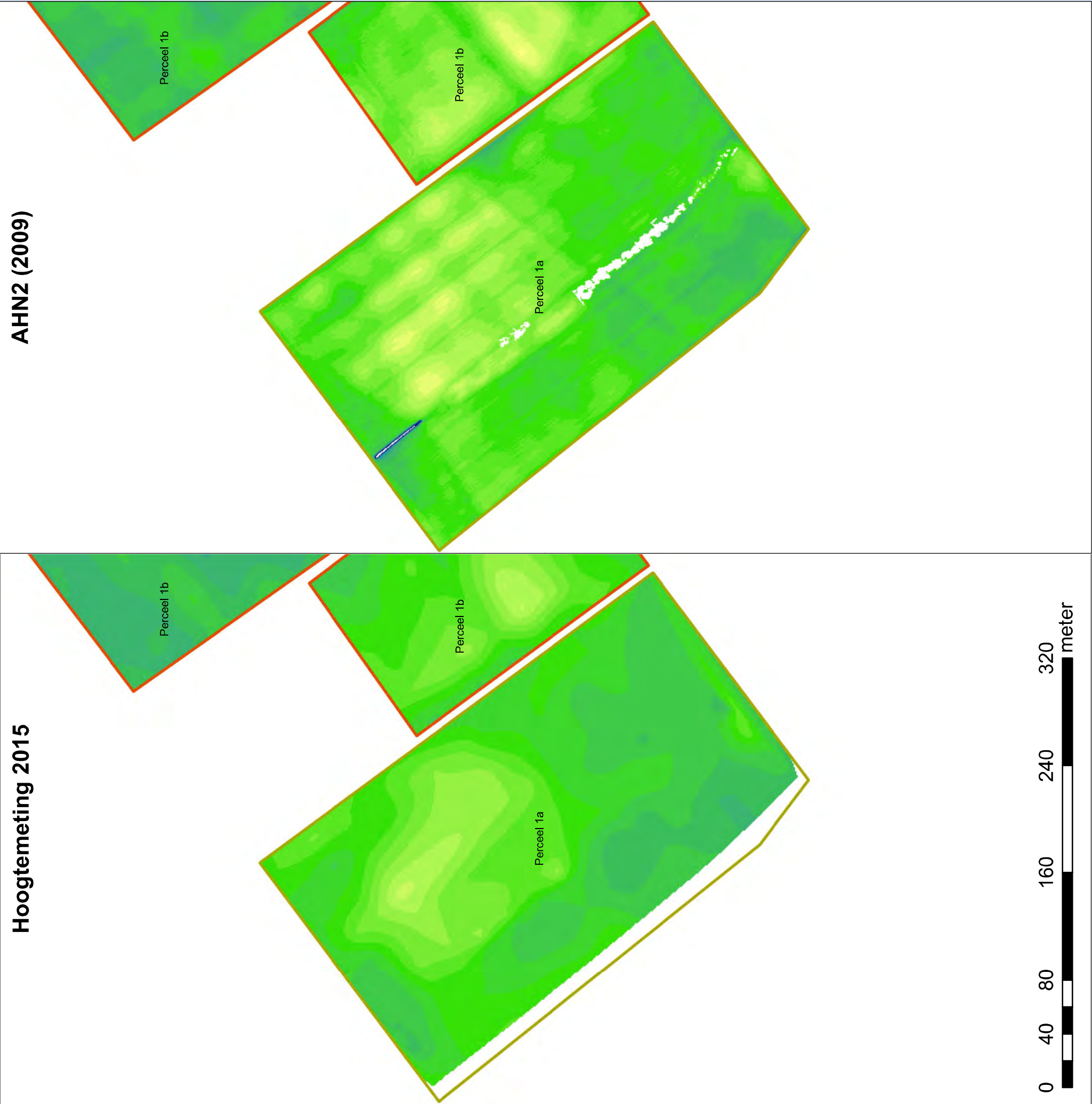
Foto 8 Perceel 4 - graan

Bijlage 5

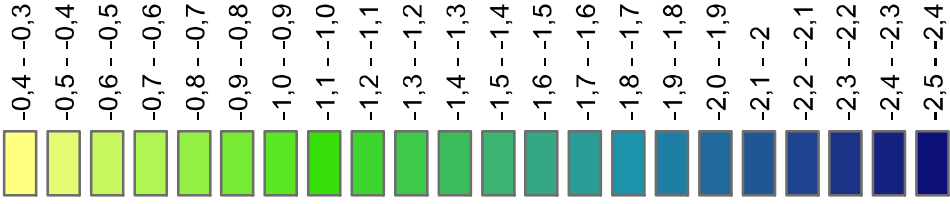
Geïnterpoleerde hoogtekarten locatie pilot 1

Hoogtemeting 2015

AHN2 (2009)

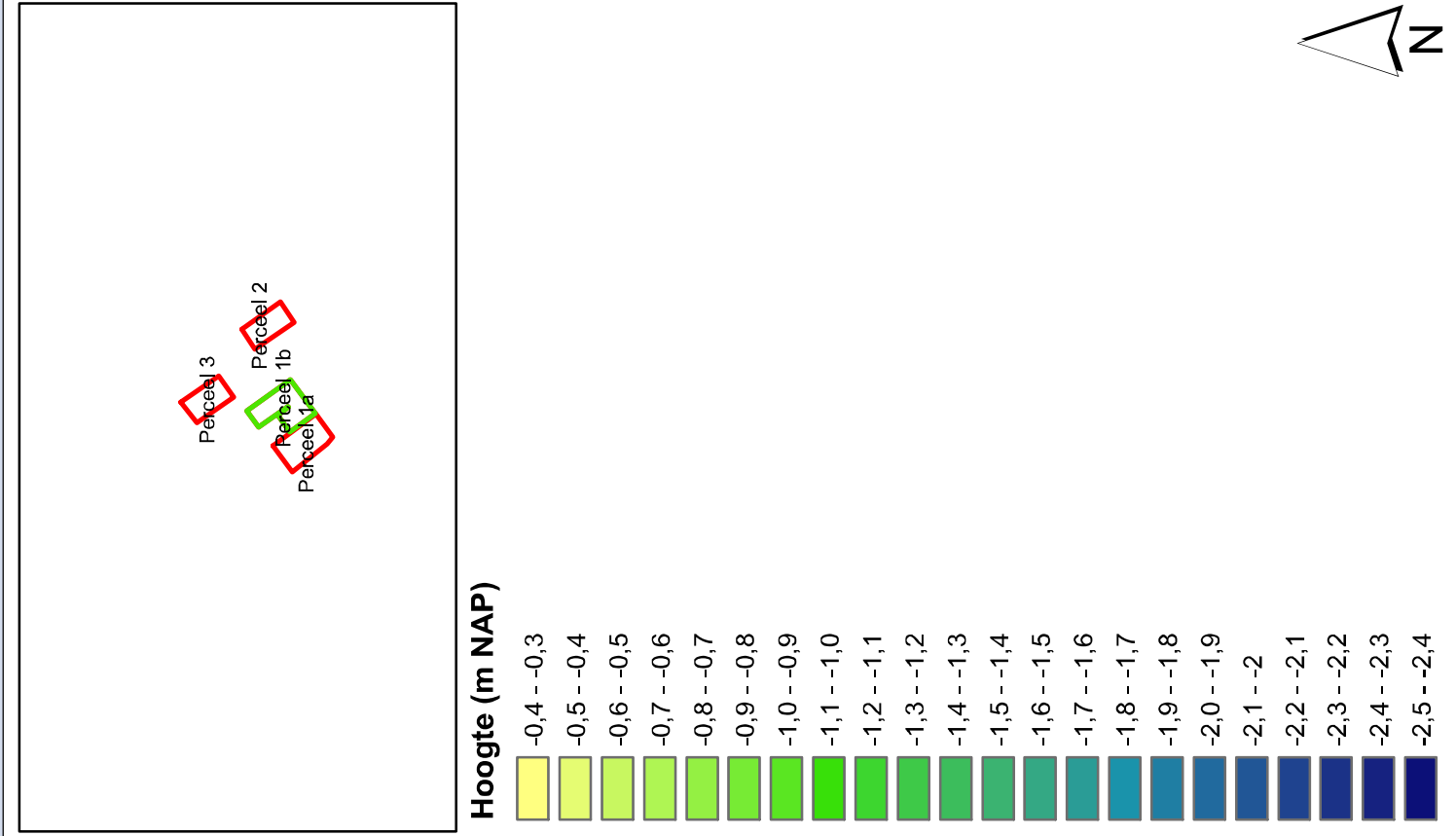
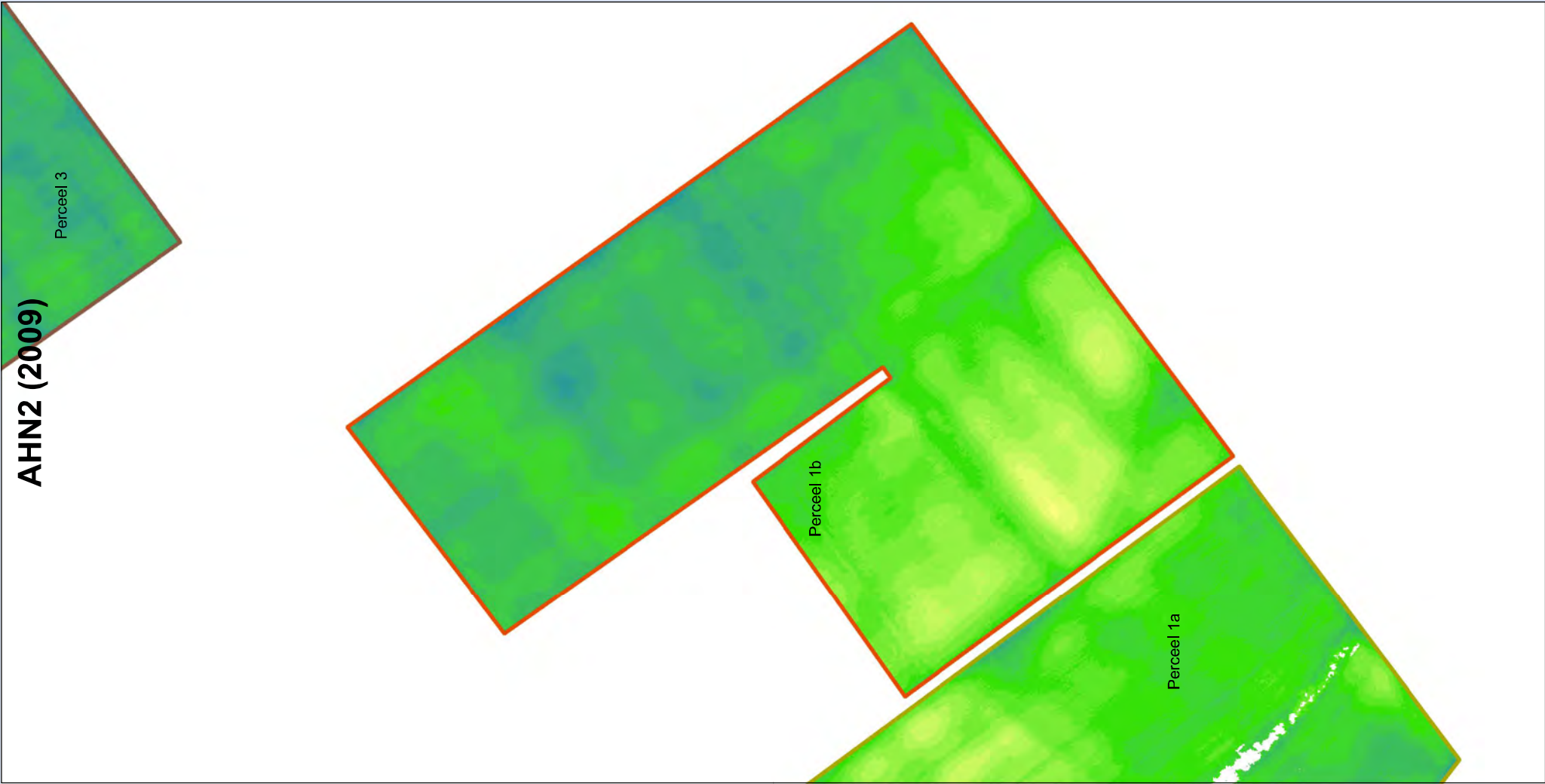
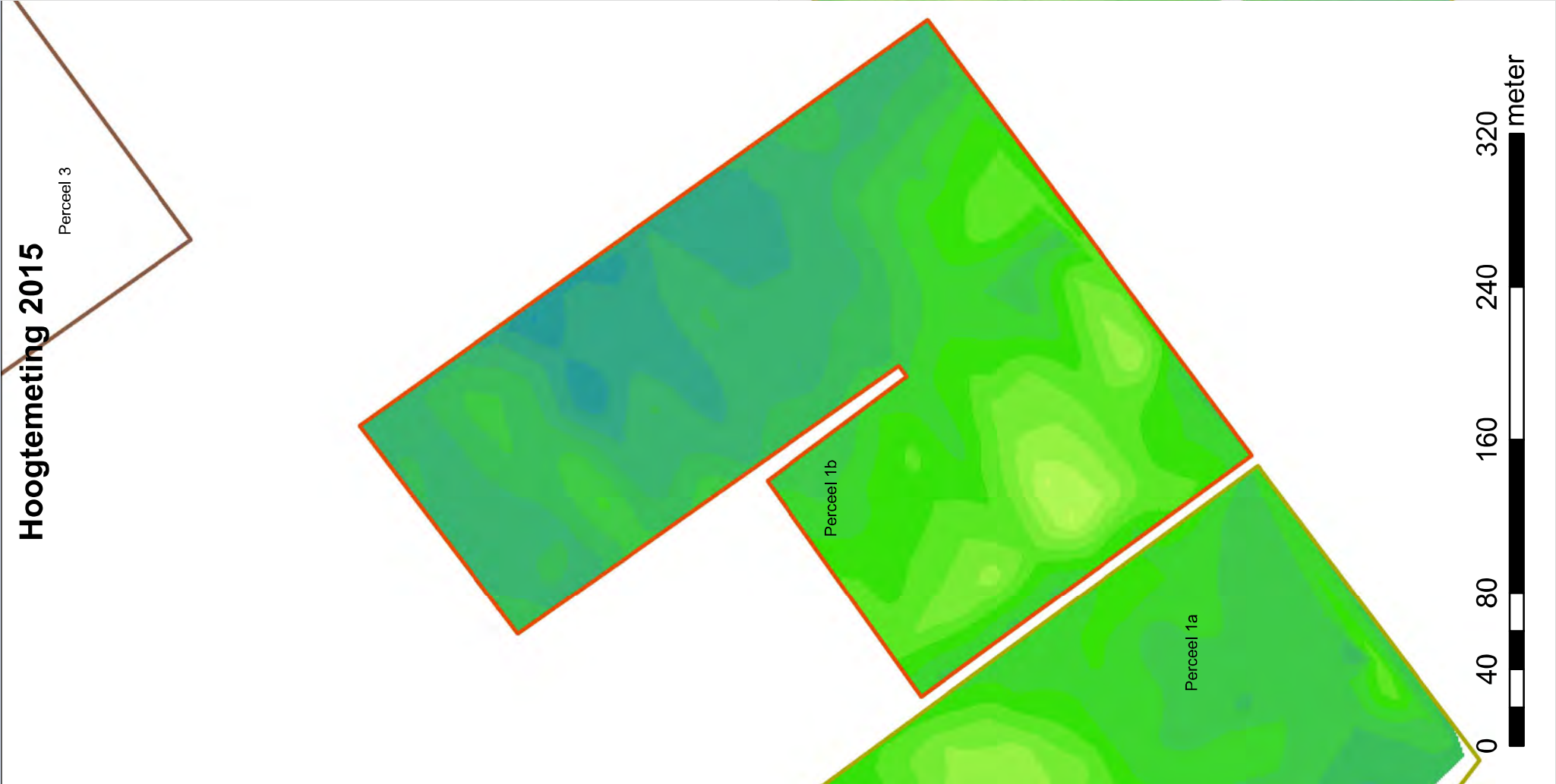


Hoogte (m NAP)



Locatie pilot 1 - hoogtes 2015, 2009, perceel 1a
Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling Projectnummer: 341156			
Status: definitief Datum: 22 augustus 2016 Schaal: 1:3.000 Formaat: A3 Get: EL - Gec: JdW			
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden			



Locatie pilot 1 - hoogtes 2015, 2009, perceel 1b
Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

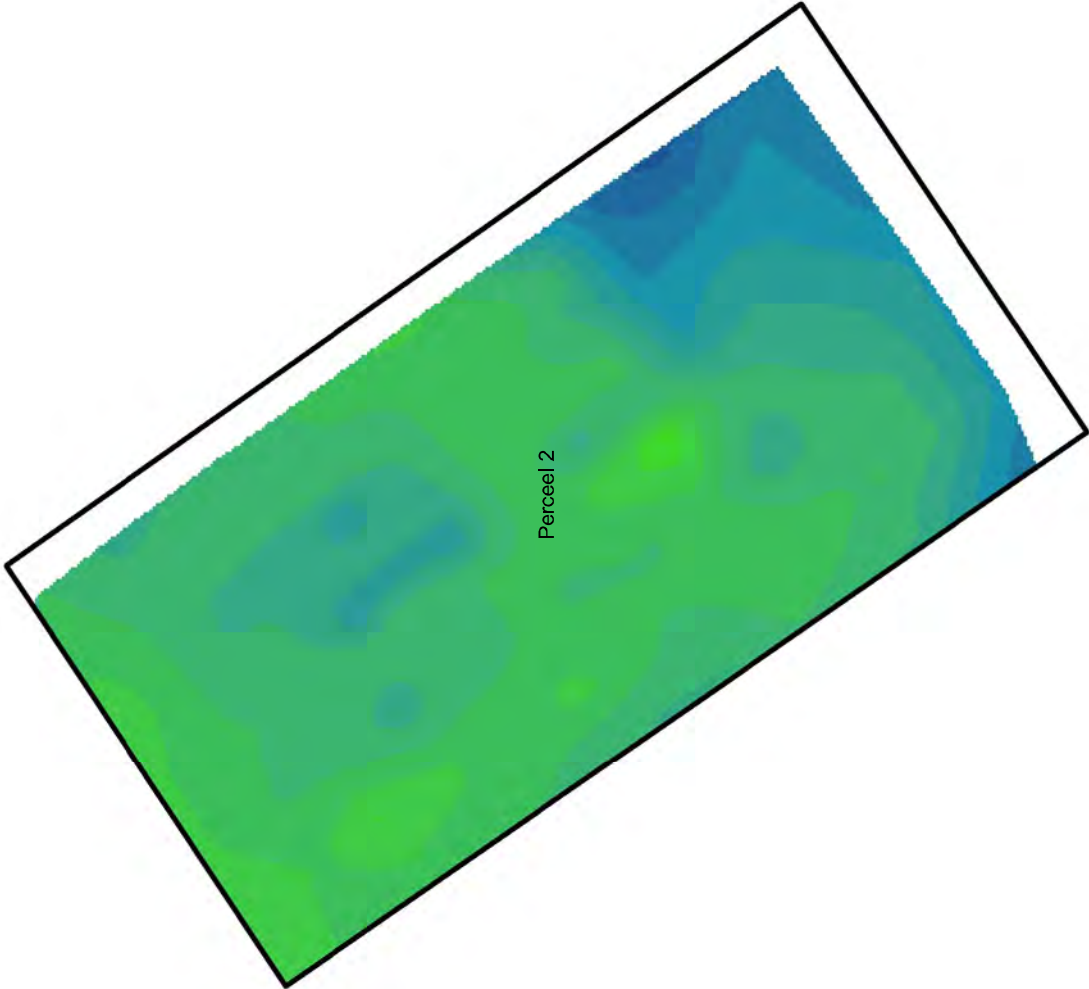
Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156

SWECO

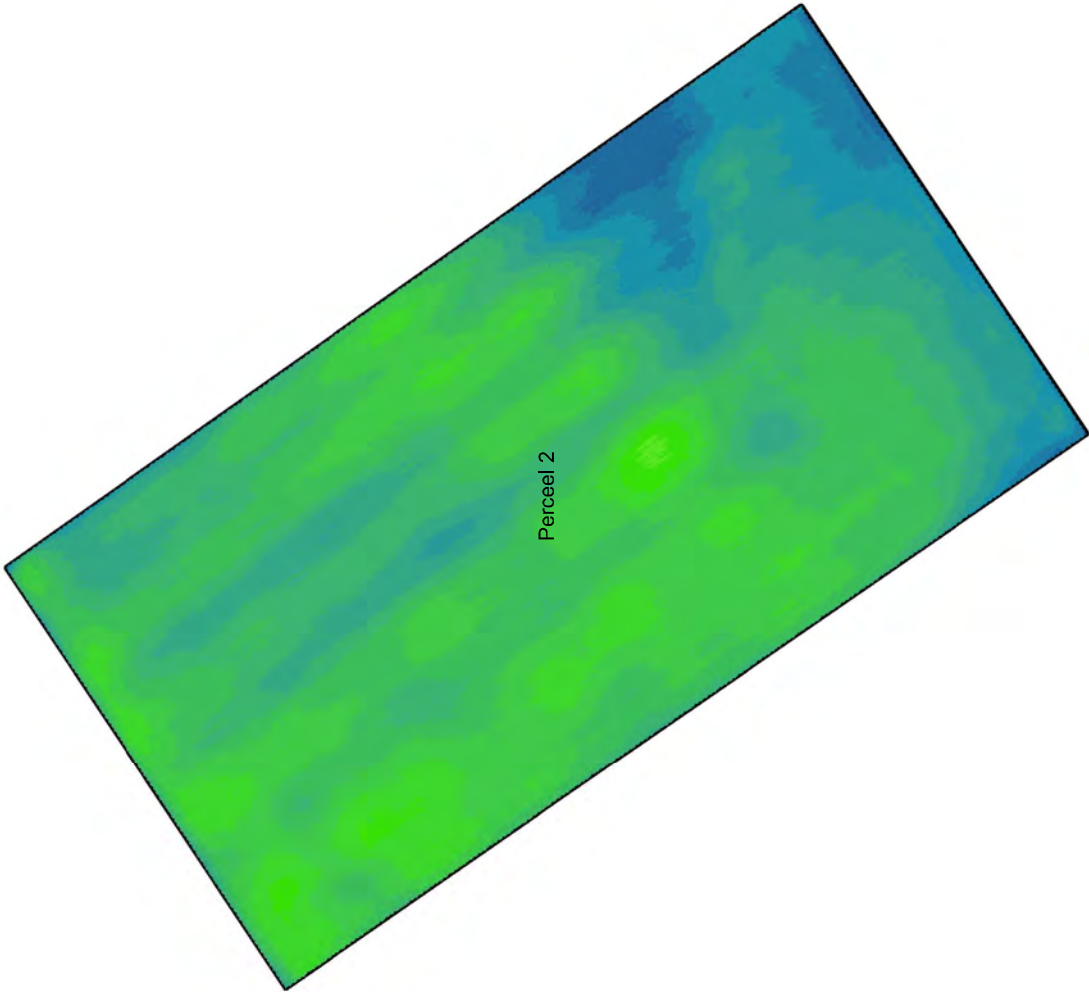
Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:3.000
Formaat: A3
Get: EL - Gec: JdW

© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

Hoogtemeting 2015



AHN2 (2009)



Hoogte (m NAP)



Locatie pilot 1 - hoogtes 2015, 2009, perceel 2
Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

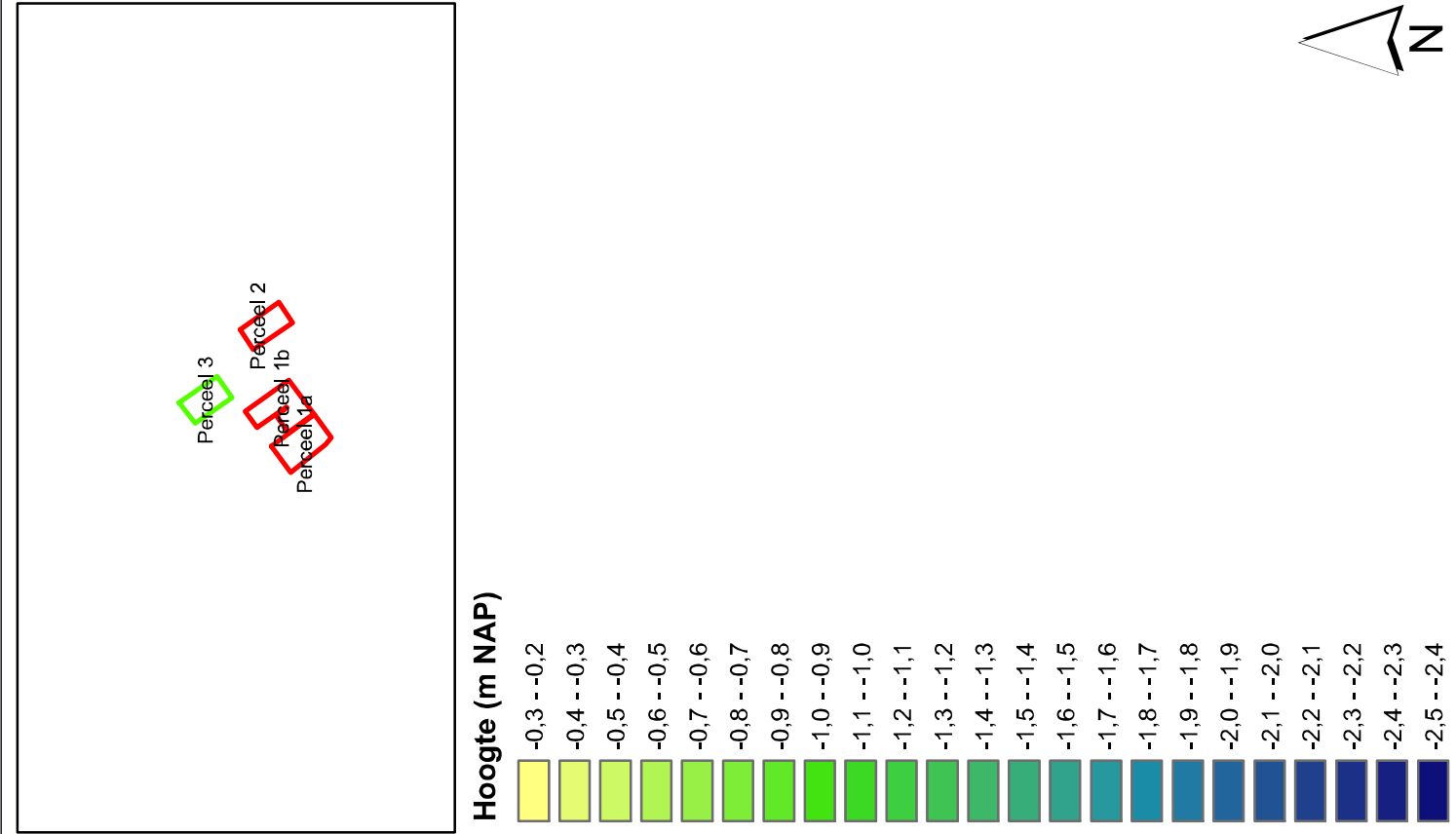
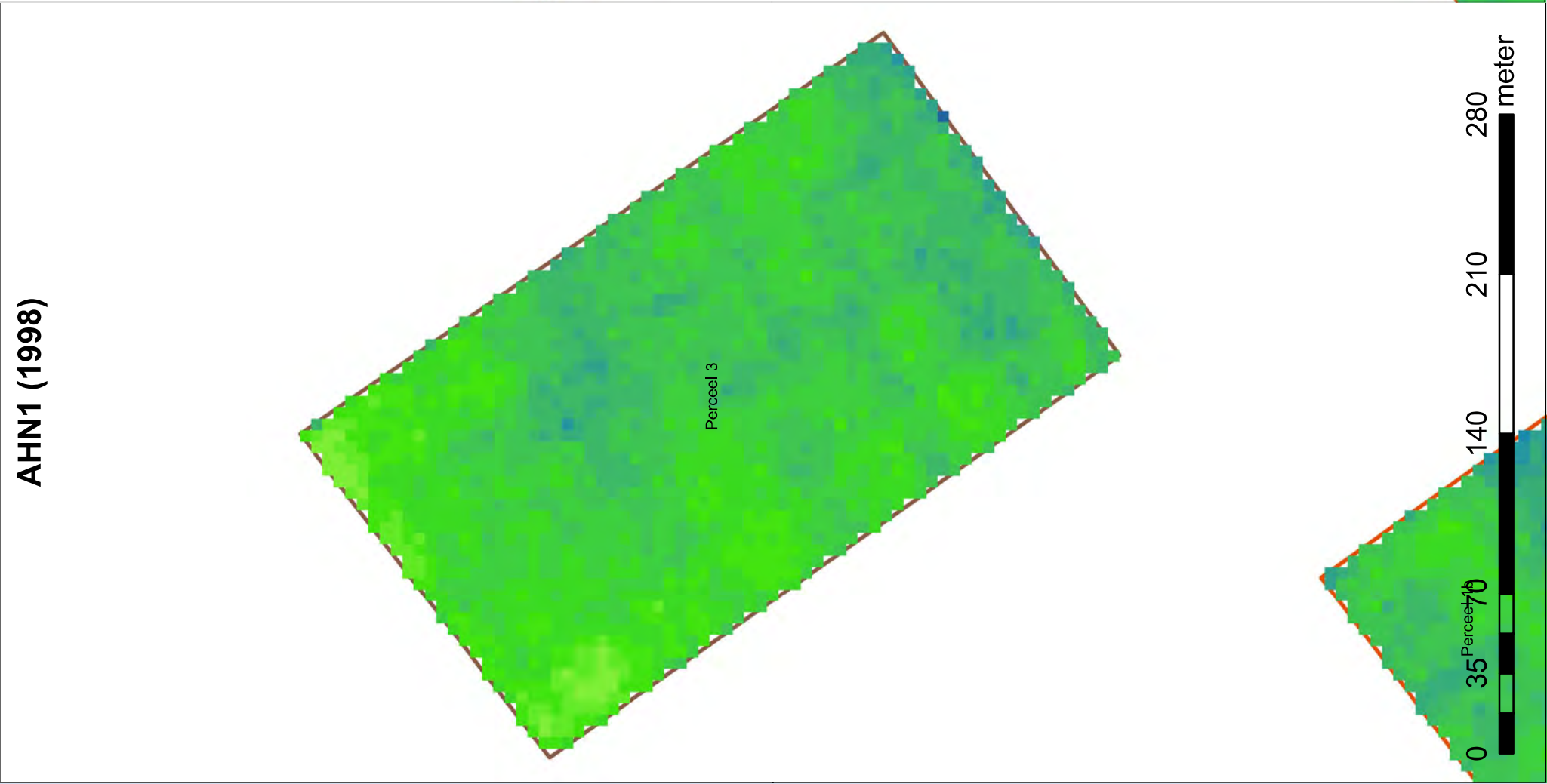
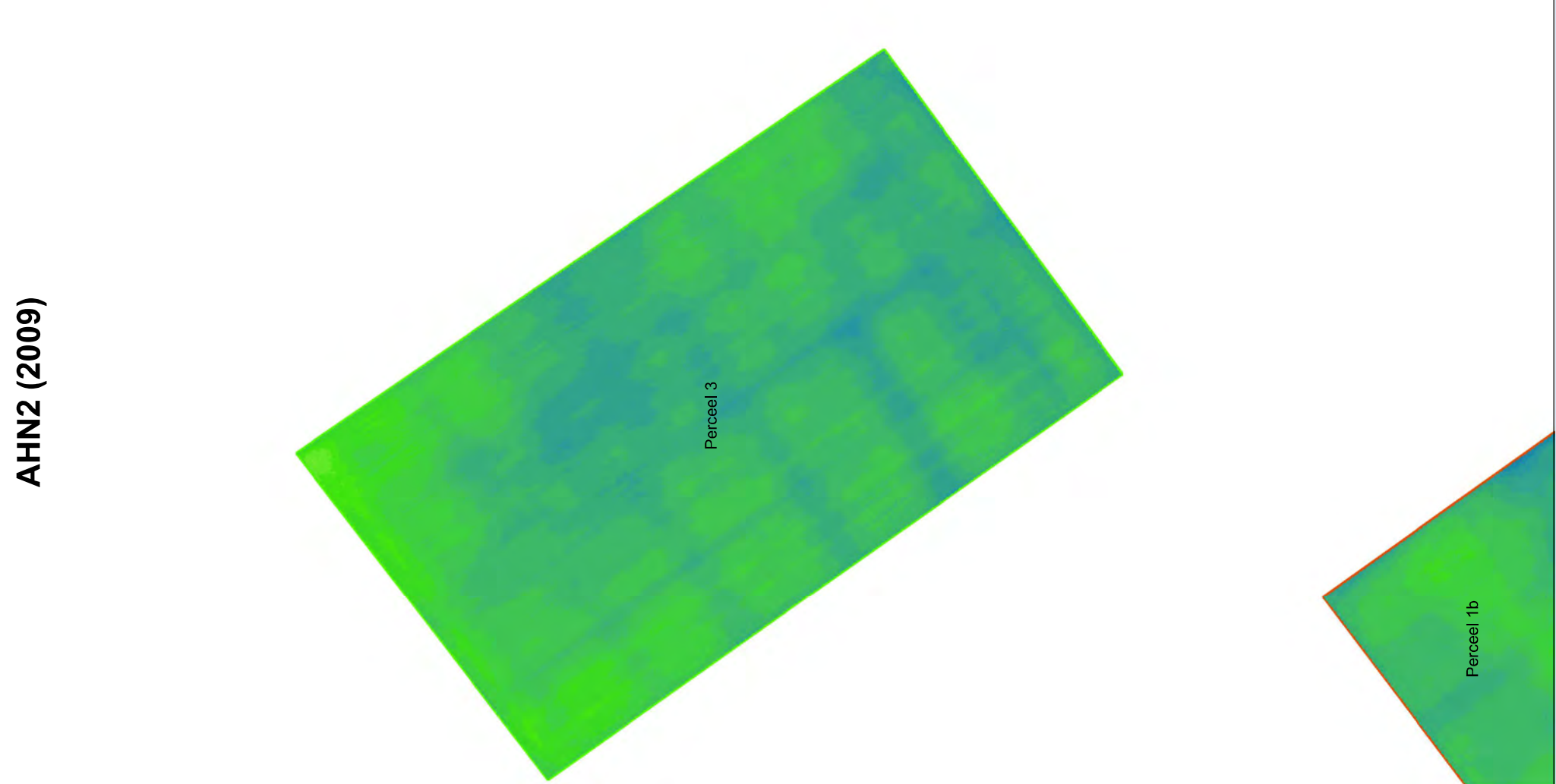


Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156

Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:2.500
Formaat: A3
Get: EL - Gec: JdW

AHN1 (1998)

AHN2 (2009)



Locatie pilot 1 - hoogtes 1998, 2009, perceel 3
Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156

SWECO

Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:2.500
Formaat: A3
Get: EL - Gec: JdW

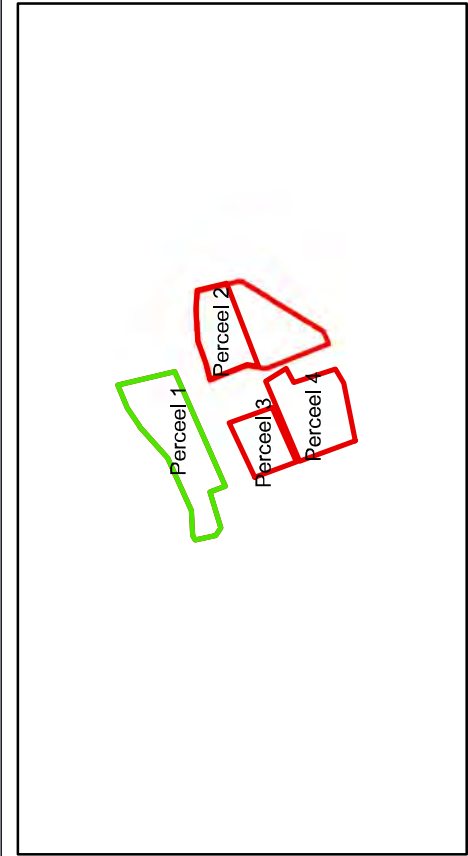
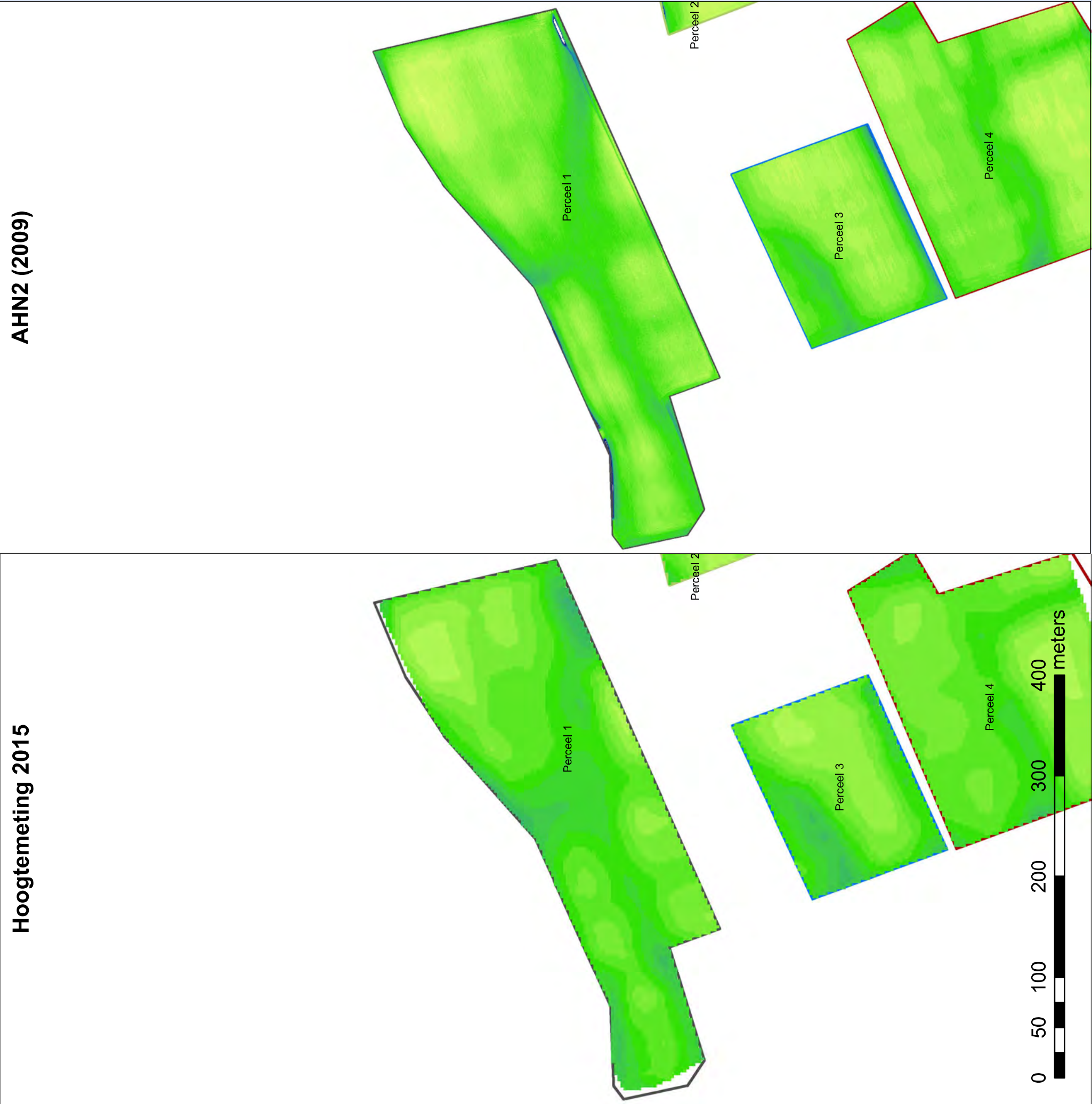
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

Bijlage 6

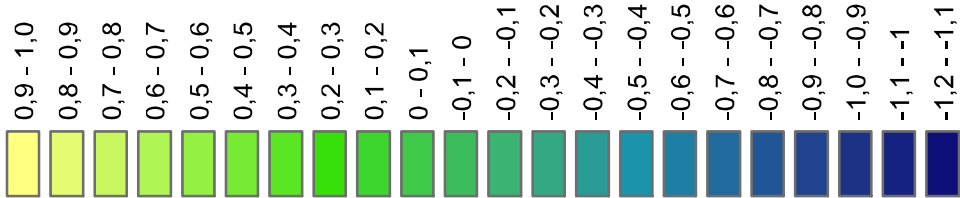
Geïnterpoleerde hoogtekarten locatie pilot 2

Hoogtemeting 2015

AHN2 (2009)



Hoogte (m NAP)

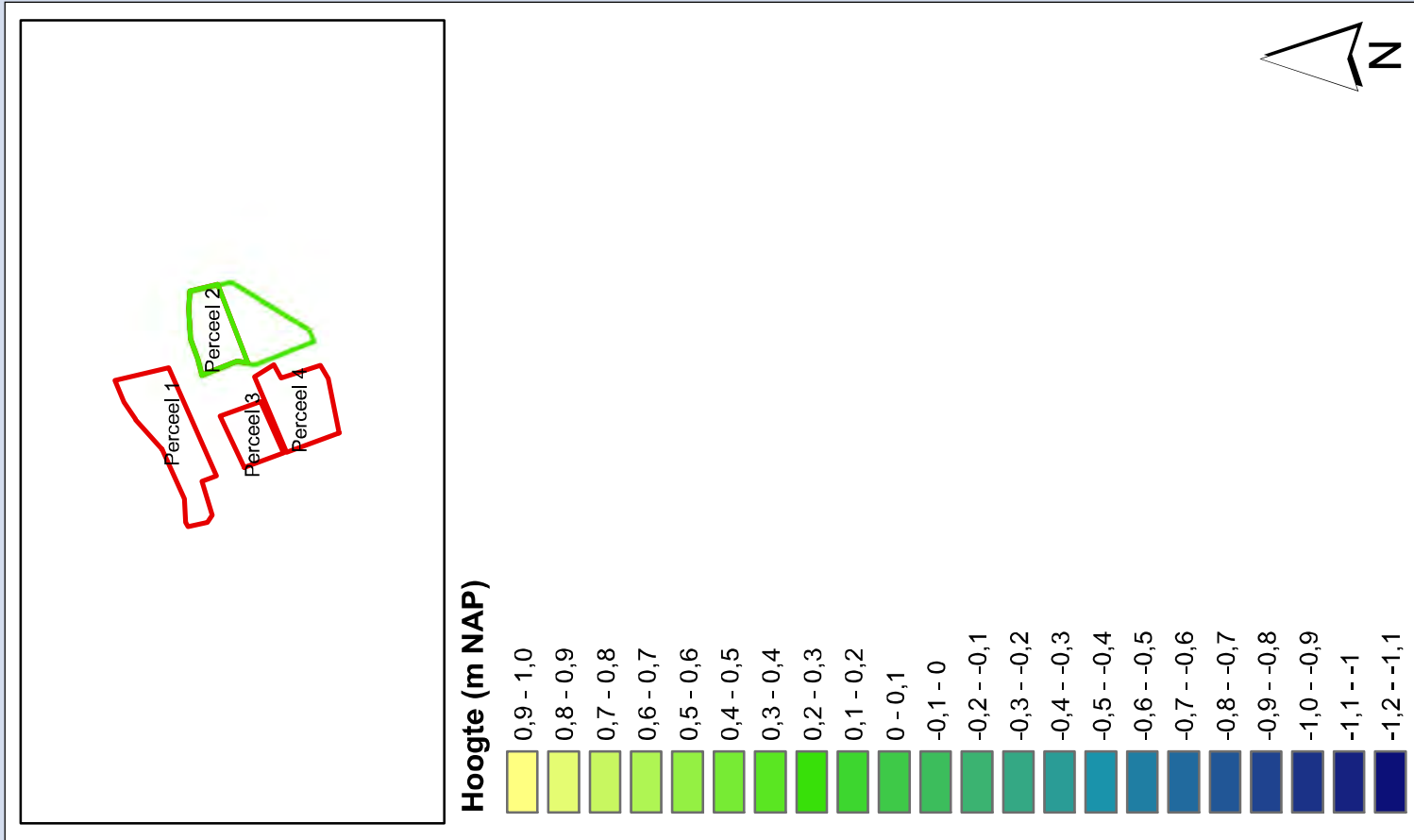
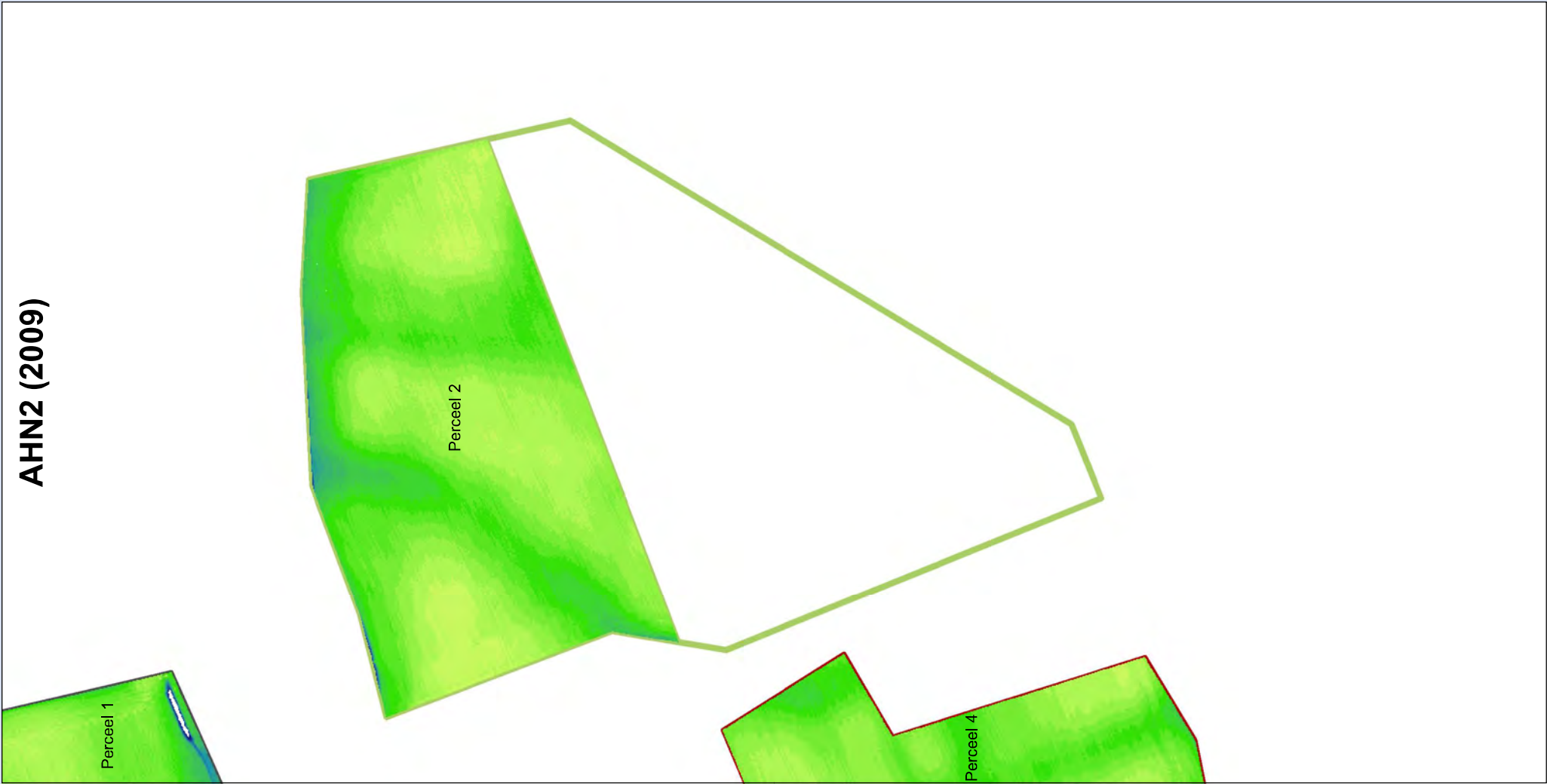
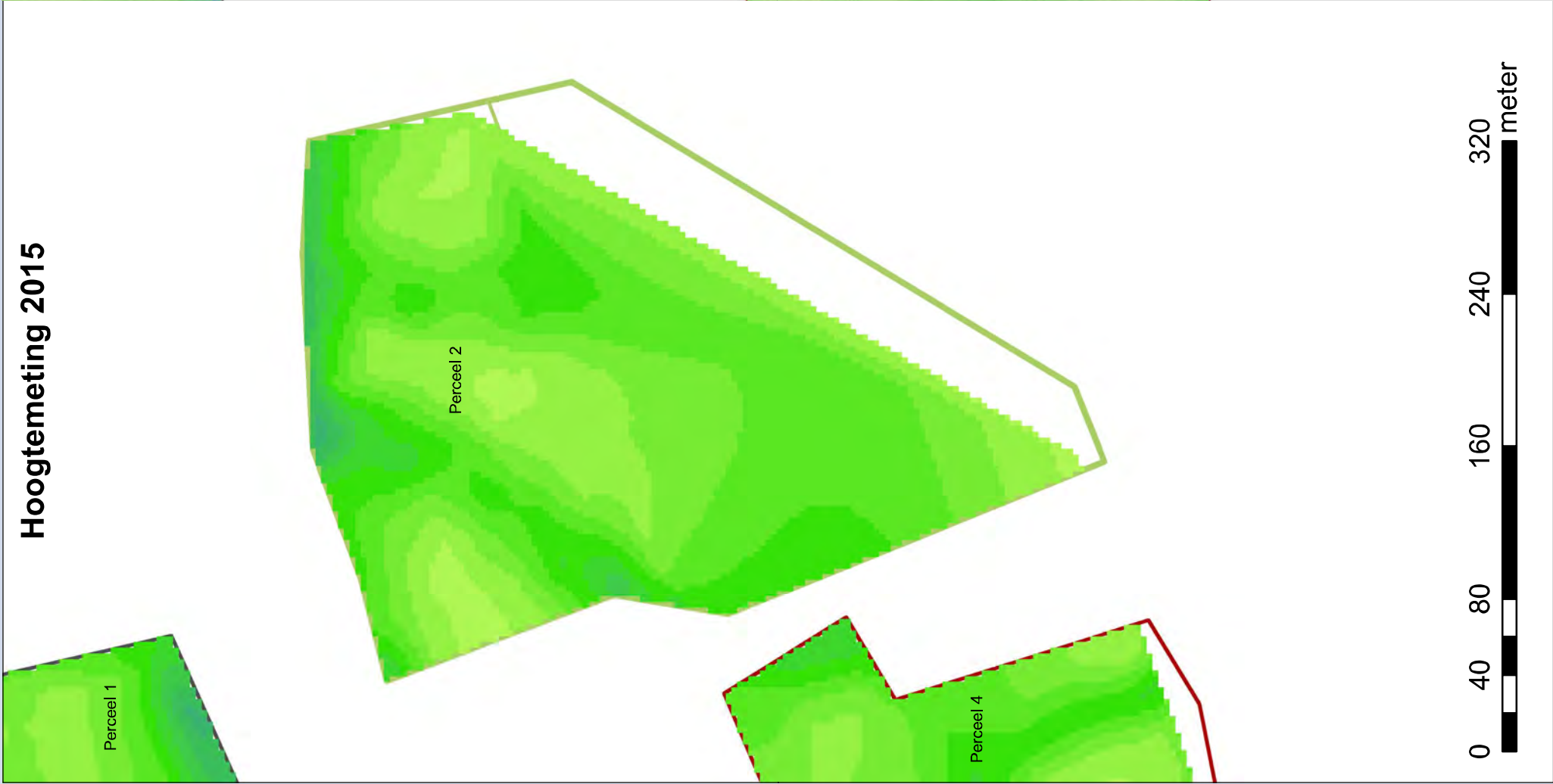


Locatie pilot 2 - hoogtes 2015, 2009, perceel 1
Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen



Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156

Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:4,000
Formaat: A3
Get: EL - Gec: JdW



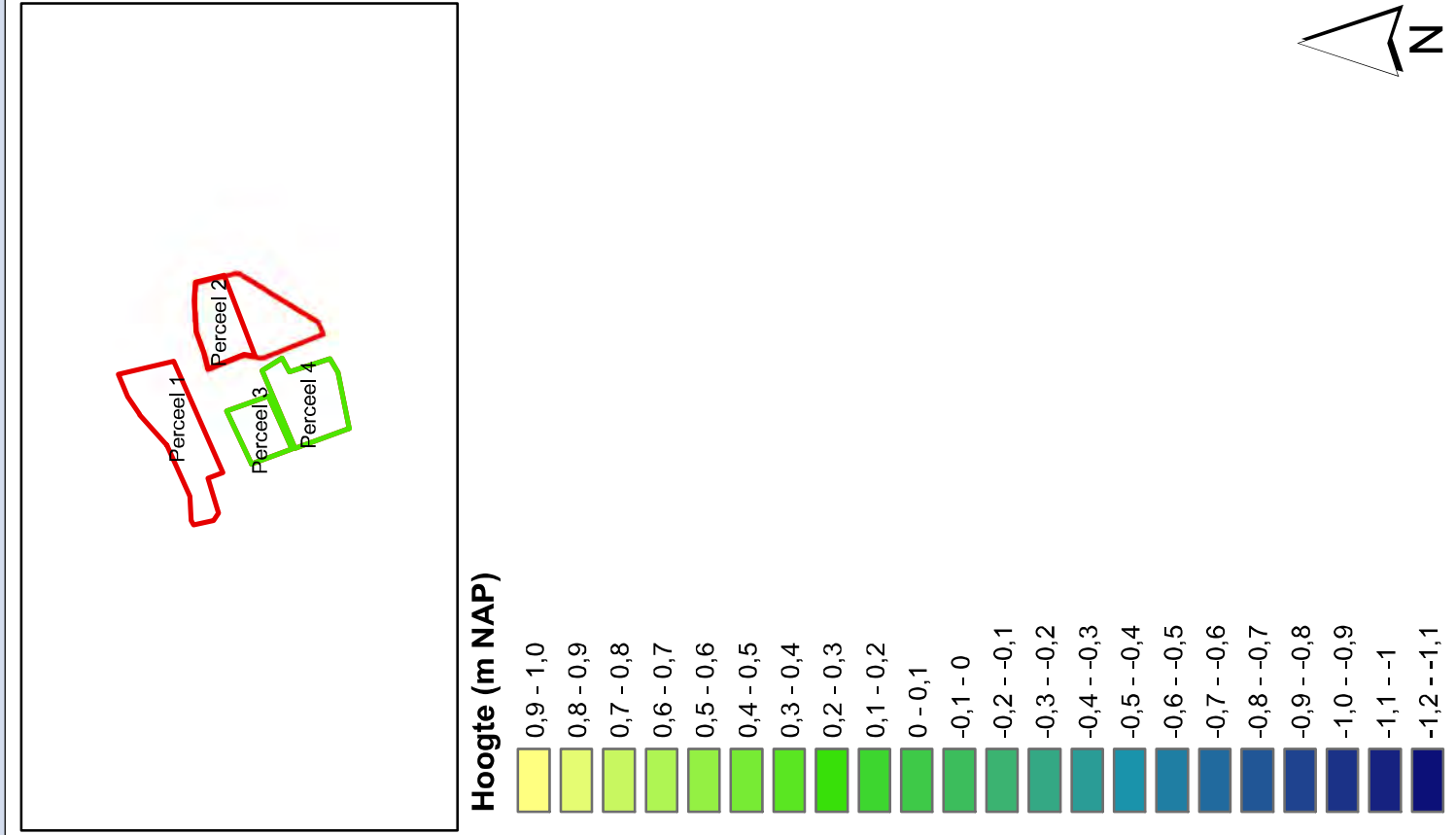
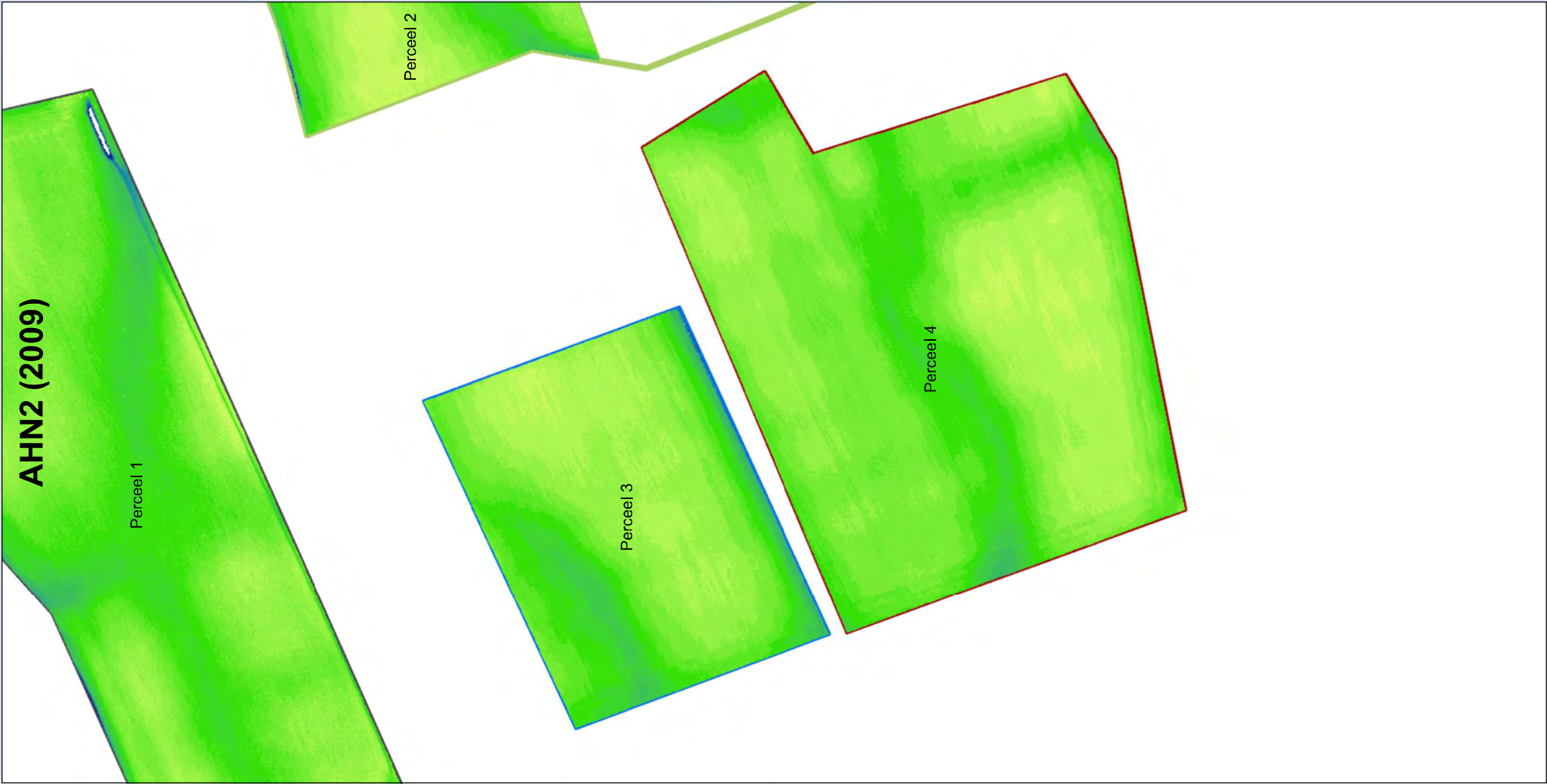
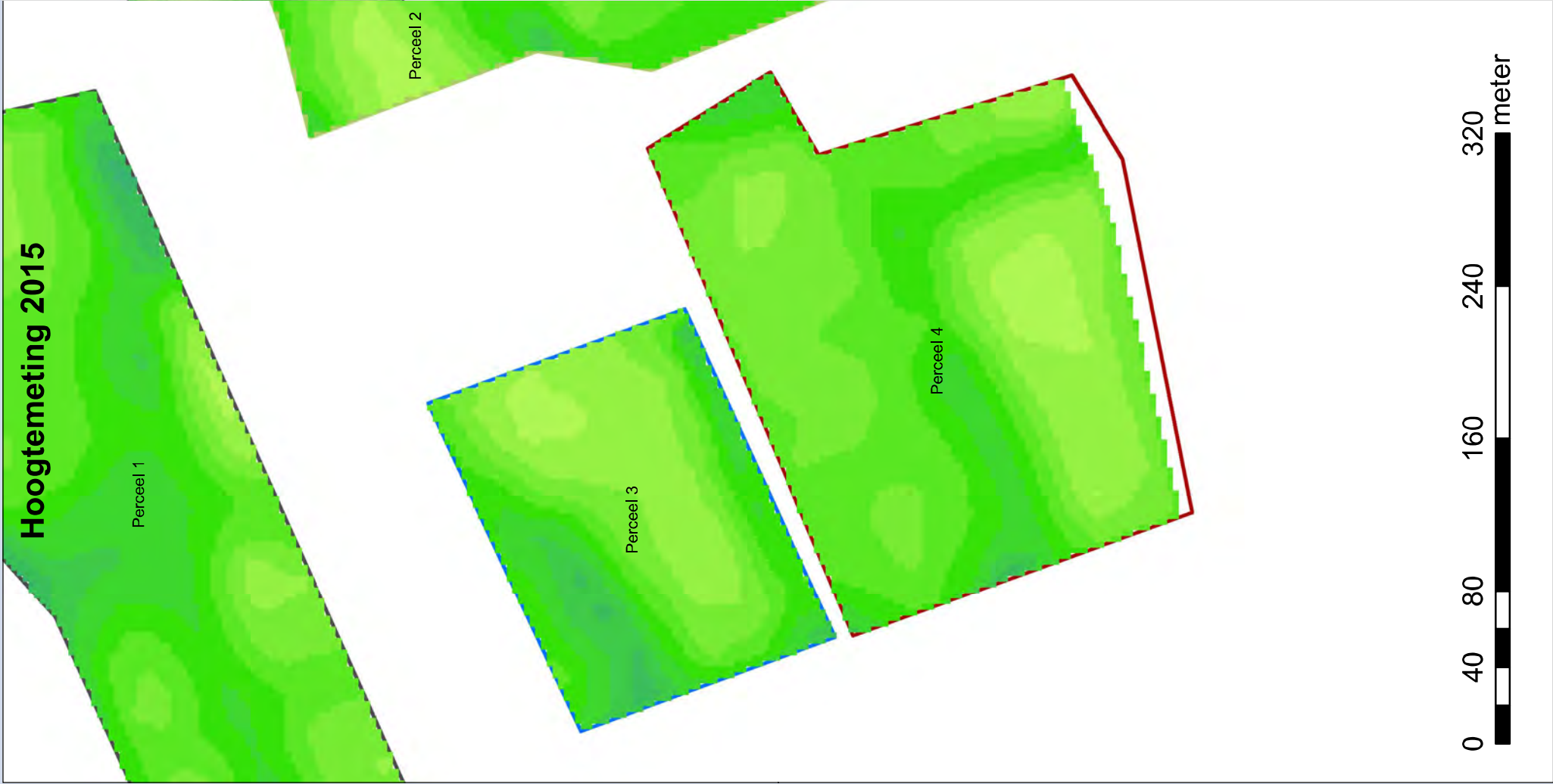
Locatie pilot 2 - hoogtes 2015, 2009, perceel 2
Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156

SWECO

Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:3.000
Formaat: A3
Get: EL - Gec: JdW

© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden



Locatie pilot 2 - hoogtes 2015, 2009, perceel 3 & 4

Pilots bodemdaling aarbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156

Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:3.000
Formaat: A3
Get: EL - Gec: JdW

SWECO

© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

Bijlage 7

Geomorfologische kaart locatie pilot 1 en locatie pilot
2

Legenda

- 1M35 Vlake van getij-afzettingen
- 3K33 Getij-inversierug
- 41 Plaatselijk opgehoogd of opgespoten terrein
- T Terp of hoogwatervluchtplaats
- Water
- bodemdaling locaties

0 55 110 220 330 440 meter



Locatie pilot 1 - Geomorfologische kaart Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:8,000
Formaat: A4
Get: EL - Gec: JdW

© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

Legenda

- 2M35 Vlake van getij-afzettingen
- 3K31 Kwelderwal
- T Terp of hoogwatervluchtplaats
- Locaties ongelijke maaiveldzakking



Locatie pilot 2 - Geomorfologische kaart Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156

SWECO 

Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:6.000

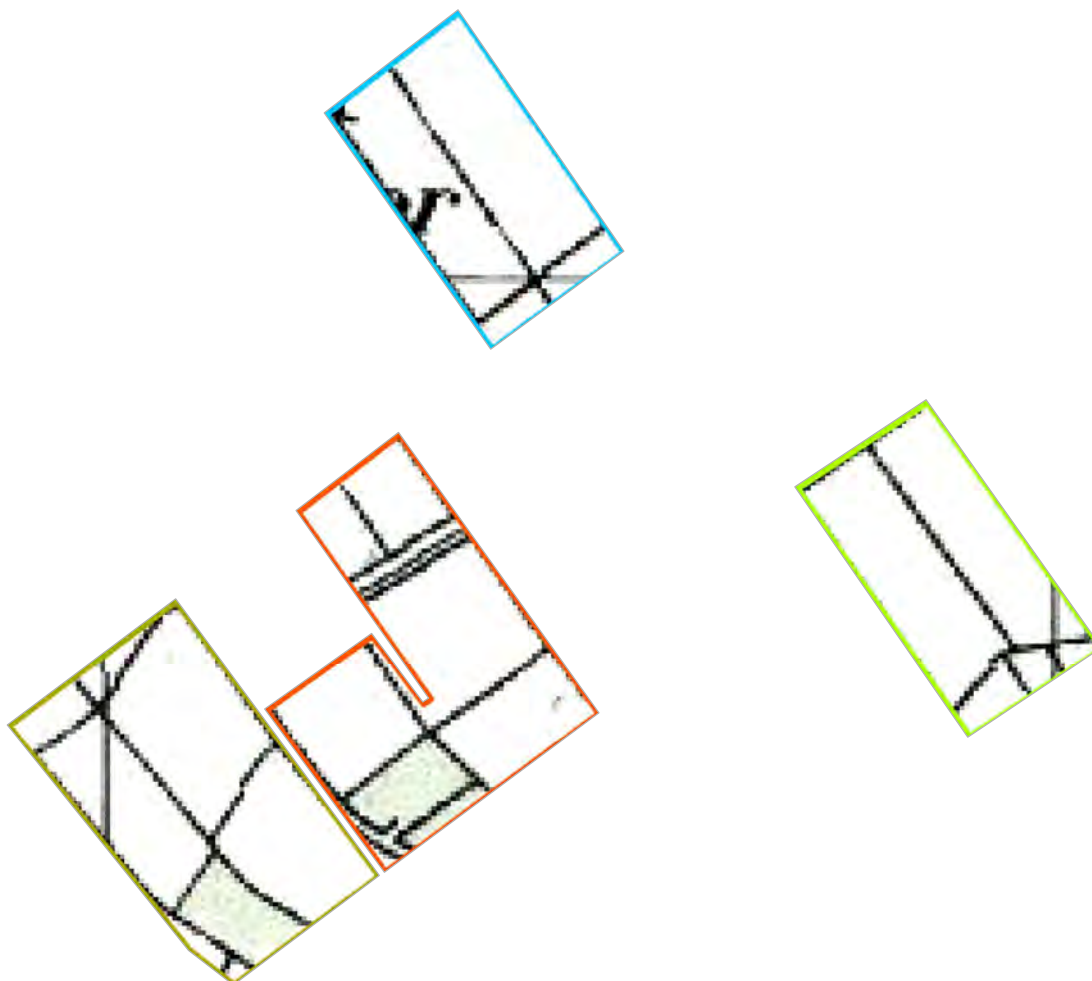
Bijlage 8

Analyse bodemdaling locatie pilot 1 (tabel + kaarten)

Mogelijke oorzaak bodemdaling	Bronnen van informatie ter verificatie en beoordeling oorzaken en processen	Bodemproces	Beoordeling perceel 1a (Boringen WL1-B01 t/m WL1-B11, WL-1-B23)
Peilbeheer - peilaanpassingen - onderbemalingen	Peilbesluiten waterschap Noorderzijlvest	Oxidatie /krimp van veen	Vanaf 1956 peilverlaging van 0,13 m (zomer) tot 0,33 m (winter) doorgevoerd. Geen peilaanpassing sinds 1997. Er zijn geen onderbemalingen aanwezig.
	Boorprofielen	Samendrukking van bovenlagen (klei en veen)	Bij boringen 3, 4, 6, 7, 9, 10 en 11 en 23 is veen rondom het GLG niveau aanwezig
	Informatie eigenaar		Geen informatie van eigenaar verkregen.
Bemaling (tijdelijke grondwaterstandsverlaging)	Waterschap Noorderzijlvest	Samendrukking van bovenlagen (klei en veen)	Er is geen informatie over eventueel uitgevoerde bemalingen bekend
	Boorprofielen		Het bodemprofiel bestaat uit klei- en veenlagen.
Klimaatverandering/verdroging (permanente grondwaterstandsverlaging)	Neerslag- en verdampingsgegevens KNMI	Rijping/krimp van klei en veen	In het kader van deze studie zijn geen klimaatgegevens beschouwd
	Meerjarige monitoringsgegevens grondwater in peilbuizen (DINO)		Geen gegevens in de nabijheid beschikbaar. Op basis van gegevens op meer dan 1,5 km zijn vanaf 1985 lagere grondwaterstanden gemeten.
Vochtonttrekking door gewas en bodem	Boorprofielen	Rijping/krimp van klei en veen	Het bodemgebruik is grasland. Het bodemprofiel bestaat tot het GLG niveau uit klei en bij een aantal boringen deels uit veen.
	Grondwaterstanden		De grondwaterstanden fluctueren 0,20 m en 1,85 m -mv.
	Oppervlaktewaterpeil		Het oppervlaktewaterpeil fluctueert tussen winter en zomer met 0,20 m.
Slootdempingen	Informatie grondeigenaar	Samendrukking van bovenlagen (klei en veen)	Volgens de eigenaar zijn er slootdempingen uitgevoerd met grond die vrijkwam bij de uitbreiding van de stal
	Historische kaarten	Klink dempingsmateriaal	Omstreeks 2008 sloot midden in perceel (lengterichting) gedempt
			Omstreeks 1990 sloten in dwarsrichting gedempt
			Omstreek 1982 deel sloot in dwarsrichting gedempt
	AHN-2		Lijnpatronen zichtbaar o.a. ter plaatse van slootdempingen
	Resultaten hoogtemeting (2015)		Geen herkenbare slootpatronen zichtbaar
Ontgravingen (bv leidingaanleg) - nazakkingen sleuven - onvoldoende compensatie grondtekort	Boorprofielen		Er zijn geen vreemde bodemmaterialen in de boringen aangetroffen. Grond is niet als verwerkt gekarakteriseerd.
			De boring in het laagste deel toont de aanwezigheid van een slootdemping niet aan.
			Er zijn deels minder bedekte stroken en een strook pitrus in lengterichting van het perceel aanwezig. Dit duidt op natte omstandigheden
Ontgravingen (bv leidingaanleg) - nazakkingen sleuven - onvoldoende compensatie grondtekort	Informatie eigenaar	Samendrukking van bovenlagen (klei en veen)	Volgens de eigenaar zijn er geen kabels en leidingen aangelegd in de percelen. De percelen zijn gedraineerd ten tijde van de ruilverkaveling.
	Boorprofielen	Oxidatie veen	Bij een boring is een drain aangeboord op 0,70 m -mv.
Ophogingen/aanvullingen op maaiveld	Informatie eigenaar	Samendrukking van bovenlagen (klei en veen)	Volgens de eigenaar zijn er geen aanvullingen/ophogingen en egalisatiewerkzaamheden op het perceel uitgevoerd
	Luchtfoto's		Vermoedelijk is er grond aangebracht ter plaatse van een oude sloot aan de zuidzijde van het perceel
	Boorprofielen		In de boringen is geen verwerkte grond of zijn vreemde materialen aangetroffen.
Compactie gasreservoir	NAM gegevens	Compactie diepe ondergrond	Op basis van NAM gegevens is sinds de gaswinning een gelijkmatige bodemdaling van 0,31 m opgetreden. In 2008 gradiënt van < 1 cm per km en in 2025 een gradiënt ongeveer 1 cm per km. Dit verschil is niet waarneembaar op perceelsniveau
Verweking (geïnduceerde aardbevingen)	Veldwaarnemingen/informatie eigenaar Literatuur/ NPR 9998	Verweking	Geen waarnemingen/informatie van wellen of scheefgezakte objecten op het perceel Theoretisch hebben geen relevante zakking(sverschillen) ten gevolge van verwekingseffecten kunnen plaatsvinden.

Mogelijke oorzaak bodemdaling	Bronnen van informatie ter verificatie en beoordeling oorzaken en processen	Bodemproces	Beoordeling perceel 1b (Boringen WL1-B12 t/m WL1-B22, WL1-B24)
Peilbeheer - peilaanpassingen - onderbemalingen	Peilbesluiten waterschap Noorderzijlvest	Oxidatie /krimp van veen	Vanaf 1956 peilverlaging van 0,13 m (zomer) tot 0,33 m (winter) doorgevoerd. Geen peilaanpassing sinds 1997. Er zijn geen onderbemalingen aanwezig.
	Boorprofielen	Samendrukking van bovenlagen (klei en veen)	Bij boringen 13, 16, 17, 19, 19, 20 en 22 is veen rondom het GLG niveau aanwezig
	Informatie eigenaar		Geen informatie van eigenaar verkregen.
Bemaling (tijdelijke grondwaterstandsverlaging)	Waterschap Noorderzijlvest	Samendrukking van bovenlagen (klei en veen)	Er is geen informatie over eventueel uitgevoerde bemalingen bekend
	Boorprofielen		Het bodemprofiel bestaat uit klei- en veenlagen.
Klimaatverandering/verdroging (permanente grondwaterstandsverlaging)	Neerslag- en verdampingsgegevens KNMI	Rijping/krimp van klei en veen	In het kader van deze studie zijn geen klimaatgegevens beschouwd
	Meerjarige monitoringsgegevens grondwater in peilbuizen (DINO)		Geen gegevens in de nabijheid beschikbaar. Op basis van gegevens op meer dan 1,5 km zijn vanaf 1985 lagere grondwaterstanden gemeten.
Vochtonttrekking door gewas en bodem	Boorprofielen	Rijping/krimp van klei en veen	Het bodemgebruik is grasland. Het bodemprofiel bestaat tot het GLG niveau uit klei en bij een aantal boringen deels uit veen.
	Grondwaterstanden		De grondwaterstanden fluctueren 0,20 m en 1,70 m -mv.
	Oppervlaktewaterpeil		Het oppervlaktewaterpeil fluctueert tussen winter en zomer met 0,20 m.
Slootdempingen	Informatie grondeigenaar	Samendrukking van bovenlagen (klei en veen)	Volgens de eigenaar zijn er geen slootdempingen uitgevoerd
	Historische kaarten	Klink dempingsmateriaal	Omstreeks 2005 sloot midden halverwege westelijk perceel (breedterichting) gedempt
			Omstreeks 1990 dwarssloot halverwege oostelijk perceel (breedterichting) en dwarssloot noordkant oostelijk perceel gedempt
	AHN2		Omstreeks 1982 sloot tussen westelijk en oostelijk perceel (lengterichting) gedempt
	Resultaten hoogtemeting (2015)		Zichtbare verlagingen en verhogingen in het maaiveld ter plaatse van slootdempingen
	Boorprofielen		Noordzijde van oostelijk perceel, smalle verhoging in breedterichting
Ontgravingen (bv leidingaanleg) - nazakkingen sleuven - onvoldoende compensatie grondtekort	Informatie eigenaar	Samendrukking van bovenlagen (klei en veen)	Volgens de eigenaar zijn er geen kabels en leidingen aangelegd in de percelen. De percelen zijn gedraineerd ten tijde van de ruilverkaveling.
	Boorprofielen	Oxidatie veen	Geen bijzonderheden.
Ophogingen/aanvullingen op maaiveld	Informatie eigenaar	Samendrukking van bovenlagen (klei en veen)	Volgens de eigenaar zijn er geen aanvullingen/ophogingen en egalisatiewerkzaamheden op het perceel uitgevoerd
	Luchtfoto's		Bij boring WL1-B24 is verwerkte grond aangetroffen.
	Boorprofielen		
Compactie gasreservoir	NAM gegevens	Compactie diepe ondergrond	Op basis van NAM gegevens is een gelijkmatige bodemdaling van 0,31 m opgetreden. In 2008 gradiënt van < 1 cm per km en in 2025 een gradiënt ongeveer 1 cm per km. Dit verschil is niet waarneembaar op perceelsniveau
Verweking (geïnduceerde aardbevingen)	Veldwaarnemingen/informatie eigenaar Literatuur/ NPR 9998	Verweking	Geen waarnemingen/informatie van wellen of scheefgezakte objecten op het perceel Theoretisch hebben geen relevante zakking(sverschillen) ten gevolge van verwekingseffecten kunnen plaatsvinden.

Mogelijke oorzaak bodemdaling	Bronnen van informatie ter verificatie en beoordeling oorzaken en processen	Bodemproces	Beoordeling perceel 2 (Boringen WL2-B01 t/m WL2-B08)
Peilbeheer - peilaanpassingen - onderbemalingen	Peilbesluiten waterschap Noorderzijlvest	Oxidatie /krimp van veen	Vanaf 1956 peilverlaging van 0,13 m (zomer) tot 0,33 m (winter) doorgevoerd. Geen peilaanpassing sinds 1997. Er zijn geen onderbemalingen aanwezig.
	Boorprofielen	Samendrukking van bovenlagen (klei en veen)	Bij boringen 1 en 2 is veen rondom het GLG niveau aanwezig
	Informatie eigenaar		Geen informatie van eigenaar verkregen.
Bemaling (tijdelijke grondwaterstandsverlaging)	Waterschap Noorderzijlvest	Samendrukking van bovenlagen (klei en veen)	Er is geen informatie over eventueel uitgevoerde bemalingen bekend
	Boorprofielen		Het bodemprofiel bestaat uit klei- en veenlagen.
Klimaatverandering/verdroging (permanente grondwaterstandsverlaging)	Neerslag- en verdampingsgegevens KNMI	Rijping/krimp van klei en veen	In het kader van deze studie zijn geen klimaatgegevens beschouwd
	Meerjarige monitoringsgegevens grondwater in peilbuizen (DINO)		Geen gegevens in de nabijheid beschikbaar. Op basis van gegevens op meer dan 1,5 km zijn vanaf 1985 lagere grondwaterstanden gemeten.
Vochtonttrekking door gewas en bodem	Boorprofielen	Rijping/krimp van klei en veen	Het bodemgebruik is grasland. Het bodemprofiel bestaat tot het GLG niveau uit klei en bij een aantal boringen deels uit veen.
	Grondwaterstanden		De grondwaterstanden fluctueren 0,20 m en 1,70 m -mv.
	Oppervlaktewaterpeil		Het oppervlaktewaterpeil fluctueert tussen winter en zomer met 0,20 m.
Slootdempingen	Informatie grondeigenaar	Samendrukking van bovenlagen (klei en veen)	Volgens de eigenaar zijn er geen slootdempingen uitgevoerd sinds bouw boerderij (begin 2000)
	Historische kaarten		Omstreeks 1990 sloten aan enkele sloten aan de zuidzijde van het perceel (breedte- en lengte richting)
		Klink dempingsmateriaal	Omstreeks 1970 sloot in midden van het perceel (lengterichting) gedempt.
	AHN2		Verlagings in het maaiveld zichtbaar ter plaatse van slootdempingen
	Resultaten hoogtemeting (2015)		Geen bijzonderheden zichtbaar
	Boorprofielen		Uit de boringen die in de laagte is geplaatst (WL2-B07 en WL2-B08) blijkt dat de grond bij boring B08 op een diepte van 0,40 tot 0,80 m is verwerkt.
Ontgravingen (bv leidingaanleg) - nazakkingen sleuven - onvoldoende compensatie grondtekort	Informatie eigenaar	Samendrukking van bovenlagen (klei en veen)	Volgens de eigenaar zijn er geen kabels en leidingen aangelegd in de percelen. De percelen zijn gedraineerd ten tijde van de ruilverkaveling.
	Boorprofielen	Oxidatie veen	Geen bijzonderheden.
Ophogingen/aanvullingen op maaiveld	Informatie eigenaar	Samendrukking van bovenlagen (klei en veen)	Volgens de eigenaar zijn er geen aanvullingen/ophogingen en egalisatiewerkzaamheden op het perceel uitgevoerd
	Luchtfoto's		Geen bijzonderheden
	Boorprofielen		Uit één van de boringen die een plek met maaiveldzakking is geplaatst (WL2-B08) blijkt dat de grond bij boring B08 op een diepte van 0,40 tot 0,80 m is verwerkt.
Compactie gasreservoir	NAM gegevens	Compactie diepe ondergrond	Op basis van NAM gegevens is een gelijkmatige bodemdaling van 0,31 m opgetreden. In 2008 gradiënt van < 1 cm per km en in 2025 een gradiënt ongeveer 1 cm per km. Dit verschil is niet waarneembaar op perceelsniveau
Verweking (geïnduceerde aardbevingen)	Veldwaarnemingen/informatie eigenaar Literatuur/ NPR 9998	Verweking	Geen waarnemingen/informatie van wellen of scheefgezakte objecten op het perceel Theoretisch hebben geen relevante zakking(sverschillen) ten gevolge van verwekingseffecten kunnen plaatsvinden.



0 55 110 220 330 440 meter



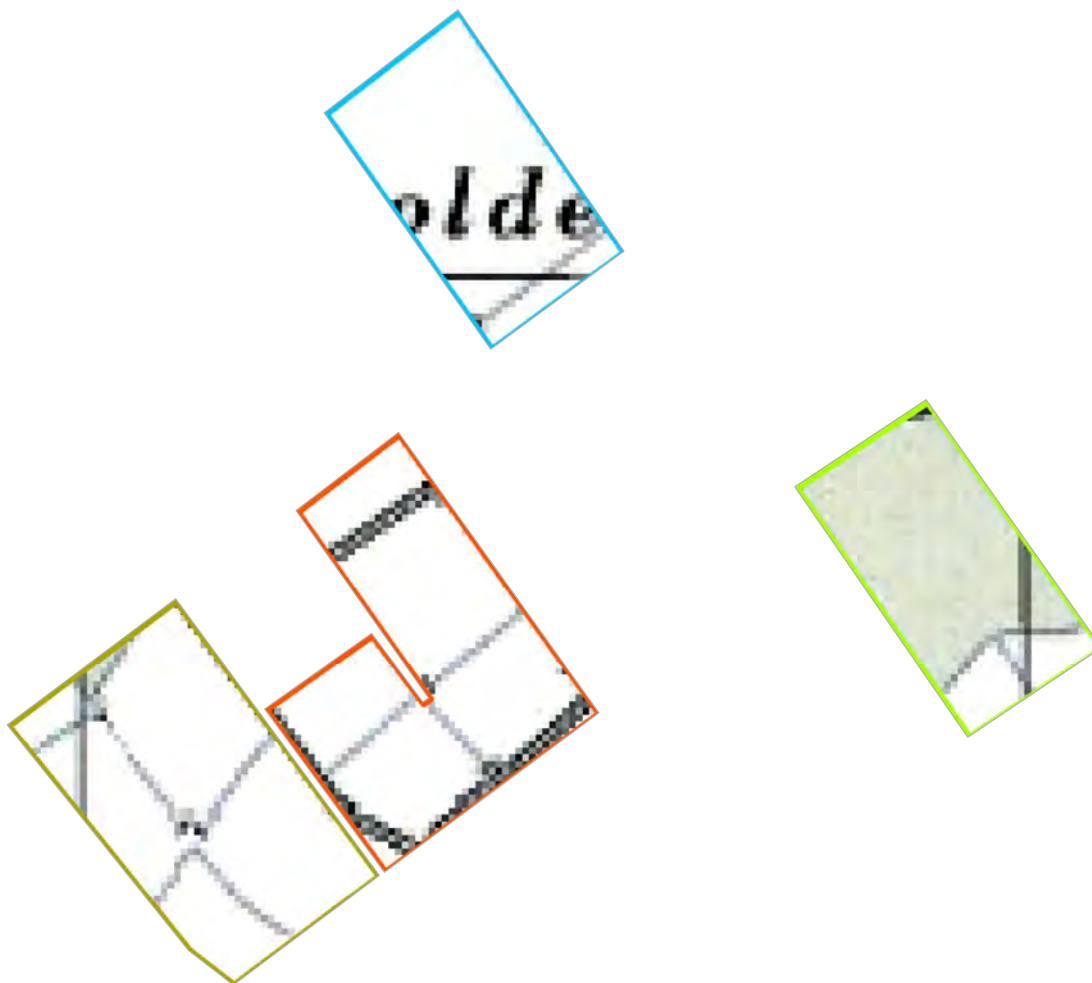
Locatie pilot 1 - topografische kaart 1953

Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:8.000
Formaat: A4
Get: EL - Gec: JdW



0 55 110 220 330 440 meter



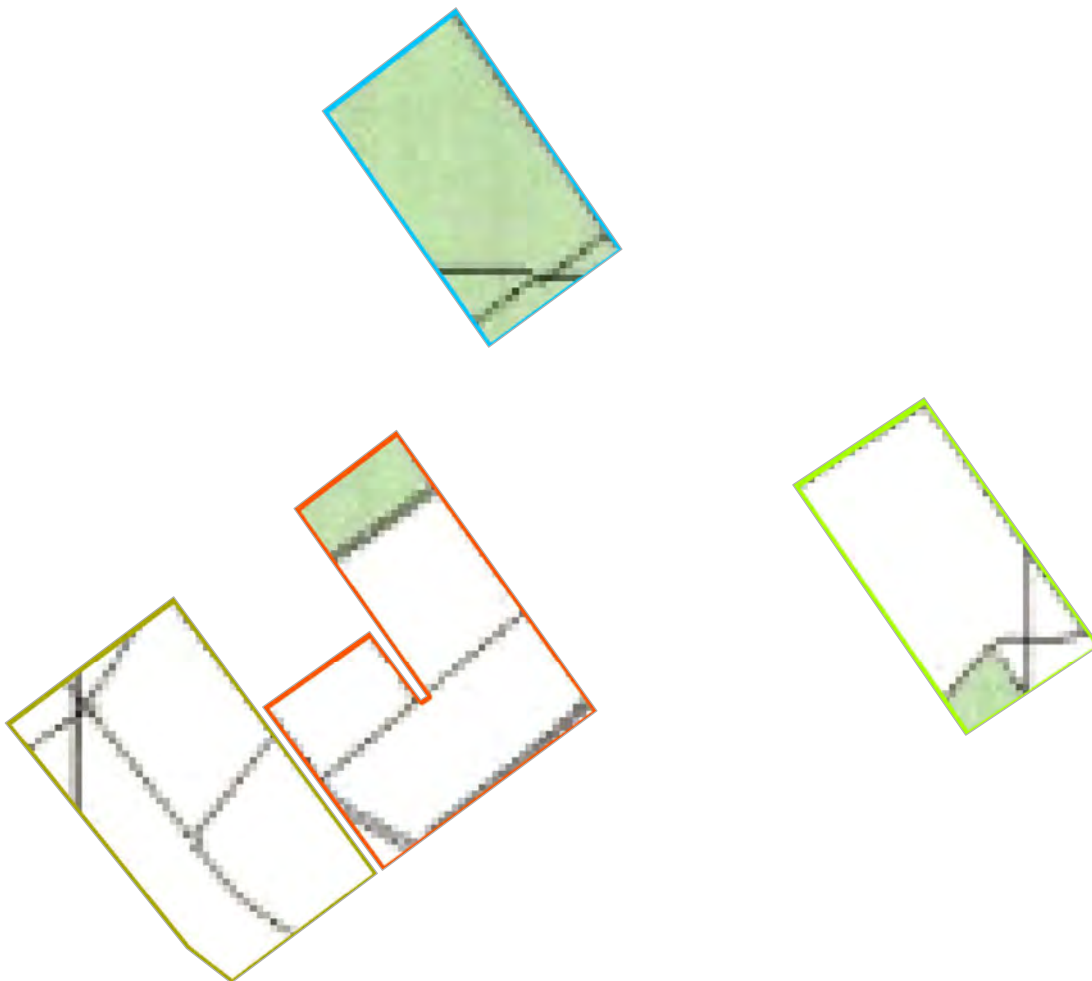
Locatie pilot 1 - topografische kaart 1970

Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:8.000
Formaat: A4
Get: EL - Gec: JdW



0 55 110 220 330 440 meter



Locatie pilot 1 - topografische kaart 1982

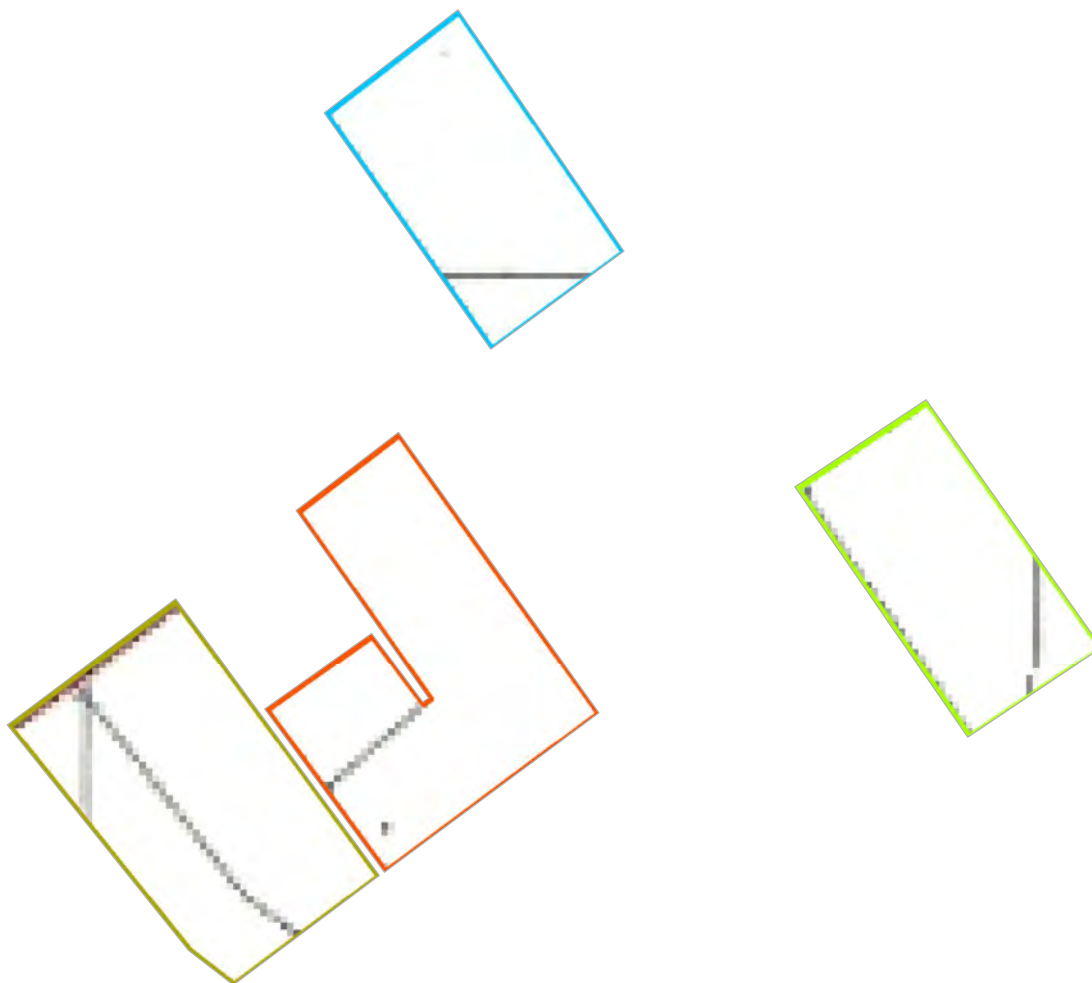
Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:8.000
Formaat: A4
Get: EL - Gec: JdW

© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden



0 55 110 220 330 440 meter



Locatie pilot 1 - topografische kaart 1990

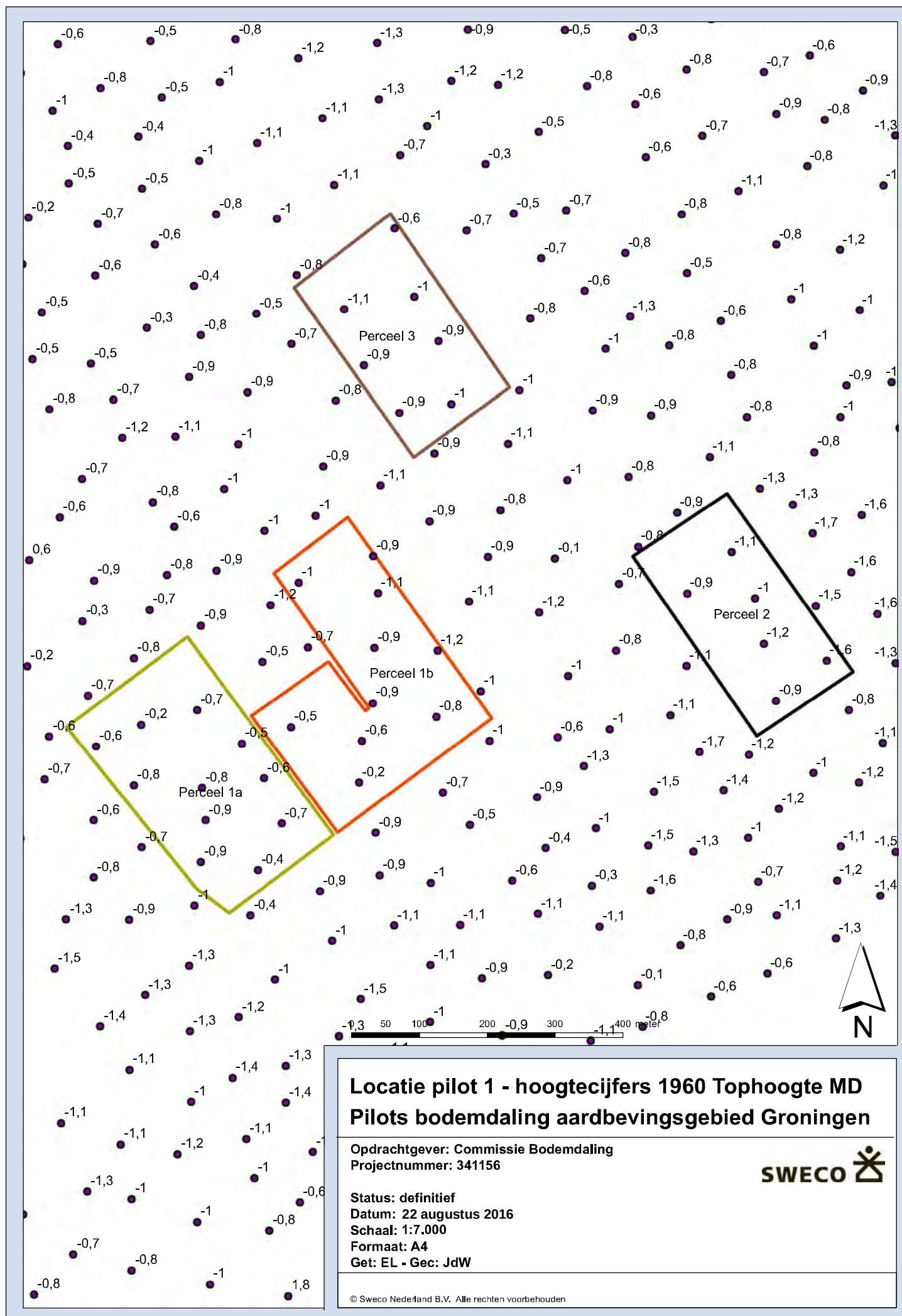
Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:8.000
Formaat: A4
Get: EL - Gec: JdW

© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden



Bodemopbouw 1972

In het kader van de ruilverkaveling zijn voor dit gebied bodemkaarten opgesteld en is een kaart gemaakt met de diepte waarop het veen begint [11]. De boordichtheid was één boring per ha tot 1,20 m -mv en één boring tot 2,00 m -mv per 3 ha. De hierna volgende profielen zijn afkomstig uit [11].

Perceel 1a

Boring nummer 26 op de kaart is gesitueerd aan de noordoostzijde van perceel 1a. Boring WL1-B01 is het meest dichtbij gesitueerd. Uit het profiel blijkt dat binnen 2,0 m -mv in 1972 geen veen in het profiel aanwezig was. Dit zien we ook in de boringen in dit gebied terug.

Nummer 26 (1972)

laag cm -mv	Code	Beschrijving	Doorlatendhei d (cm/etmaal)	Kalkklasse	Bijzonderheden
0 – 20	L7-H2K10	Matig zware klei (35-40%), matig humeus	10	-	
20 – 30	L7C0K5KN	Matig zware klei	5	Kalkarm	Knippige eigenschappen
30 – 80	L7C0K5	Matig zware klei	5	-	-
80 – 130	L6+C3K20	Lichte klei (30-35%)	20	kalkrijk	
130 – 160	L7-C3K10	Matig zware klei (35 – 40%)	10	Kalkrijk	
160 – 200	L6C3R1K10	Lichte klei	10	kalkrijk	Half gerijpt materiaal

Boring 27 is ongeveer in het midden van het perceel 1a gesitueerd. Boring WL1-B23 is het meest dichtbij gesitueerd. Uit het profiel blijkt dat vanaf 1,10 m -mv veen in het profiel aanwezig was en doorliep tot minimaal 2,0 m -mv.

Nummer 27 (1972)

laag cm -mv	Code	Beschrijving	Doorlatendhei d (cm/etmaal)	Kalkklasse	Bijzonderheden
0 – 15	L7-H2K10	Matig zware klei, matig humeus (35-40%)	10	-	
15 – 40	L7C0K5KN	Matig zware klei	5	Kalkarm	Knippige eigenschappen
40 – 70	L7C0K5	Matig zware klei	5	Kalkarm	-
70 – 110	L6C3K15	Lichte klei	20	kalkrijk	
110 – 130	L0C0K10KV	Kleiig veen	10	Kalkarm	
130 – 200	L0C0K20VR	Riet-zeggeveen	20	kalkarm	
	C				

Perceel 1b

Boring 27 is in het noordoostelijke deel van het perceel gesitueerd. Boring WL1-B16 en WL1-B21 zijn het meest dichtbij gesitueerd. Uit het profiel blijkt dat vanaf 1,20 m -mv veen in het profiel aanwezig was en doorliep tot minimaal 2,0 m -mv. Dit zien we ook in boringen WL1-B16 en WL1-B21 terug.

Nummer 11 (1972)

laag cm -mv	Code	Beschrijving	Doorlatendhei d (cm/etmaal)	Kalkklasse	Bijzonderheden
0 – 20	L7-H2K5	Matig zware klei, matig humeus (35-40%)	5	-	
20 – 50	L7C0K5	Matig zware klei	5	Kalkarm	
50 – 80	L6+C3K5	Lichte klei	5	Kalkarm	-
80 – 105	L5+C3K10	Zware zavel	20	kalkrijk	

105 – 120	L0C0K10VK,Z	Venige klei	10	Kalkarm	Zuur (kattklei)
120 – 140	L0C0K20VRC	Riet-zeggeveen	20	kalkarm	
140 – 160	L0C0K20VRC	Riet-zeggeveen	20	Kalkarm	
160 – 180	L0C0K10KV	Kleiig veen	10	Kalkarm	
180 - 200	L0C0K20VRC	Riet-zeggeveen	20	kalkarm	

Perceel 2

Boring 15 is in de noordoostelijke hoek van het perceel gesitueerd. Boring WL2-B01 is het meest dichtbij gesitueerd. Uit het profiel blijkt dat vanaf 0,45 m -mv veen in het profiel aanwezig was en doorliep tot 1,90 m -mv. In boring WL2-B01 zien we dat het veen op circa 0,65 m begint.

Nummer 15 (1972)

laag cm -mv	Code	Beschrijving	Doorlatendheid (cm/etmaal)	Kalkklasse	Bijzonderheden
0 – 15	L7H2K5	Matig zware klei, matig humeus	5	-	
15 – 45	L7C0K2KN	Matig zware klei	2	Kalkarm	Knippige eigenschappen
45 – 60	L0C0K15VN	Veen	15	Kalkarm	-
60 – 100	L0C0K20VRC	Riet-zeggeveen	20	kalkarm	
100 – 150	L0C0K15KV	Kleiig veen	15	Kalkarm	
150 – 190	L0C0K20VRC	Riet-zeggeveen	20	kalkarm	
190 – 200	L7-C0K25	Matig zware klei	25	Kalkarm	

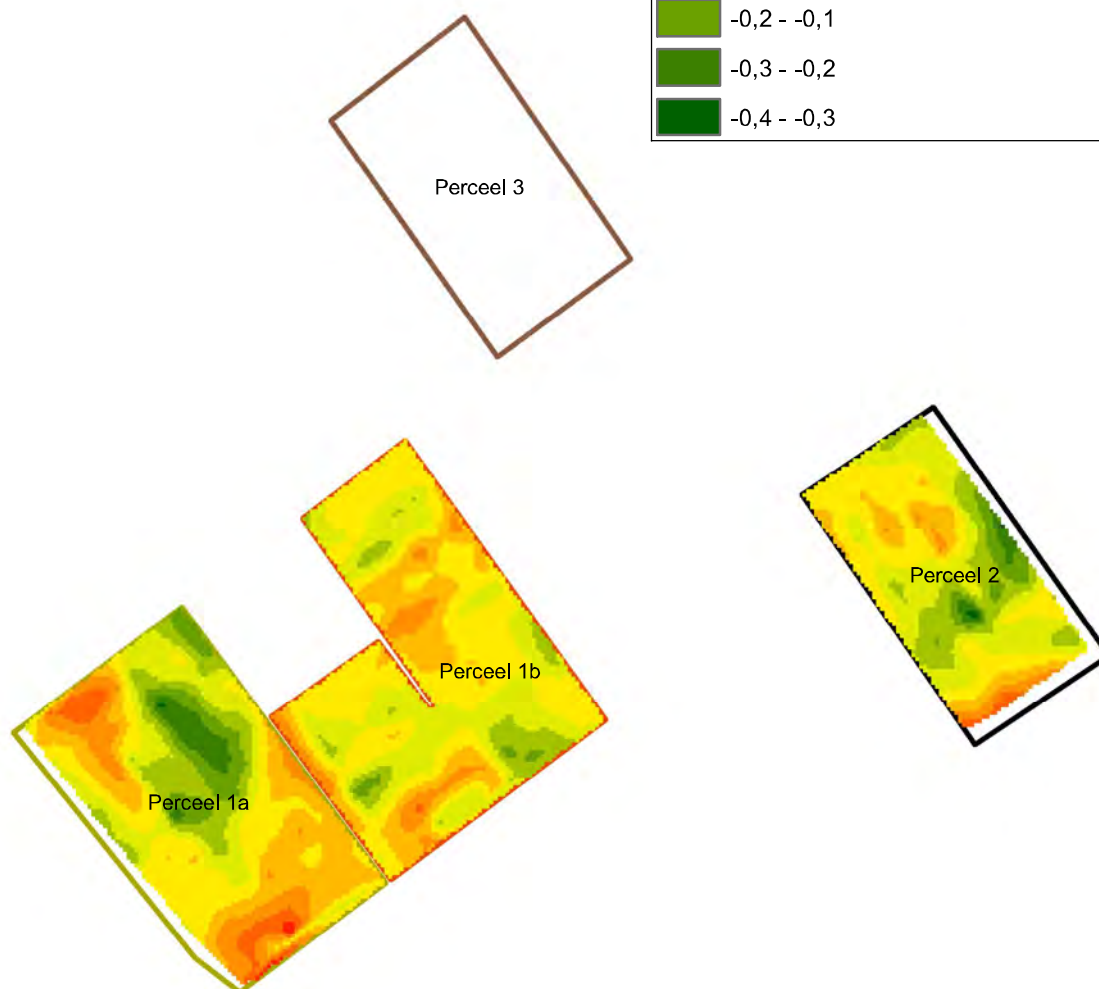
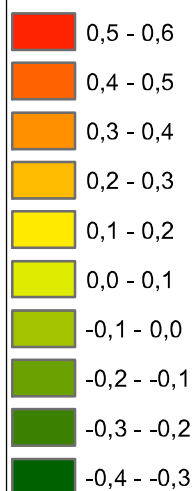
Referentieperceel

Boring 41 is in de noordoostelijke hoek van het perceel gesitueerd. Boring WR2-B02 en WR2-B03 zijn het meest dichtbij gesitueerd. Uit het profiel blijkt dat vanaf 1,10 m -mv veen in het profiel aanwezig was en doorliep tot minimaal 2,00 m -mv. In boring WR2-B02 en WR2-B03 zien we dat het veen op circa 0,75 m à 1,05 m begint.

Nummer 41 (1972)

laag cm -mv	Code	Beschrijving	Doorlatendheid (cm/etmaal)	Kalkklasse	Bijzonderheden
0 – 15	L7H2K3	Matig zware klei, matig humeus	3	-	
15 – 45	L7C0K2KN	Matig zware klei	2	Kalkarm	Knippige eigenschappen
45 – 65	L6+C0K10G	Lichte klei	10	Kalkarm	gelaagd
65 – 90	L7C0K5	Matig zware klei	5	kalkarm	
90 – 110	L7C0K5HK	Matig zware klei	5	Kalkarm	Humeuze klei
110 – 130	L0C010VN	Veen	20	kalkarm	
130 – 190	L0C0K25VRC	Riet-zeggeveen	25	Kalkarm	
190 – 200	L0C0K10KV	Kleiig veen	10	Kalkarm	

Maaiveld daling (m) Gecorrigeerd voor aardgaswinning



0 62,5 125 250 375 500 meter



Pilot locatie 1 - maaiveld daling 1960-2015 Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156

SWECO 

Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:8.000
Formaat: A4
Get: EL - Gec: JdW

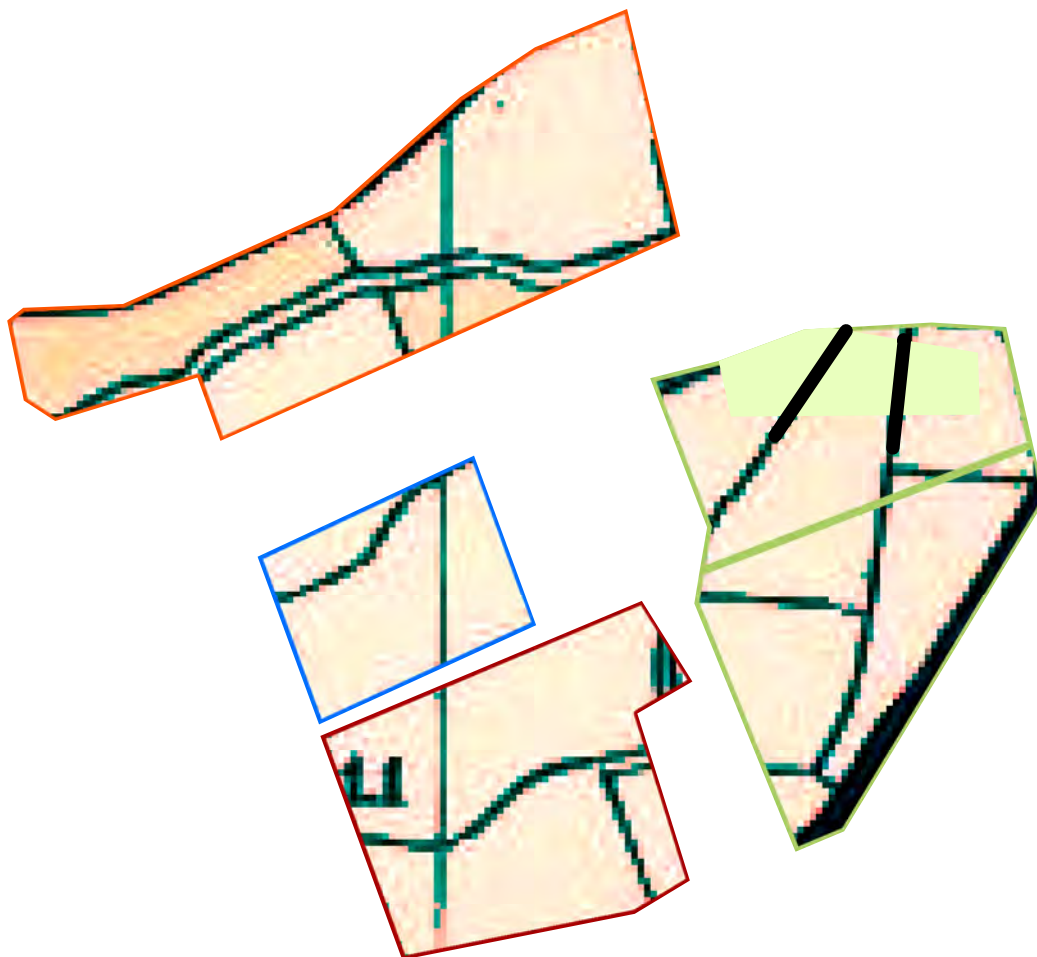
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

Bijlage 9

Analyse bodemdaling locatie pilot 2 (tabel + kaarten)

Mogelijke oorzaak bodemdaling	Bronnen van informatie ter verificatie en beoordeling oorzaken en processen	Bodemproces	Beoordeling perceel 1 (Boringen RL1-B01 t/m RL1-B08, VRL1-B06, VRL1-B09)
Peilbeheer - peilaanpassingen - onderbemalingen	Peilbesluiten waterschap Noorderzijlvest	Samendrukking van bovenlagen (klei)	Tussen 1985 en 1992/1994 peilverlaging van 0,17 m doorgevoerd. Na 2000 peilverlaging van 0,06 m doorgevoerd.
	Boorprofielen		Bij de boringen is geen veen aangetroffen. In het profiel zijn tot 8 m -mv lagen zavel aangetroffen die licht tot matig zettingsgevoelig zijn.
	Informatie eigenaar		Geen informatie
Bemaling (tijdelijke grondwaterstandsverlaging)	Waterschap Noorderzijlvest	Samendrukking van bovenlagen (klei)	Er is geen informatie over eventueel uitgevoerde bemalingen bekend
	Boorprofielen		Het bodemprofiel bestaat uit zavel (geotechnisch omschreven als sterk zandige tot sterk siltige klei).
Klimaatverandering/verdroging (permanente grondwaterstandsverlaging)	Neerslag- en verdampingsgegevens KNMI	Rijping/krimp van klei	In het kader van deze studie zijn geen klimaatgegevens beschouwd
	Meerjarige monitoringsgegevens grondwater in peilbuizen (DINO)		Geen gegevens in de nabijheid beschikbaar.
Vochtonttrekking door gewas en bodem	Boorprofielen	Rijping/krimp van klei	Het bodemgebruik is bouwland. Het bodemprofiel bestaat tot het GLG niveau uit zavel.
	Grondwaterstanden		De grondwaterstanden fluctueren tussen 0,45 m en 2,00 m -mv.
	Oppervlaktewaterpeil		Het oppervlaktewaterpeil wordt vast op NAP -1,16 m gehanteerd.
Slootdempingen	Informatie grondeigenaar	Samendrukking van bovenlagen (klei)	Volgens de eigenaar zijn er ter plaatse van de locaties met maaiveld daling geen slootdempingen uitgevoerd.
	Historische kaarten	Klink dempingsmateriaal	Rond 1996 zijn sloten in midden van het perceel gedempt, een sloot in de lengterichting en de breedterichting. In de lengterichting was tevens een pad/weg aanwezig. Rond 1982 is tevens een sloot gedempt
	AHN2		Ligging van oude slootpatronen zichtbaar door lagere ligging
	Resultaten hoogtemeting (2015)		Laagste delen perceel komen overeen met oude slootpatronen
	Boorprofielen		Er zijn geen vreemde bodemmaterialen in de boringen aangetroffen. Grond is niet als verwerkt gekarakteriseerd.
			De boringen in het laagste deel toont de aanwezigheid van een slootdemping niet aan.
Ontgravingen (bv leidingaanleg) - nazakkingen sleuven - onvoldoende compensatie grondtekort	Informatie eigenaar	Samendrukking van bovenlagen (klei)	Volgens de eigenaar zijn er geen kabels en leidingen aangelegd in de percelen.
	Boorprofielen		Geen veen aangetroffen.
Ophogingen/aanvullingen op maaiveld	Informatie eigenaar	Samendrukking van bovenlagen (klei)	Volgens de eigenaar zijn er geen aanvullingen/ophogingen en egalisatiewerkzaamheden op het perceel uitgevoerd
	Luchtfoto's		Luchtfoto's tonen geen ophogingen of grondaanvullingen aan.
	Boorprofielen		In de boringen is geen verwerkte grond of zijn vreemde materialen aangetroffen.
Compactie gasreservoir	NAM gegevens	Compactie diepe ondergrond	Op basis van NAM gegevens is een gelijkmatige bodemdaling van 0,28 m opgetreden. In 2008 gradiënt van ongeveer 1,3 cm per km en in 2025 een gradiënt ongeveer 1,5 cm per km. Dit verschil is niet waarneembaar op perceelsniveau
Verweking (geïnduceerde aardbevingen)	Veldwaarnemingen/informatie eigenaar Literatuur/ NPR 9998	Verweking	Geen waarnemingen/informatie van wellen of scheefgezakte objecten op het perceel Er hebben geen relevante zakking(sverschillen) ten gevolge van verwekingseffecten kunnen plaatsvinden.

Mogelijke oorzaak bodemdaling	Bronnen van informatie ter verificatie en beoordeling oorzaken en processen	Bodemproces	Beoordeling perceel 2 (Boringen RL2-B01 t/m RL2-B09, VRL2-B01, VRL2-B02)
Peilbeheer - peilaanpassingen - onderbemalingen	Peilbesluiten waterschap Noorderzijlvest	Samendrukking van bovenlagen (klei)	Tussen 1985 en 1992/1994 peilverlaging van 0,17 m doorgevoerd. Na 2000 peilverlaging van 0,06 m doorgevoerd.
	Boorprofielen		Bij de boringen is geen veen aangetroffen. In het profiel zijn tot 5 m -mv lagen zavel aangetroffen die licht tot matig zettingsgevoelig zijn.
	Informatie eigenaar		
Bemaling (tijdelijke grondwaterstandsverlaging)	Waterschap Noorderzijlvest	Samendrukking van bovenlagen (klei)	Er is geen informatie over eventueel uitgevoerde bemalingen bekend
	Boorprofielen		Het bodemprofiel bestaat grotendeels uit zavel (geotechnisch omschreven als sterk zandige tot sterk siltige klei).
Klimaatverandering/verdroging (permanente grondwaterstandsverlaging)	Neerslag- en verdampingsgegevens KNMI	Rijping/krimp van klei	In het kader van deze studie zijn geen klimaatgegevens beschouwd
	Meerjarige monitoringsgegevens grondwater in peilbuizen (DINO)		Geen gegevens in de nabijheid beschikbaar.
Vochtonttrekking door gewas en bodem	Boorprofielen	Rijping/krimp van klei	Het bodemgebruik is bouwland. Het bodemprofiel bestaat tot het GLG niveau uit zavel.
	Grondwaterstanden		De grondwaterstanden fluctueren tussen 0,35 m en 1,90 m -mv.
	Oppervlaktewaterpeil		Het oppervlaktewaterpeil wordt vast op NAP -1,16 m gehanteerd.
Slootdempingen	Informatie grondeigenaar	Samendrukking van bovenlagen (klei) Klink dempingsmateriaal	Volgens de eigenaar zijn er ter plaatse van de verlagingen/verhogingen geen slootdempingen uitgevoerd.
	Historische kaarten		Omstreeks 1961 en 1982 zijn sloot lopend van noord naar zuid gedempt.
	AHN2		Op de AHN-2 zijn verlagingen in het maaiveld zichtbaar ter plaatse van slootdempingen.
	Resultaten hoogtemeting (2015)		Laagste delen perceel komen overeen met oude slootpatronen (patronen dempingen 1953 en 1961)
	Boorprofielen		Er zijn geen vreemde bodemmateriële in de boringen aangetroffen. Grond is niet als verwerkt gekarakteriseerd. De boringen in de laagte toont de aanwezigheid van een slootdemping niet aan.
Ontgravingen (bv leidingaanleg) - nazakkingen sleuven - onvoldoende compensatie grondtekort	Informatie eigenaar	Samendrukking van bovenlagen (klei)	Volgens de eigenaar zijn er geen kabels en leidingen aangelegd in de percelen.
	Boorprofielen		Geen veen aangetroffen.
Ophogingen/aanvullingen op maaiveld	Informatie eigenaar	Samendrukking van bovenlagen (klei)	Volgens de eigenaar zijn er geen aanvullingen/ophogingen en egalisatiewerkzaamheden op het perceel uitgevoerd
	Luchtfoto's		Ter plaatse van de zuidwestelijke hoek mogelijk ophogingen/ontgravingen uitgevoerd ter hoogte van de waterpartij
	Boorprofielen		In de boringen is geen verwerkte grond of zijn vreemde materialen aangetroffen.
Compactie gasreservoir	NAM gegevens	Compactie diepe ondergrond	Op basis van NAM gegevens is een gelijkmatige bodemdaling van 0,28 m opgetreden. In 2008 gradiënt van ongeveer 1,3 cm per km en in 2025 een gradiënt ongeveer 1,5 cm per km. Dit verschil is niet waarneembaar op perceelsniveau
Verweking (geïnduceerde aardbevingen)	Veldwaarnemingen/informatie eigenaar Literatuur/ NPR 9998	Verweking	Geen waarnemingen/informatie van wellen of scheefgezakte objecten op het perceel Er hebben geen relevante zakking(sverschillen) ten gevolge van verwekingseffecten kunnen plaatsvinden.



0 40 80 160 240 320 meter



Pilot locatie 2 – topografische kaart 1953

Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:6.000
Formaat: A4
Get: EL - Ge: JdW



0 40 80 160 240 320 meter



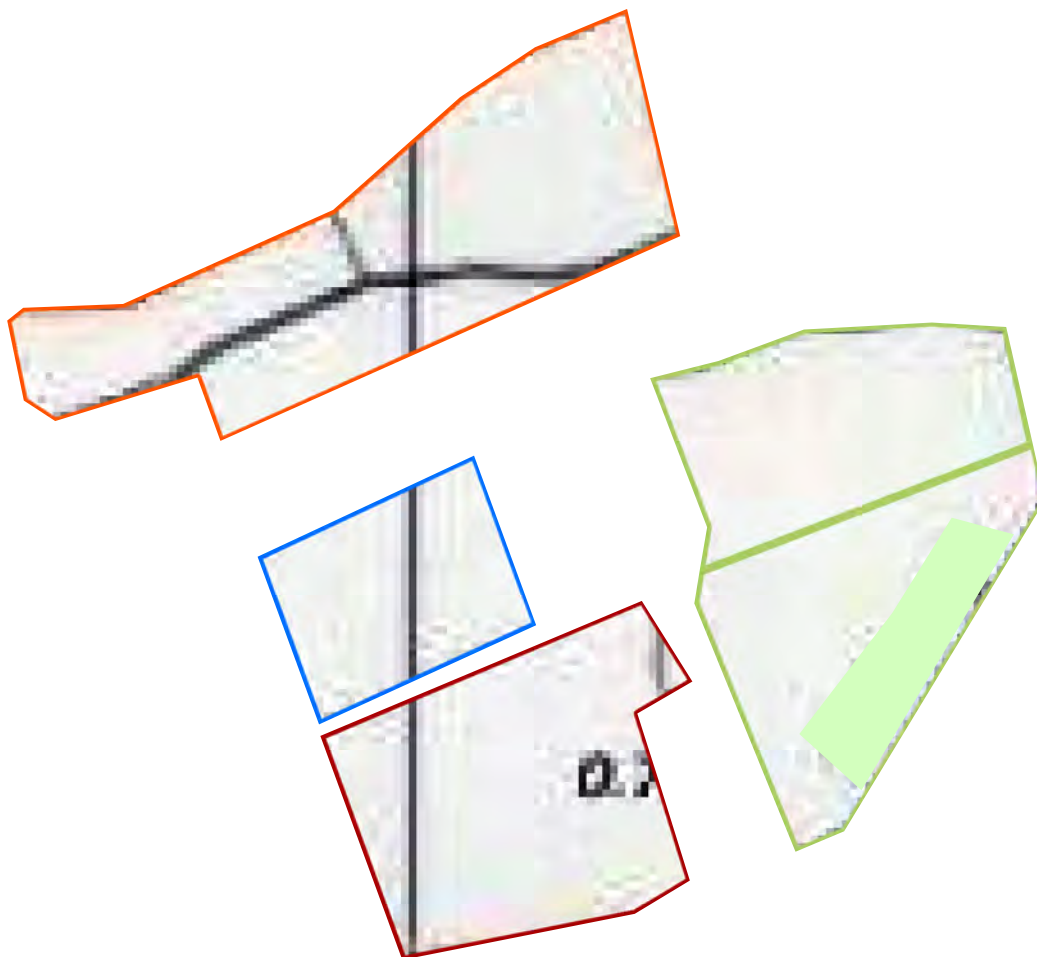
Pilot locatie 2 – topografische kaart 1971

Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:6.000
Formaat: A4
Get: EL - Ge: JdW



0 40 80 160 240 320 meter



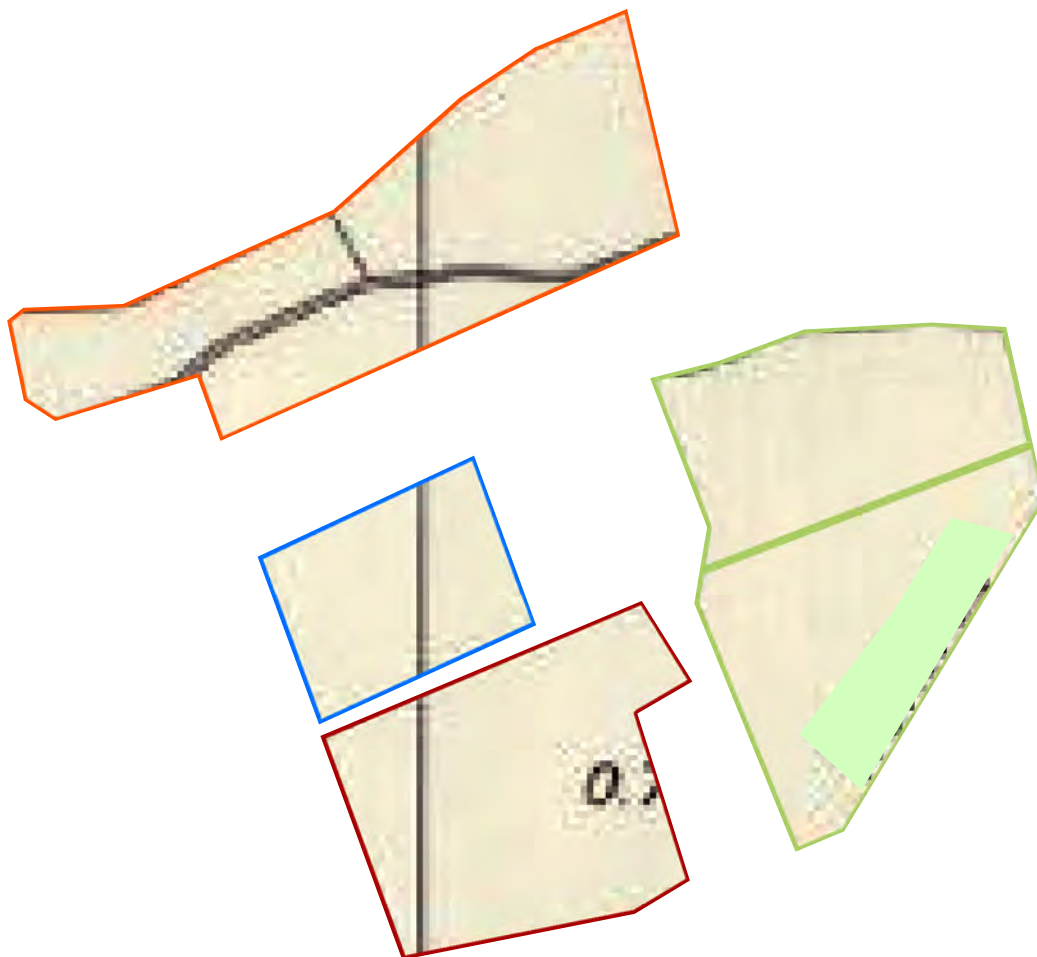
Pilot locatie 2 – topografische kaart 1982

Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:6.000
Formaat: A4
Get: EL - Ge: JdW



0 40 80 160 240 320 meter



Pilot locatie 2 – topografische kaart 1993

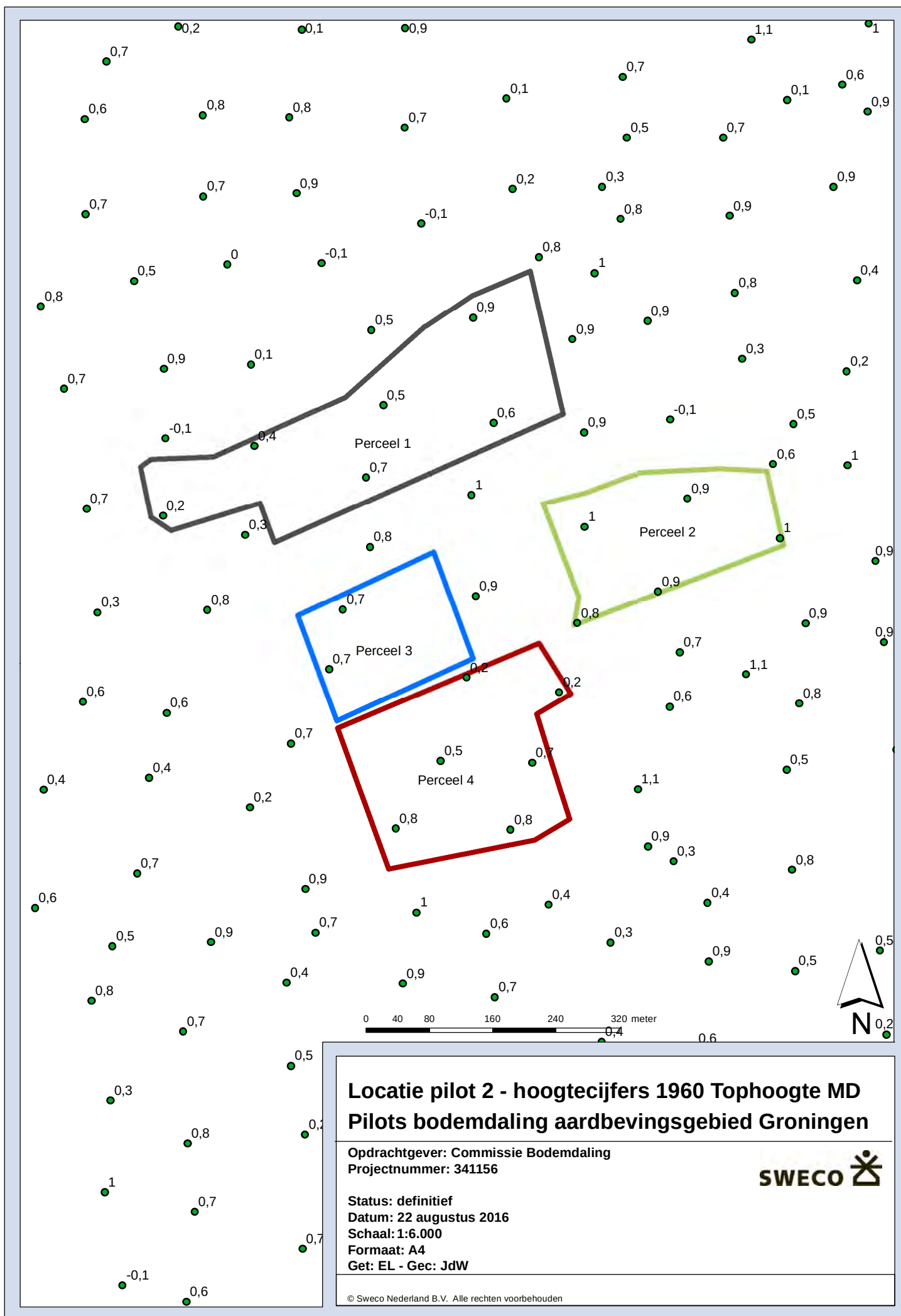
Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156

SWECO 

Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:6.000
Formaat: A4
Get: EL - Ge: JdW

© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden



Locatie pilot 2 - hoogtecijfers 1960 Tophoogte MD Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

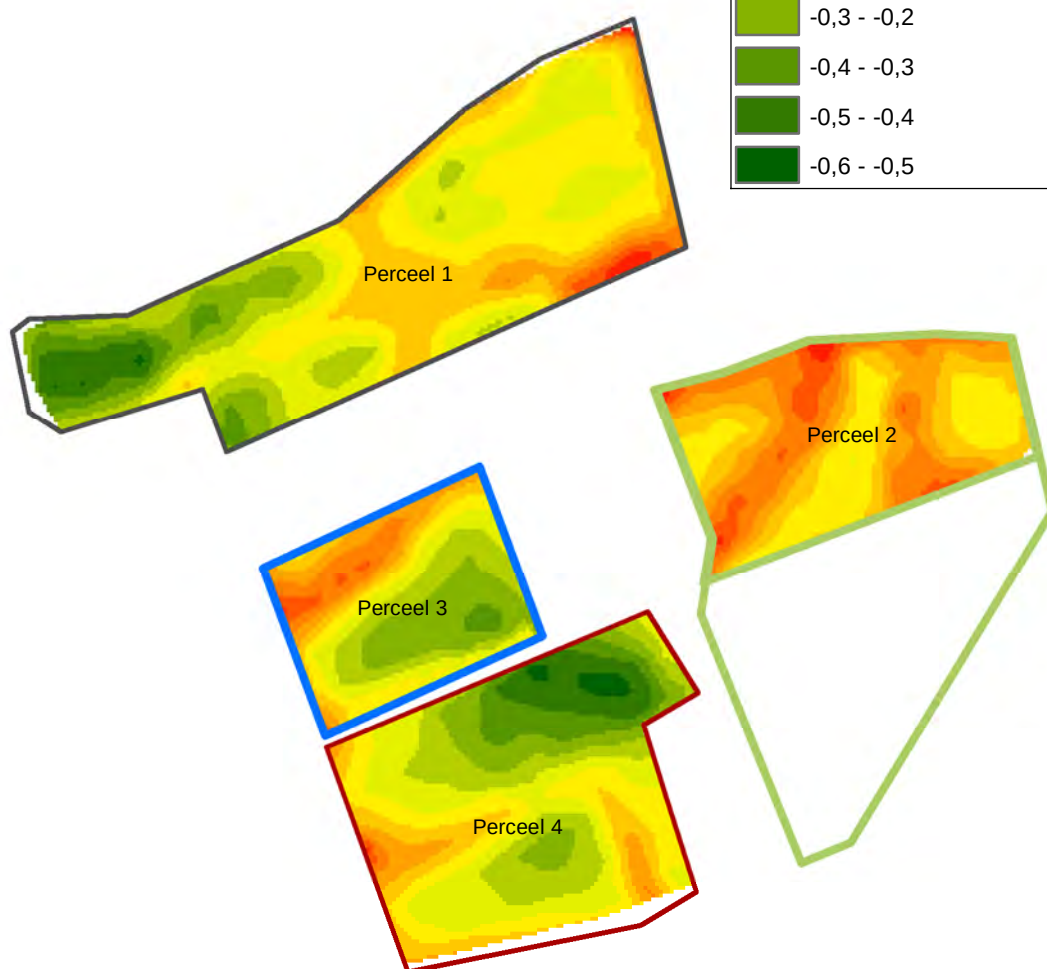
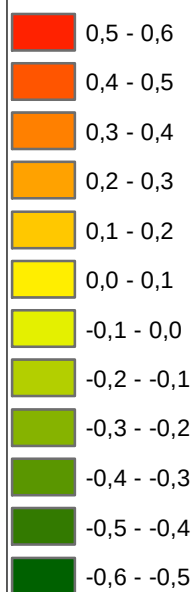
Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:6.000
Formaat: A4
Get: EL - Gec: JdW

© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

Maaiveld daling (m) Gecorrigeerd voor aardgaswinning



0 37,5 75 150 225 300 meter



Locatie pilot 2 - maaiveld daling 1960-2015 Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



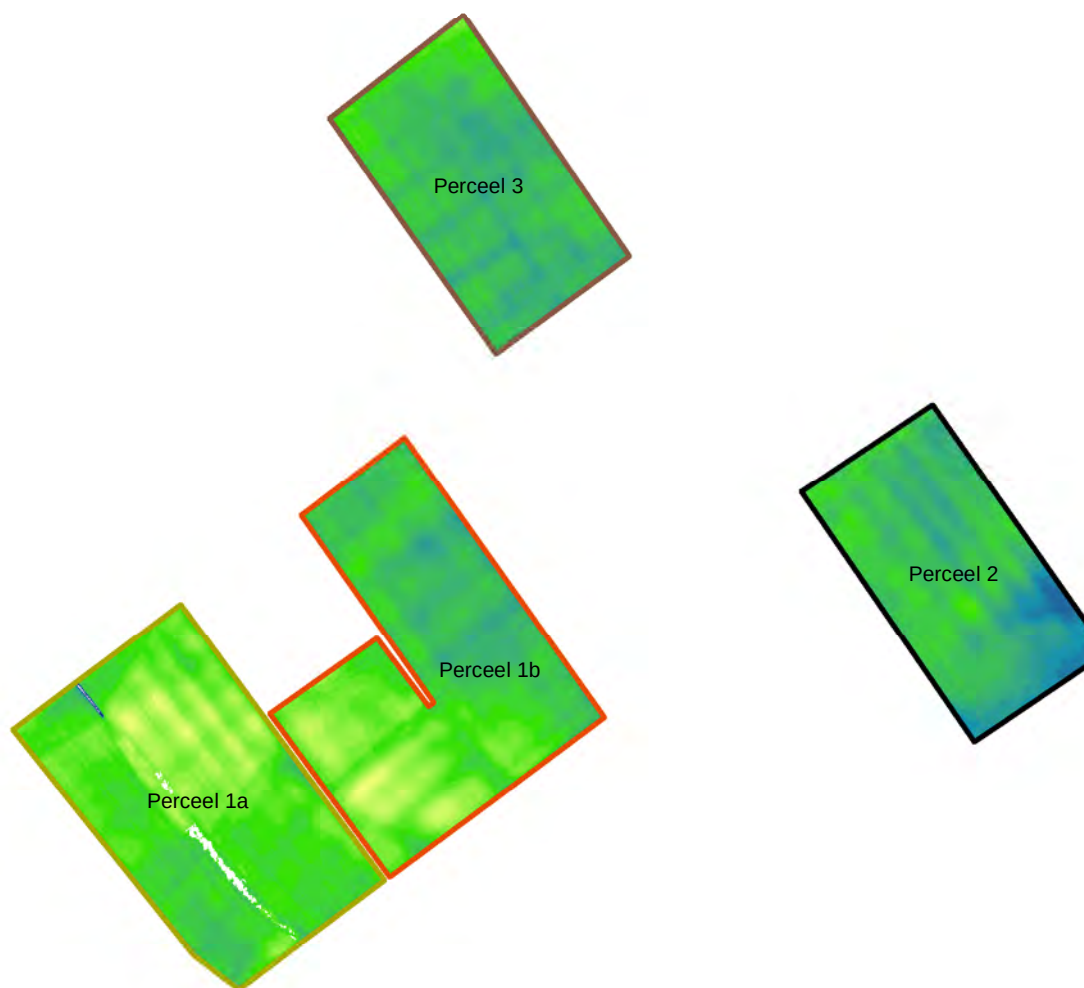
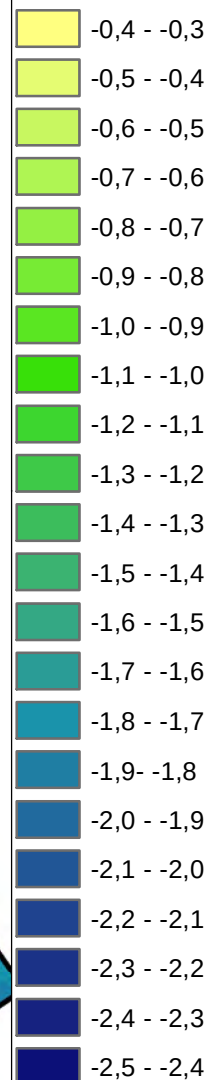
Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:6.000
Formaat: A4
Get: EL - Gec: JdW

Bijlage 10

AHN-2 locatie pilot 1 en locatie pilot 2

Hoogte (m NAP)

AHN2



0 55 110 220 330 440 meter



Pilot locatie 1 - perceelhoogtes AHN2

Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

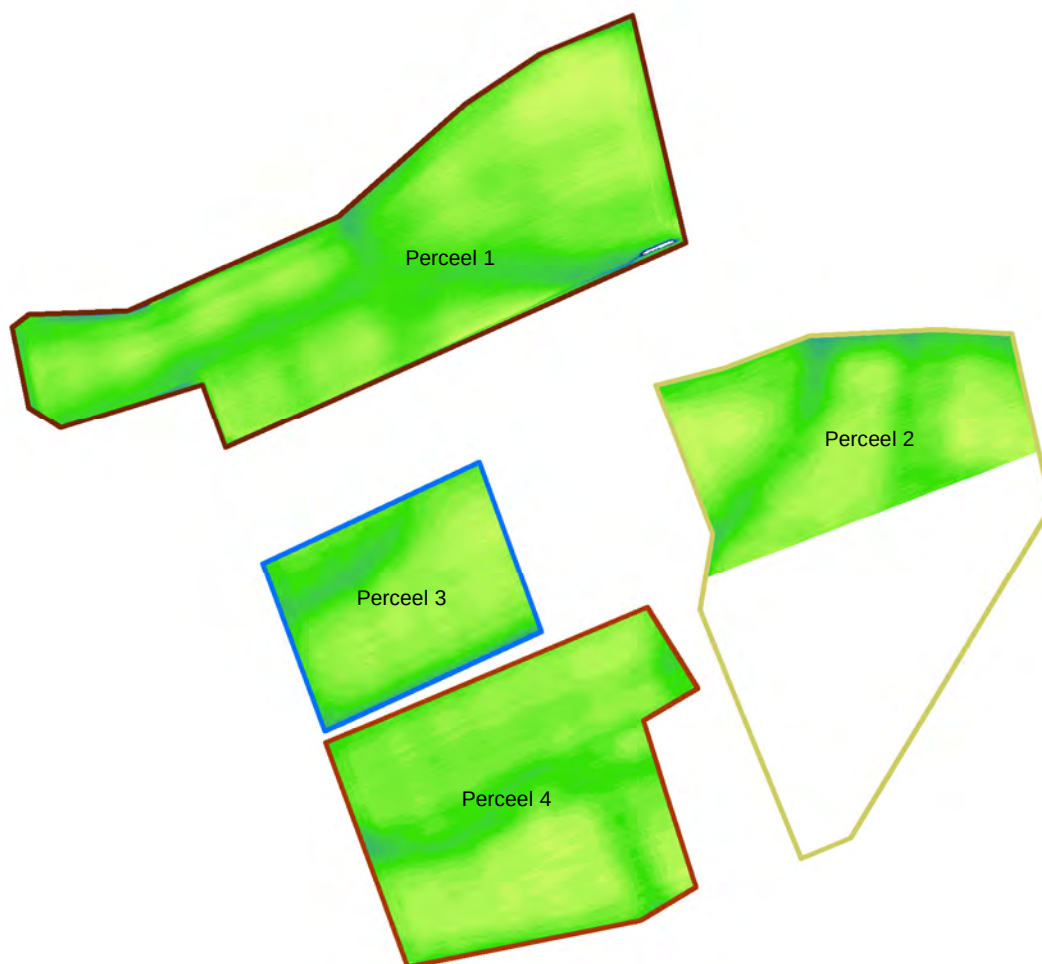
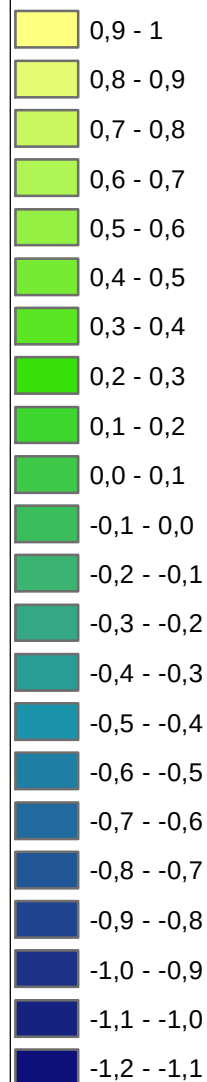
Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:8.000
Formaat: A4
Get: EL - Gec: JdW

Hoogte (m NAP)

AHN2



0 40 80 160 240 320 meter



Locatie pilot 2 - perceelhoogtes AHN2

Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

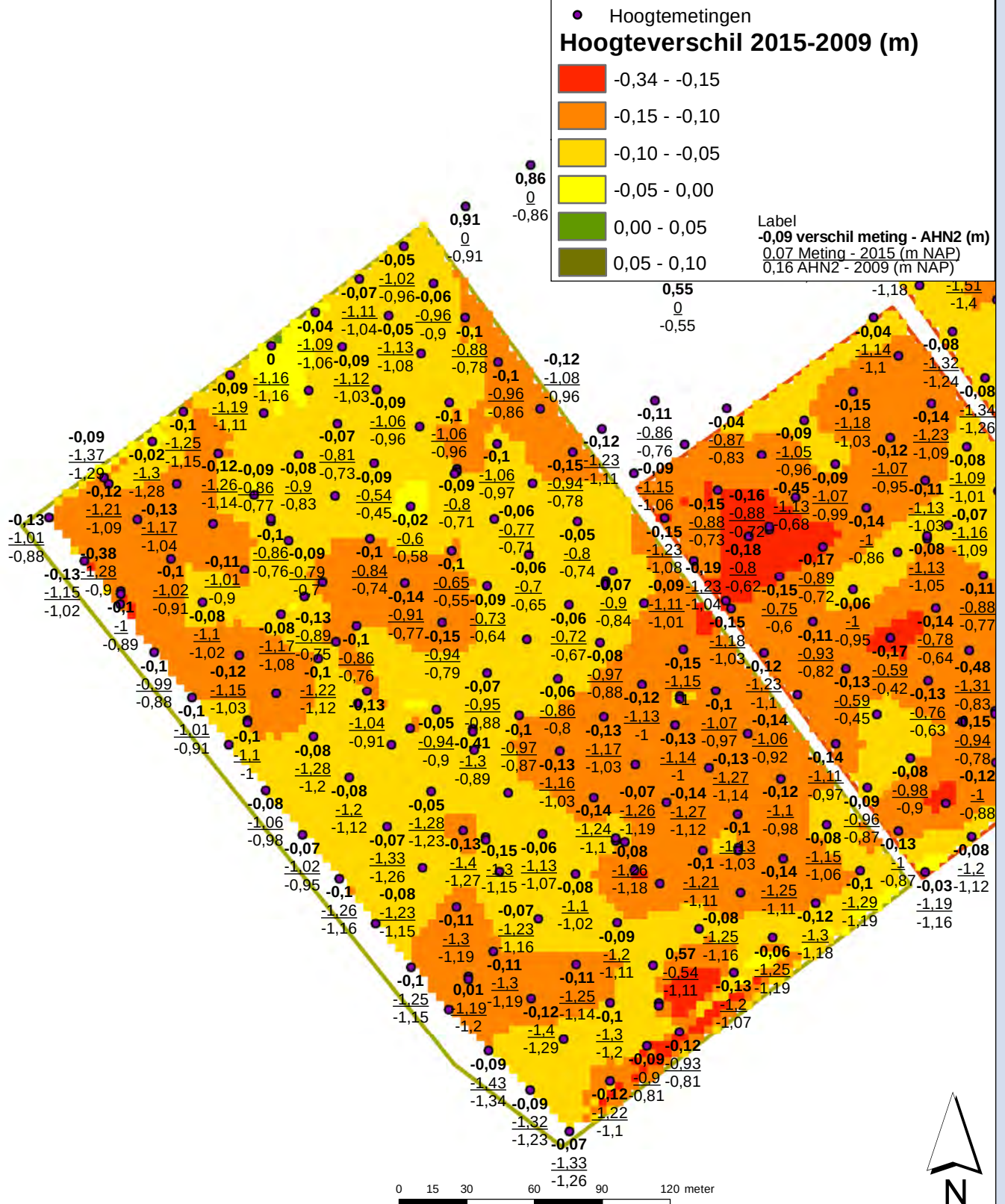
Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:6.000
Formaat: A4
Get: EL - Gec: JdW

Bijlage 11

Geïnterpoleerde hoogteverschilkaarten locatie pilot 1



Locatie pilot 1 - verschil metingen - AHN2, perceel 1a

Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

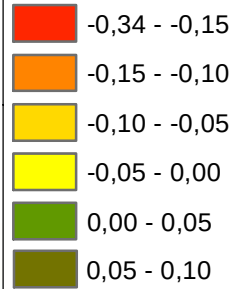
Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



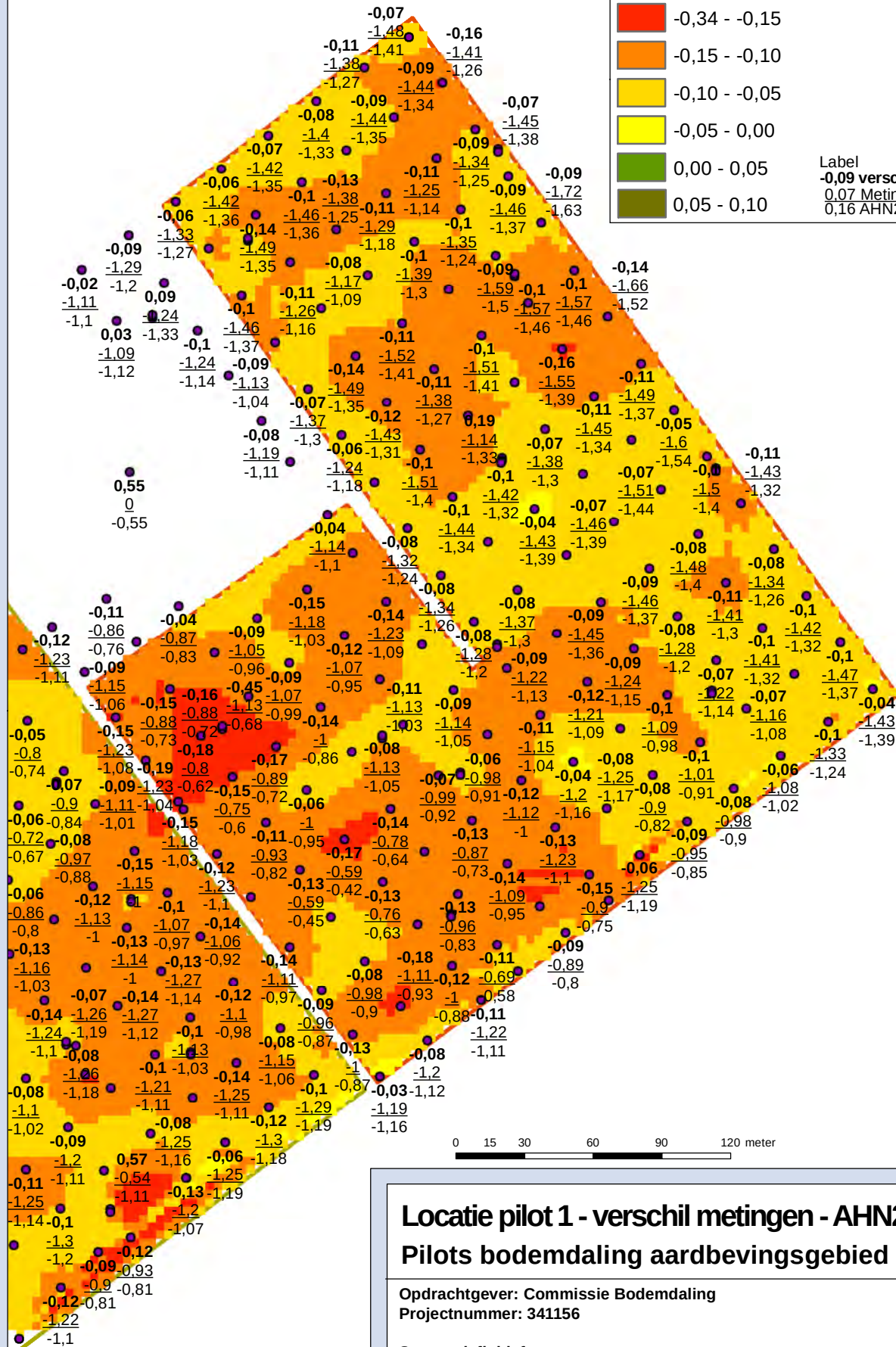
Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:2.500
Formaat: A4
Get: EL - Gec: JdW

• Hoogtemetingen

Hoogteverschil 2015-2009 (m)



Label
-0,09 verschil meting - AHN2 (m)
0,07 Meting - 2015 (m NAP)
0,16 AHN2 - 2009 (m NAP)



0 15 30 60 90 120 meter



Locatie pilot 1 - verschil metingen - AHN2, perceel 1b Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156

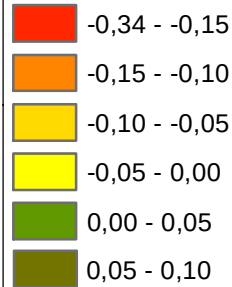
SWECO

Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:2.500
Formaat: A4
Get: EL - Gec: JdW

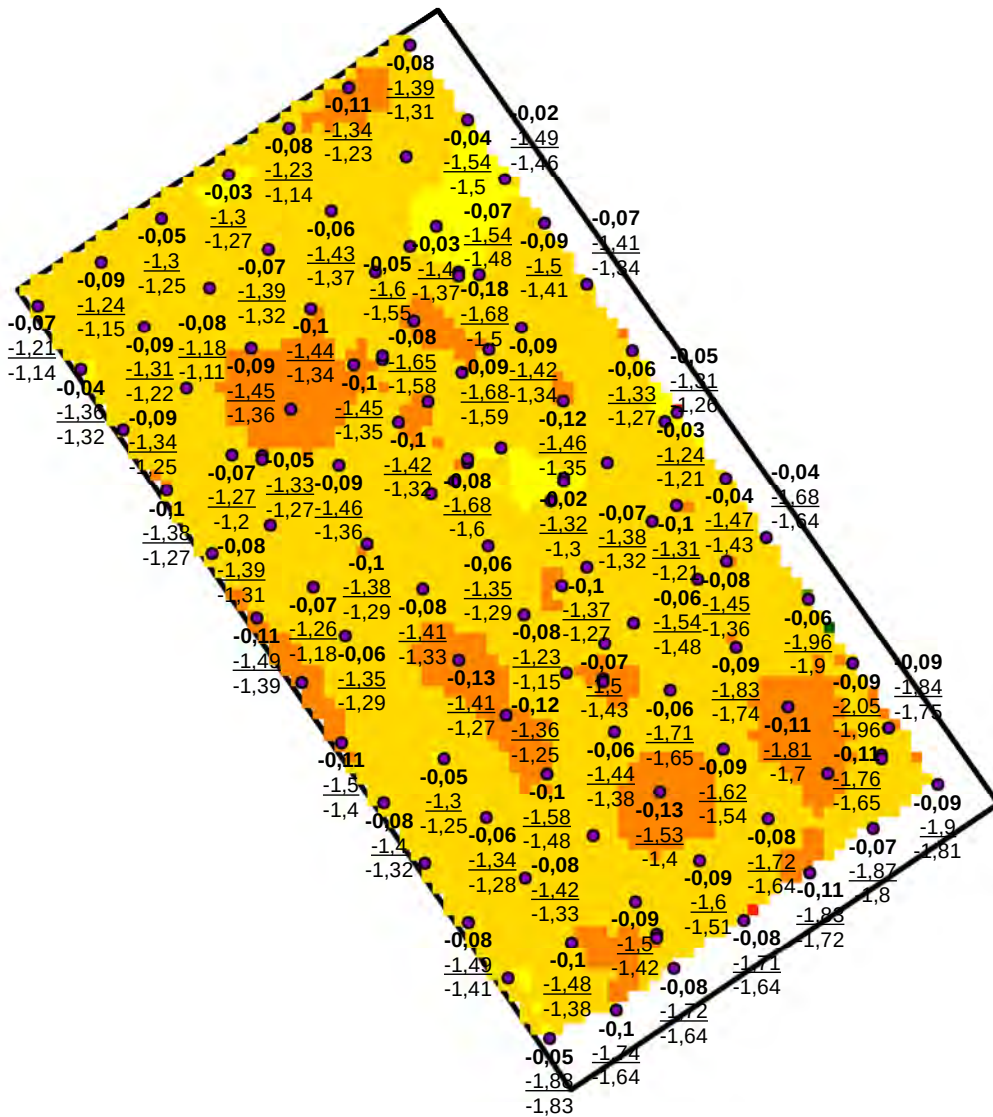
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

• Hoogtemetingen

Hoogteverschil 2015-2009 (m)



Label
-0,09 verschil meting - AHN2 (m)
0,07 Meting - 2015 (m NAP)
0,16 AHN2 - 2009 (m NAP)



0 15 30 60 90 120 meter



Locatie pilot 1 - verschil metingen - AHN2, perceel 2 Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:2.500
Formaat: A4
Get: EL - Gec: JdW

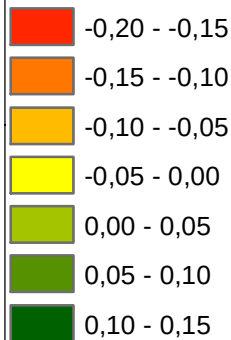
Bijlage 12

Geïnterpoleerde hoogteverschilkaarten locatie pilot 2



• Hoogtemetingen

Hoogteverschil 2015-2009 (m)



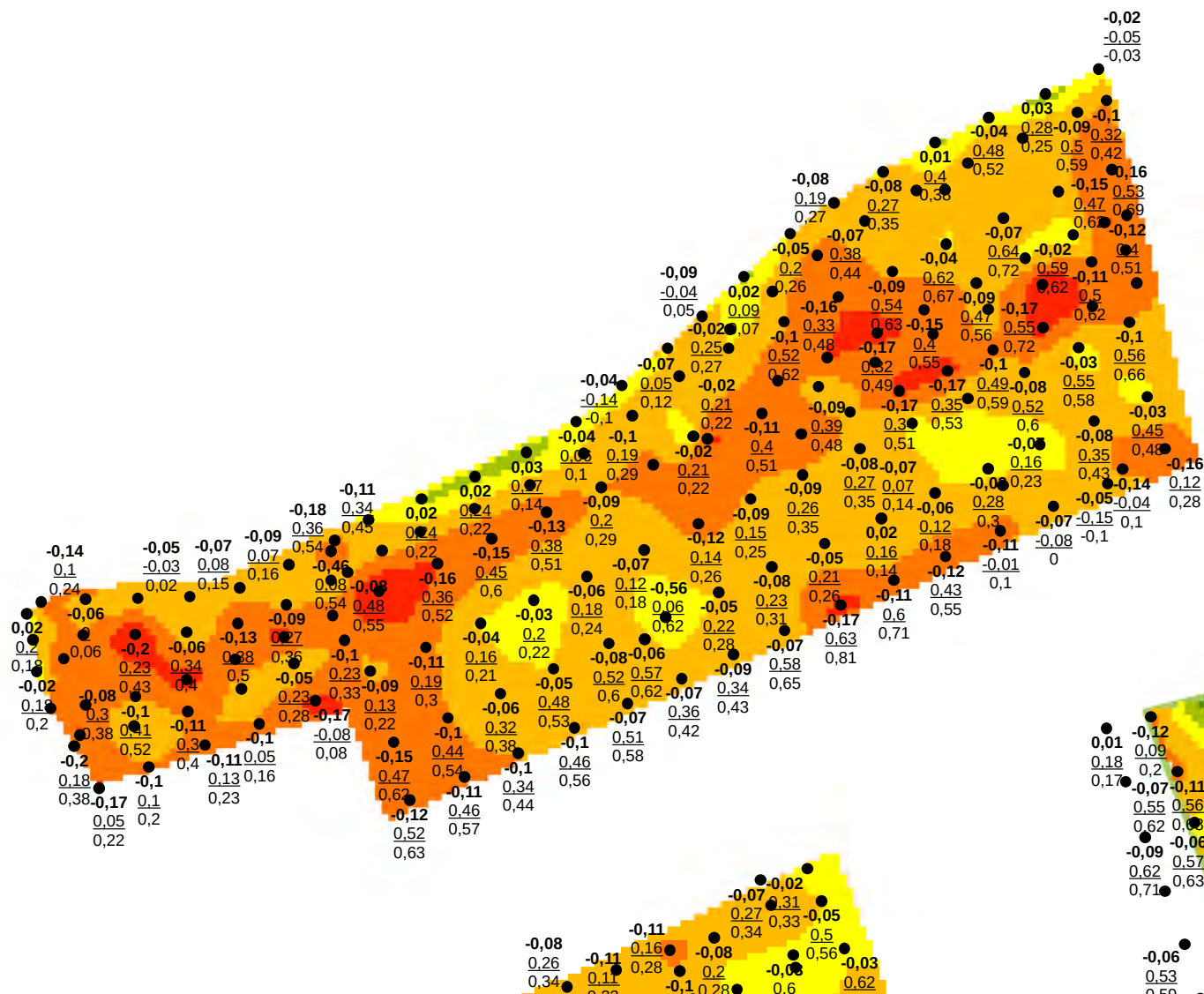
Label

-0,09 verschil meting - AHN2 (m)

0,07 meting 2015 (m NAP)

0,16 AHN2 - 2009 (m NAP)

0 20 40 80 120 160 meter



Locatie pilot 2 - verschil metingen - AHN2, perceel 1

Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:3.000
Formaat: A4
Get: EL - Gec: JdW



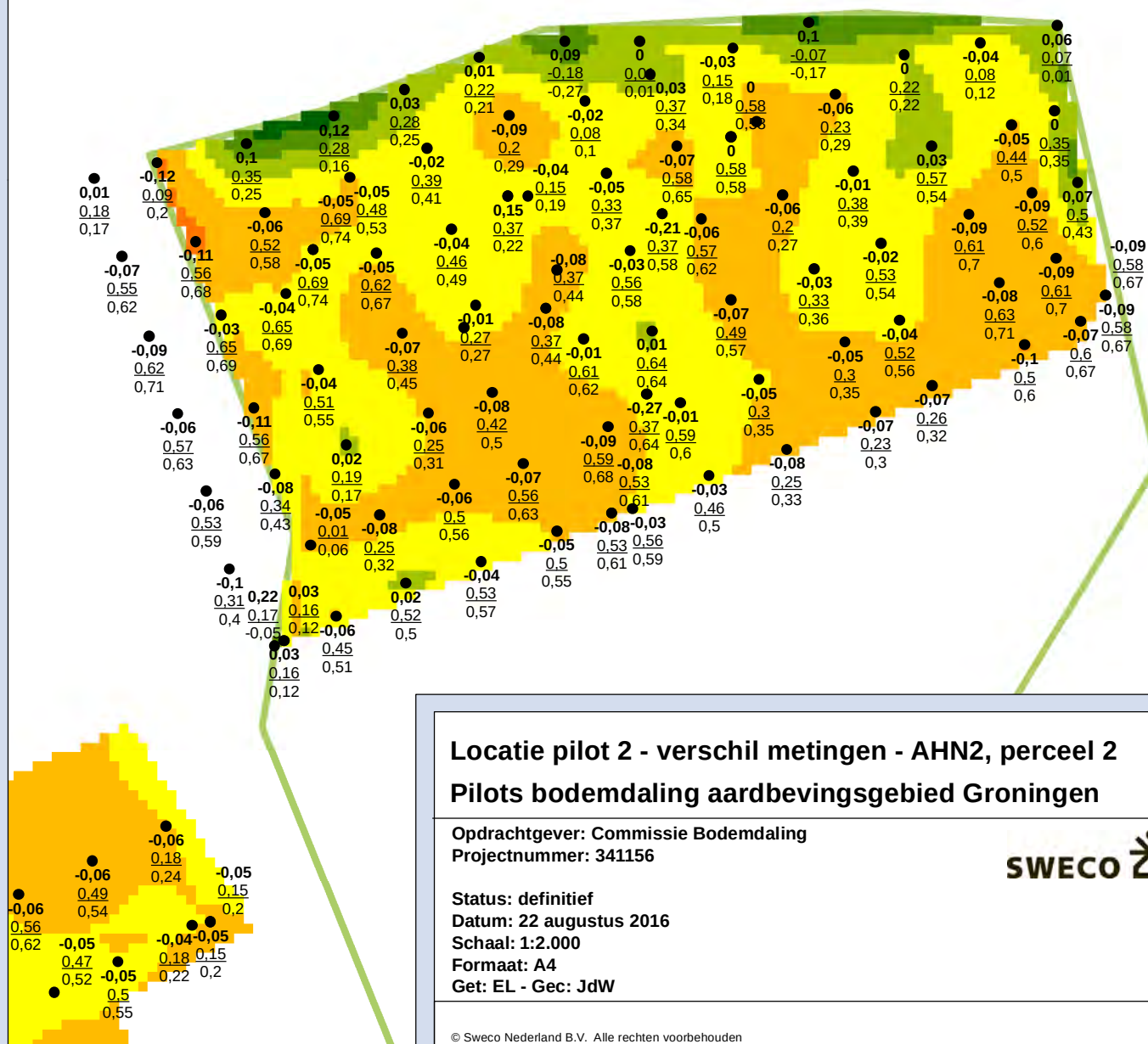
• Hoogtemetingen

Hoogteverschil 2015-2009 (m)



Label
-0,09 verschil meting - AHN2 (m)
0,07 meting 2015 (m NAP)
0,16 AHN2 - 2009 (m NAP)

0 12,5 25 50 75 100 meter



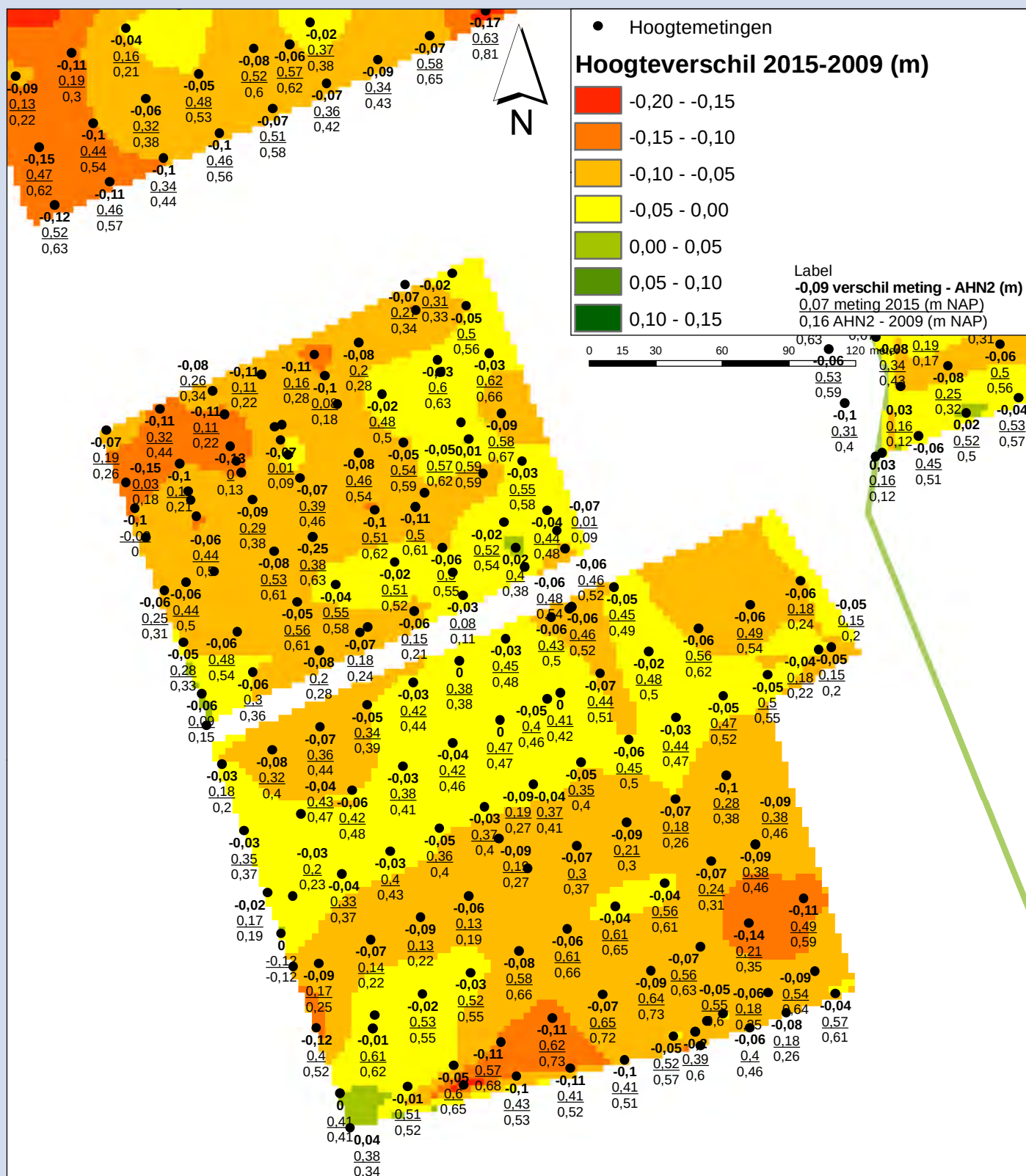
Locatie pilot 2 - verschil metingen - AHN2, perceel 2

Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:2.000
Formaat: A4
Get: EL - Gec: JdW



Locatie pilot 2 - verschil metingen - AHN2, perceel 3&4

Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

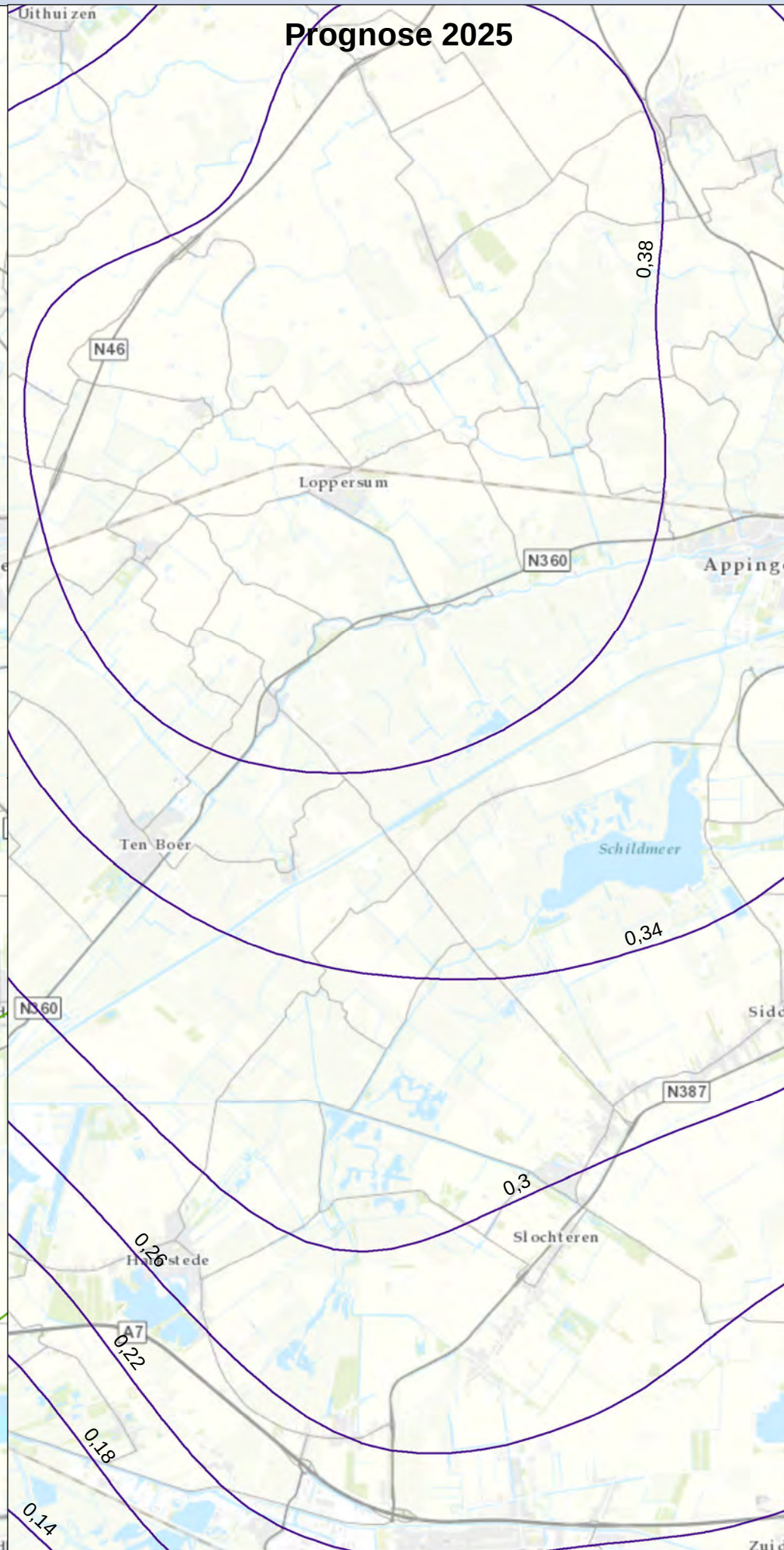
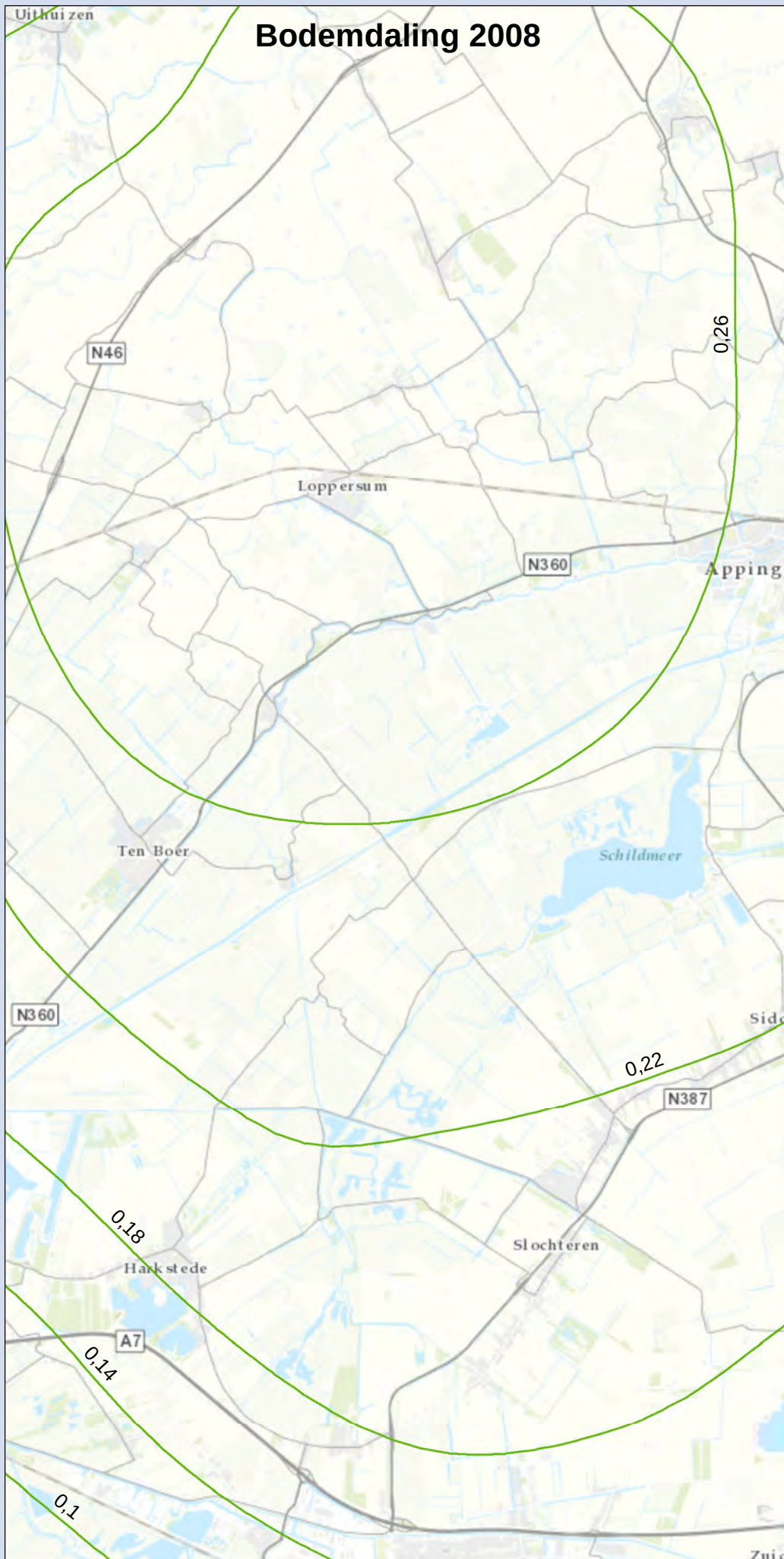
Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
 Projectnummer: 341156



Status: definitief
 Datum: 22 augustus 2016
 Schaal: 1:2.500
 Formaat: A4
 Get: EL - Gec: JdW

Bijlage 13

Bodemdalingscontouren prognose bodemdaling
compactie gasreservoir



Bron Contouren: NAM



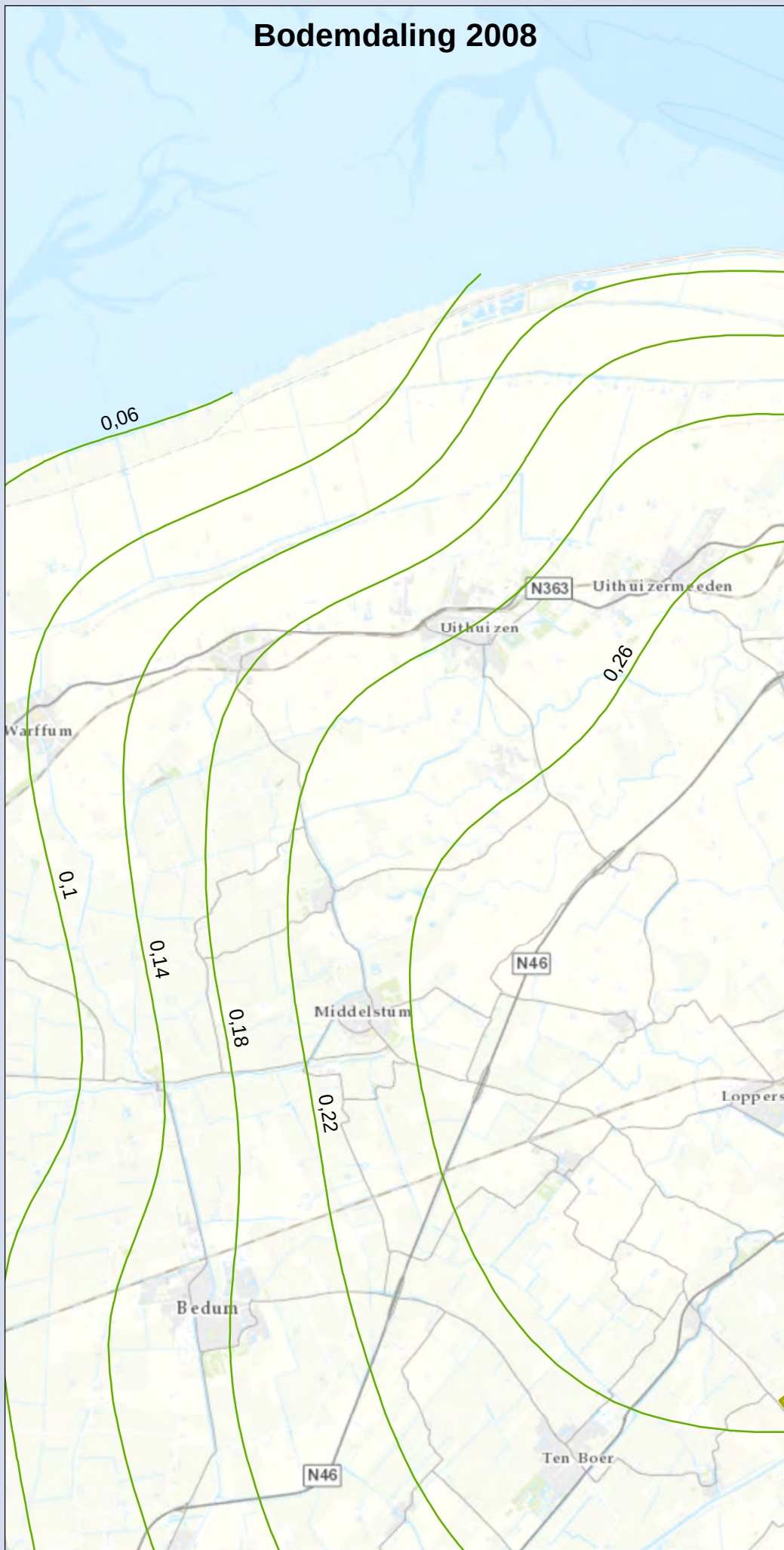
Locatie pilot 1 - Bodemdalingcontouren
Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156

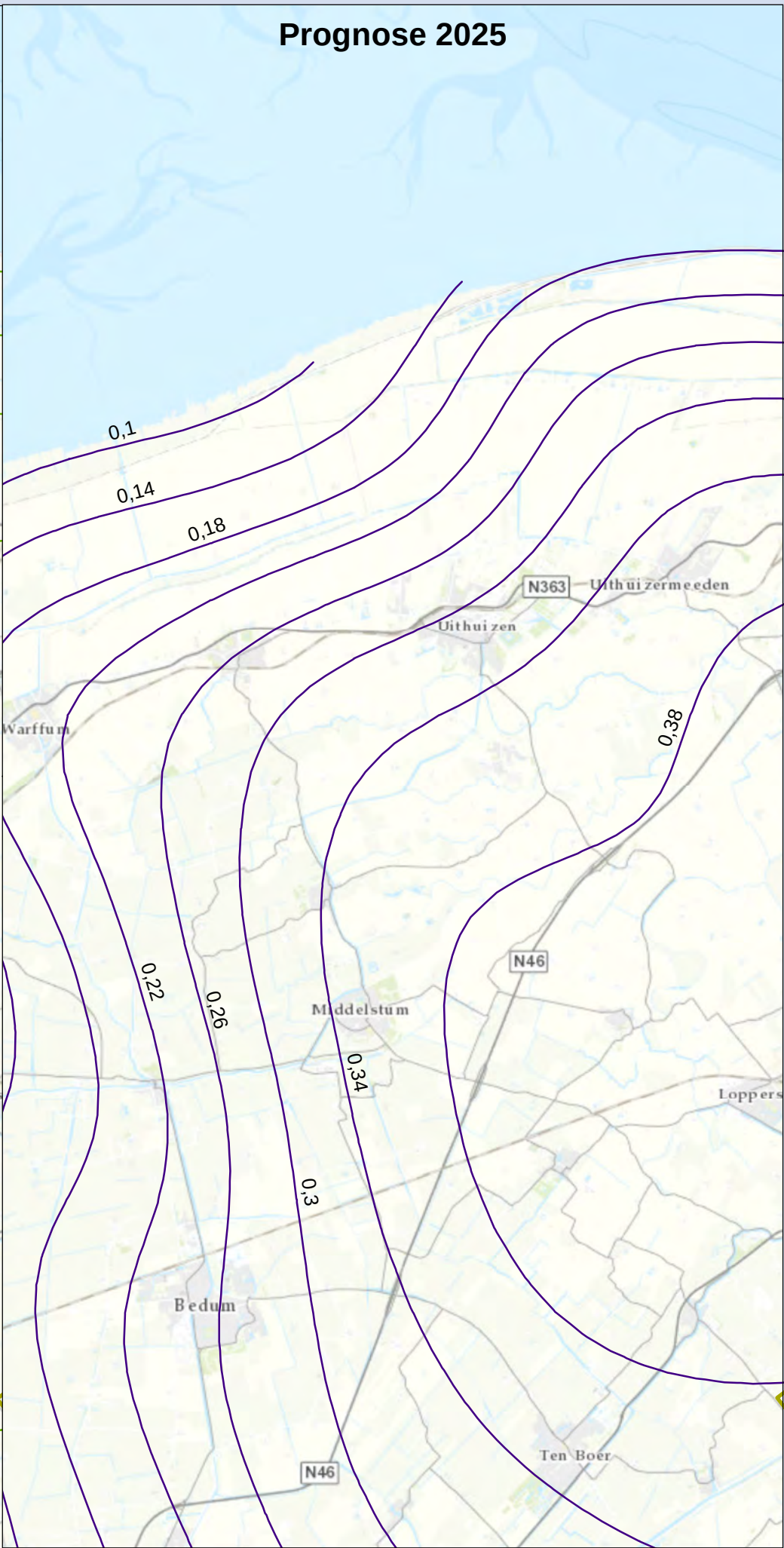


Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:100.000
Formaat: A3
Get: EL - Gec: JdW

Bodemdaling 2008



Prognose 2025



Bron Contouren: NAM



Locatie pilot 2 - Bodemdalingcontouren
Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

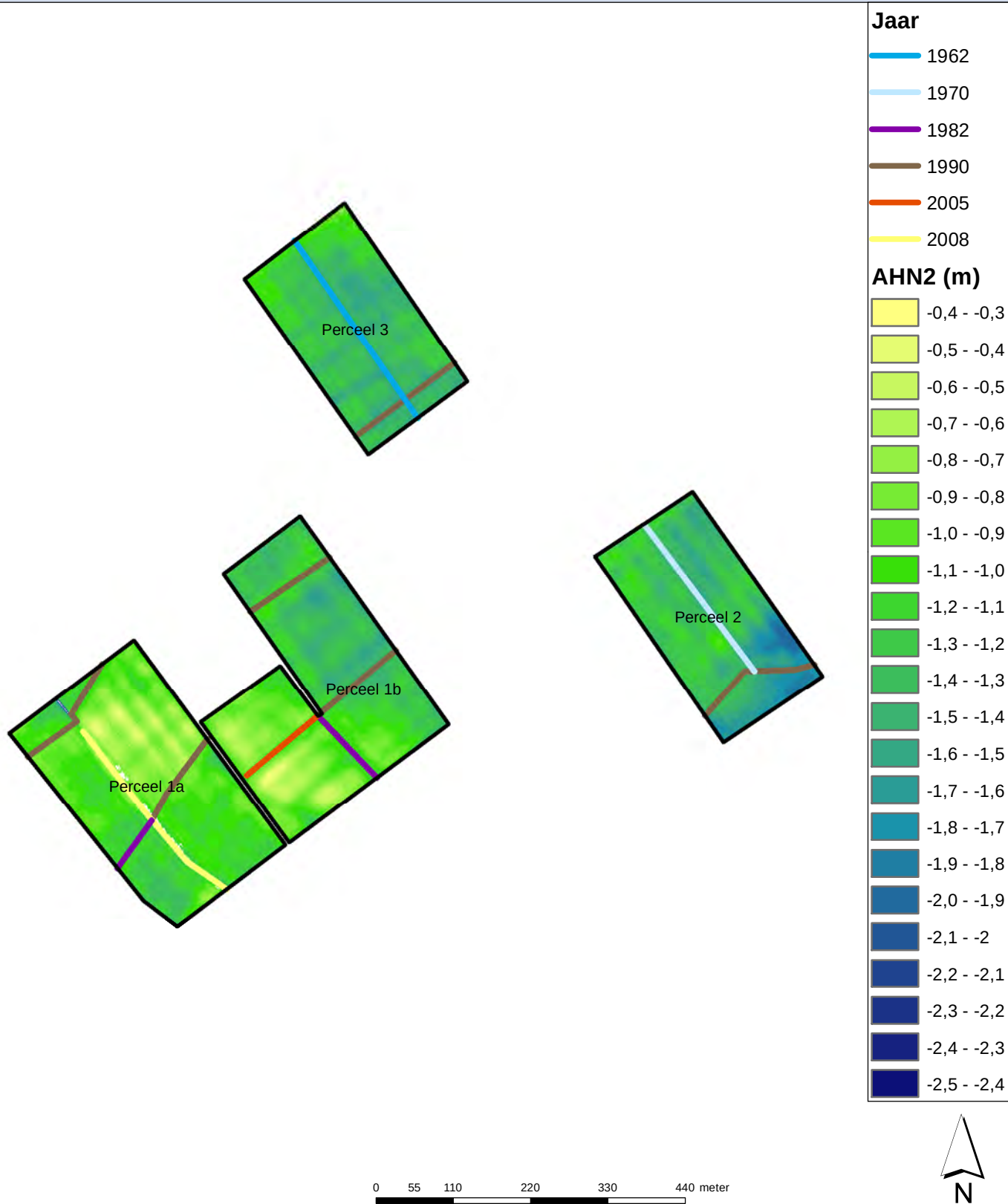
Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:100.000
Formaat: A3
Get: EL - Gec: JdW

Bijlage 14

Slootdempingen



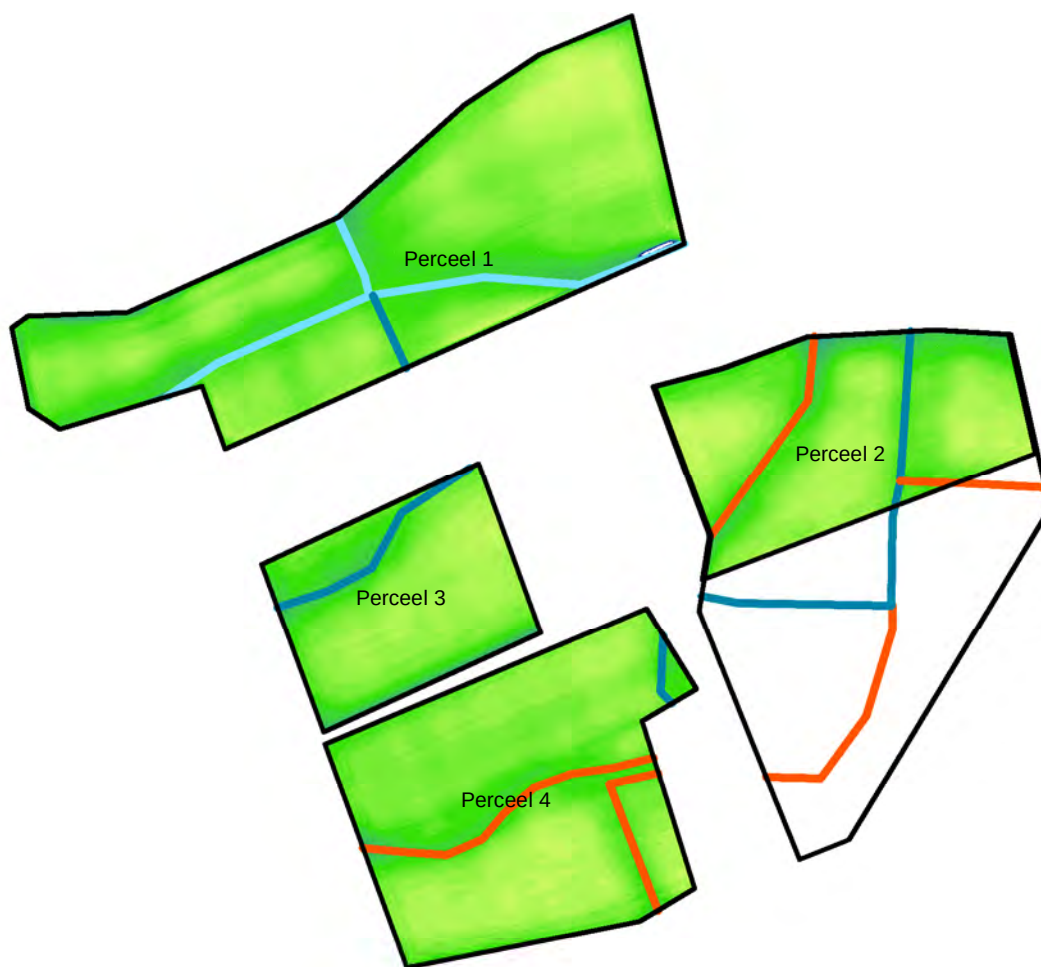
Locatie pilot 1 - slootdempingen en AHN2

Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:8.000
Formaat: A4
Get: EL/DP - Gec: JdW



Jaar

1961

1982

1996

AHN2 (m)

0,9 - 1,0

0,8 - 0,9

0,7 - 0,8

0,6 - 0,7

0,5 - 0,6

0,4 - 0,5

0,3 - 0,4

0,2 - 0,3

0,1 - 0,2

0 - 0,1

-0,1 - 0

-0,2 - -0,1

-0,3 - -0,2

-0,4 - -0,3

-0,5 - -0,4

-0,6 - -0,5

-0,7 - -0,6

-0,8 - -0,7

-0,9 - -0,8

-1,0 - -0,9

-1,1 - -1

-1,2 - -1,1

0 40 80 160 240 320 meter



Locatie pilot 2 - slootdempingen & AHN2

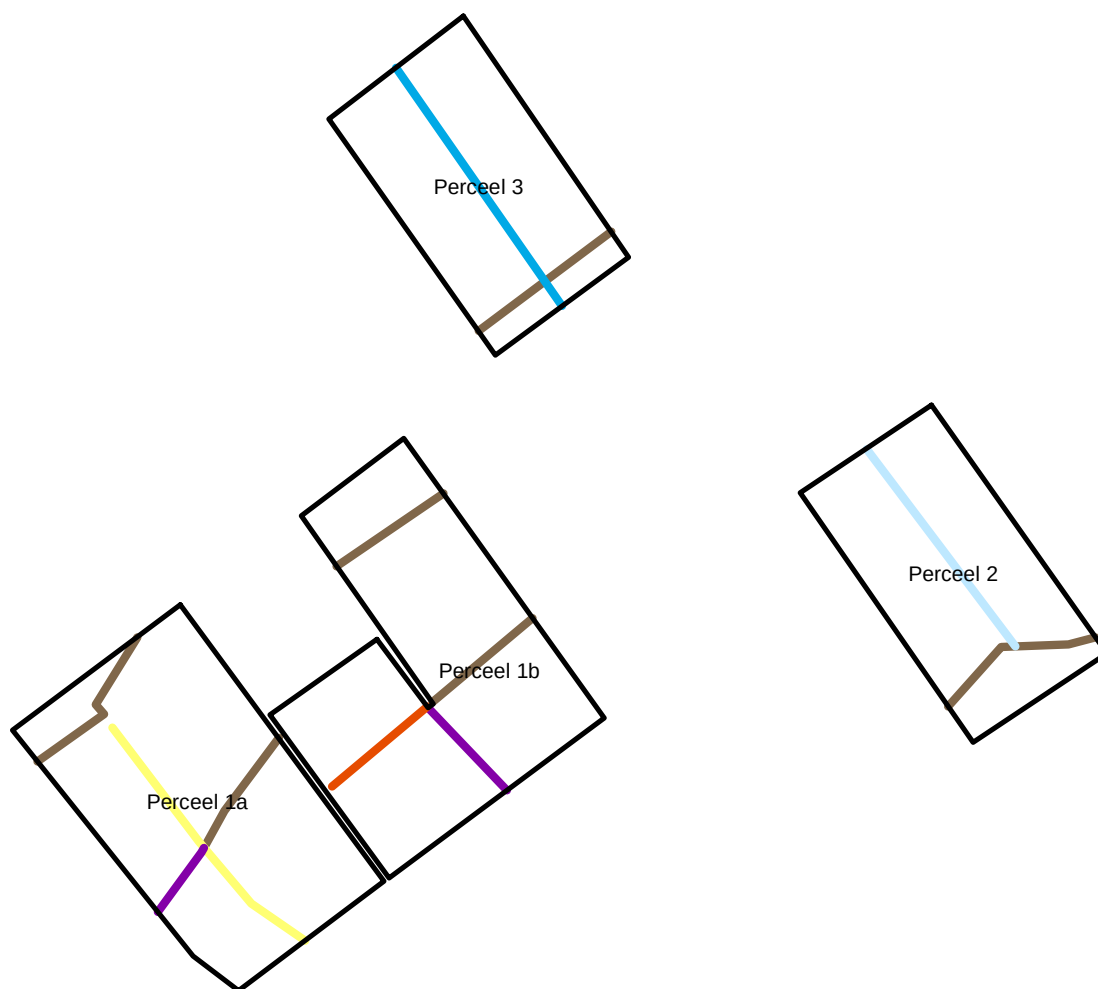
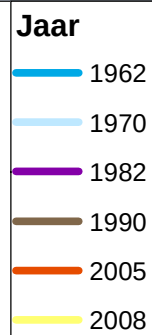
Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156

SWECO 

Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:6.000
Formaat: A4
Get: EL/DP - Gec: JdW

© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden



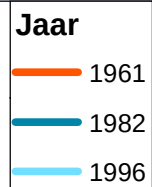
Locatie pilot 1 - slootdempingen

Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:8.000
Formaat: A4
Get: EL/DP - Geg: JdW



0 40 80 160 240 320 meter



Locatie pilot 2 - slootdempingen

Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156

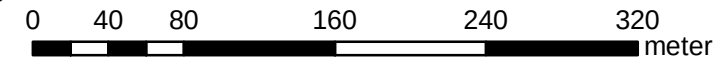
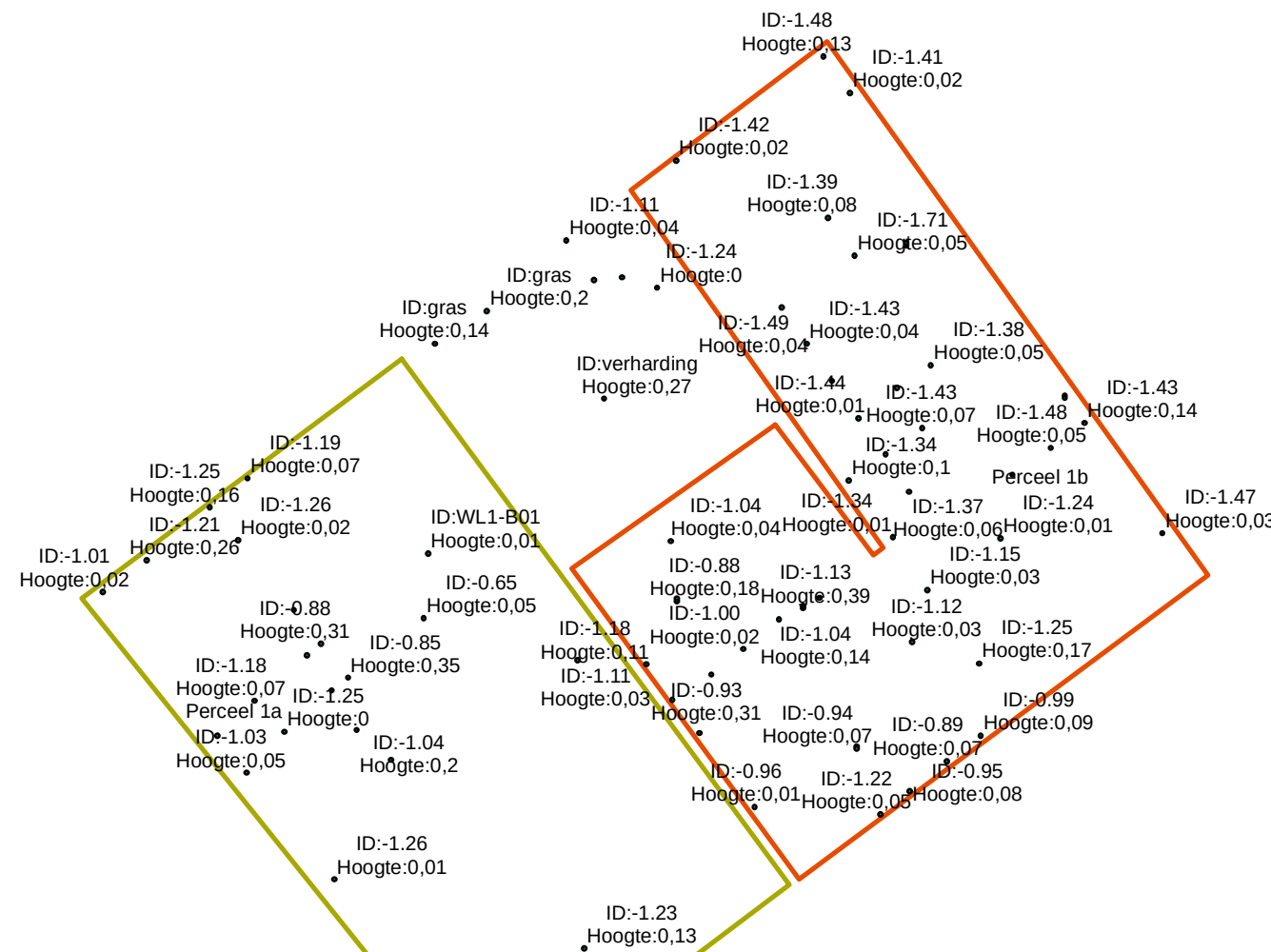


Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:6.000
Formaat: A4
Get: EL/DP - Gec: JdW

Bijlage 15

Locaties berekende maaiveldverhogingen

• Gestegen punten



**Pilot locatie 1 – locaties hoger maaiveld in 2009 (AHN-2)
t.o.v. 1998 (AHN-1)**
Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

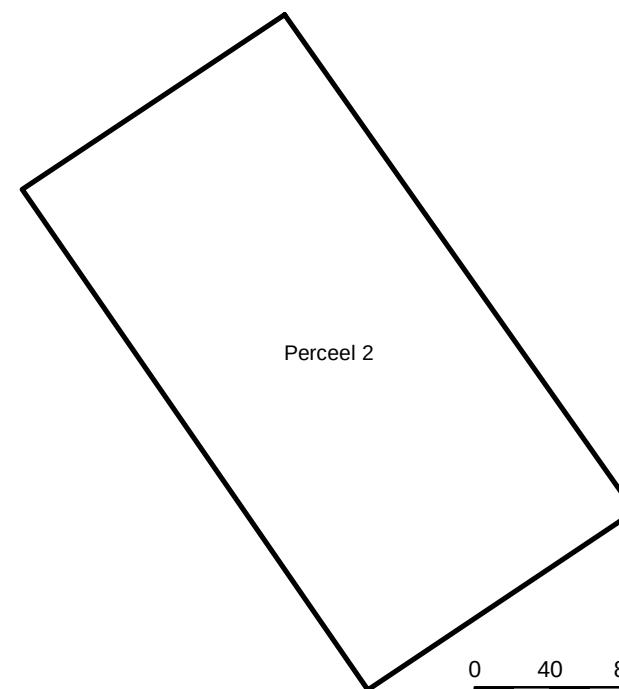
Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156

Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:4.000
Formaat: A3
Get: EL - Gec: JdW

© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden



• Gestegen punten



0 40 80 160 240 320 meter



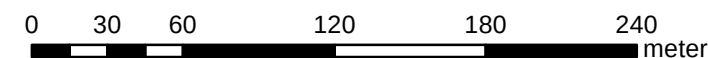
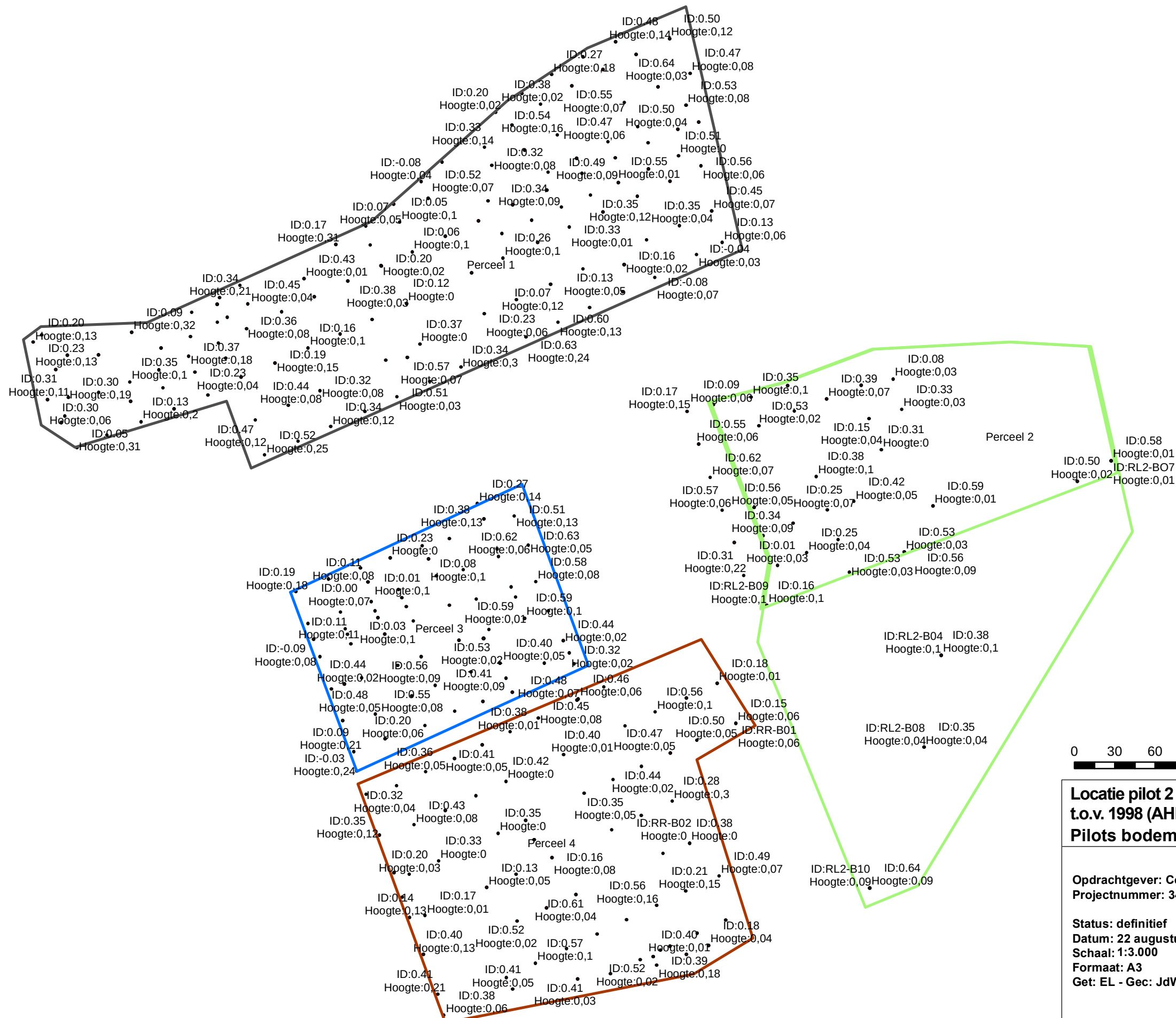
**Pilot locatie 1 – locaties hoger maaiveld in 2015 (meting)
t.o.v. 2009 (AHN-2)**

Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:4.000
Formaat: A3
Get: EL - Gec: JdW



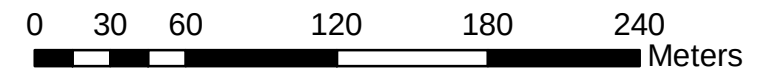
**Locatie pilot 2 – locaties hoger maaiveld in 2009 (AHN-2)
t.o.v. 1998 (AHN-1)
Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen**

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:3.000
Formaat: A3
Get: EL - Gec: JdW

• Gestegen punten



**Pilot locatie 2 – locaties hoger maaiveld in 2015 (meting)
t.o.v. 2009 (AHN-2)
Pilots bodemdaling aardbevingsgebied Groningen**

Opdrachtgever: Commissie Bodemdaling
Projectnummer: 341156



Status: definitief
Datum: 22 augustus 2016
Schaal: 1:3.000
Formaat: A3
Get: EL - Gec: JdW

Bijlage 16

Schematische weergave drooglegging en veendiepte
locatie pilot 1

Toelichting bijlage 16

Bijlage 16-1: Situatie perceel 1 locatie pilot 1

In deze bijlage is schematisch de ontwateringssituatie weergegeven met de voor dit onderzoek beschikbare data. De gemiddelde maaiveldhoogte voor 1960 en 2015 is weergegeven incl. de minimale en maximale hoogte van het maaiveld. De hoogte voor 1983 (jaar van peilwijziging) is op basis van lineaire interpolatie bepaald.

Voor het bodemprofiel is uitgegaan van een bodemprofiel waarbij relatief ondiep veen is aangetroffen. Hierbij is er vanuit gegaan dat het gehele profiel integraal is meegezakt. Feitelijk is dit niet correct aangezien door veenoxidatie de dikte van het veenpakket in de loop van de tijd zal zijn afgenomen (zie bijlage 16-2 en 16-3).

In de figuur is bekende informatie over de grondwaterstanden en waterpeilen opgenomen. Op basis van de waterpeilen en maaiveldhoogten zijn de droogleggingen voor 1960, 1983 en 2015 bepaald.

De figuur maakt dat duidelijk dat vanaf 1960 (start van de gaswinning) tot op heden grondwaterstanden kunnen uitzakken tot in het veenpakket. De historische bandbreedte van de GLG is echter niet bekend.

Bijlage 16-2: Locatie pilot 1: veendiepte in relatie tot GLG

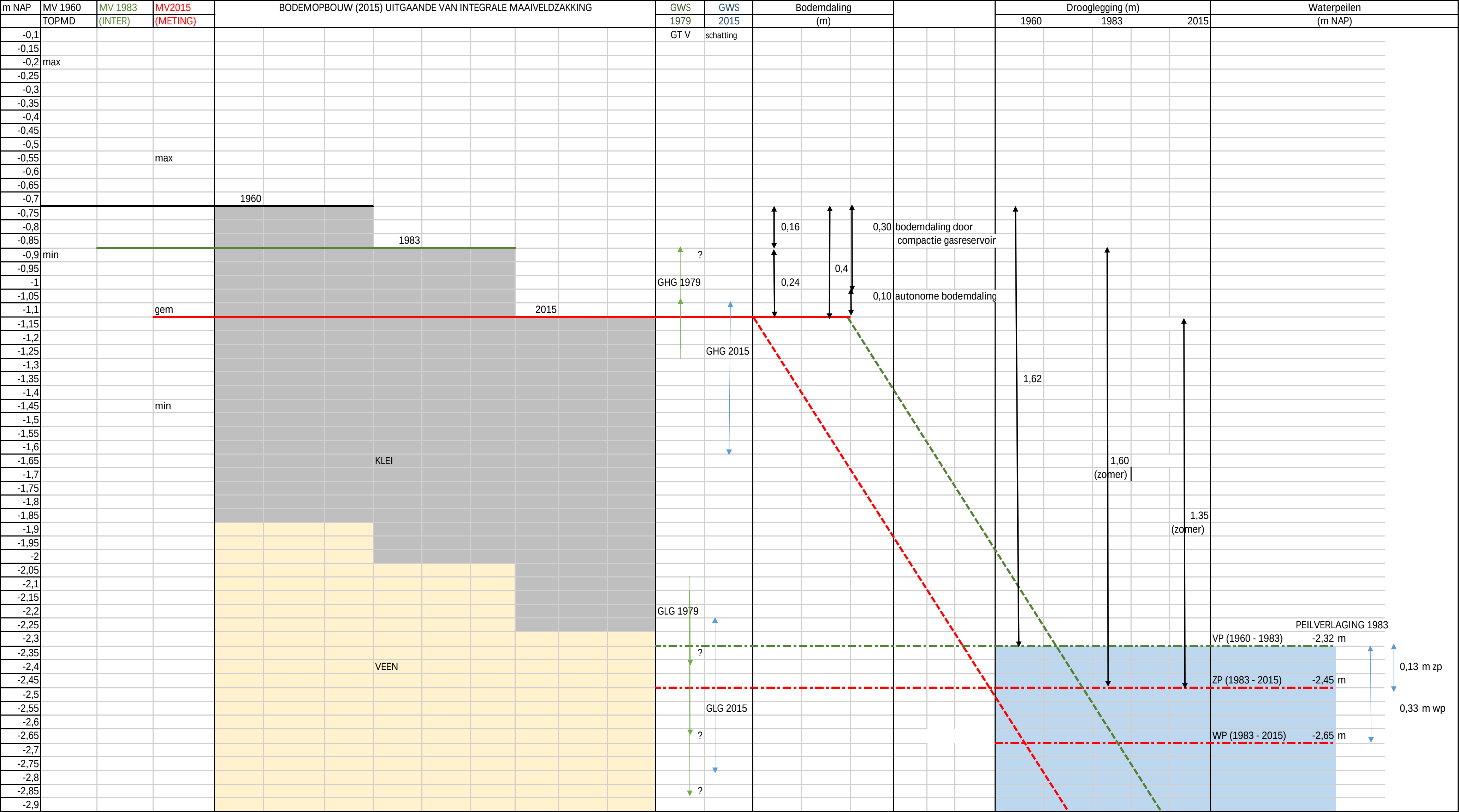
In deze bijlage zijn van alle boringen van locatie pilot 1 de veenlagen en GLG's (2015) aangegeven. Tevens zijn per boring de gemeten maaiveldhoogten weergegeven inclusief de gemiddelde maaiveldhoogte in 1960 en 2015.

De figuur laat zien dat de dikte van de veenlagen sterk varieert en dat de GLG overwegend in het veenprofiel is waargenomen.

Bijlage 16-3: Locatie pilot 1: veendiepte in relatie tot GLG - bodemopbouw 1972 en 2015

Deze bijlage is vergelijkbaar met bijlage 16-2. Hierbij zijn echter de veenlagen van boringen uit 1972 (afkomstig uit bijlage 8) toegevoegd. De hoogte in 1972 is op basis van interpolatie bepaald.

Uit de figuur volgt dat sinds 1972 op alle percelen veen in het profiel voorkwam en grondwaterstanden al konden uitzakken tot in het veen.

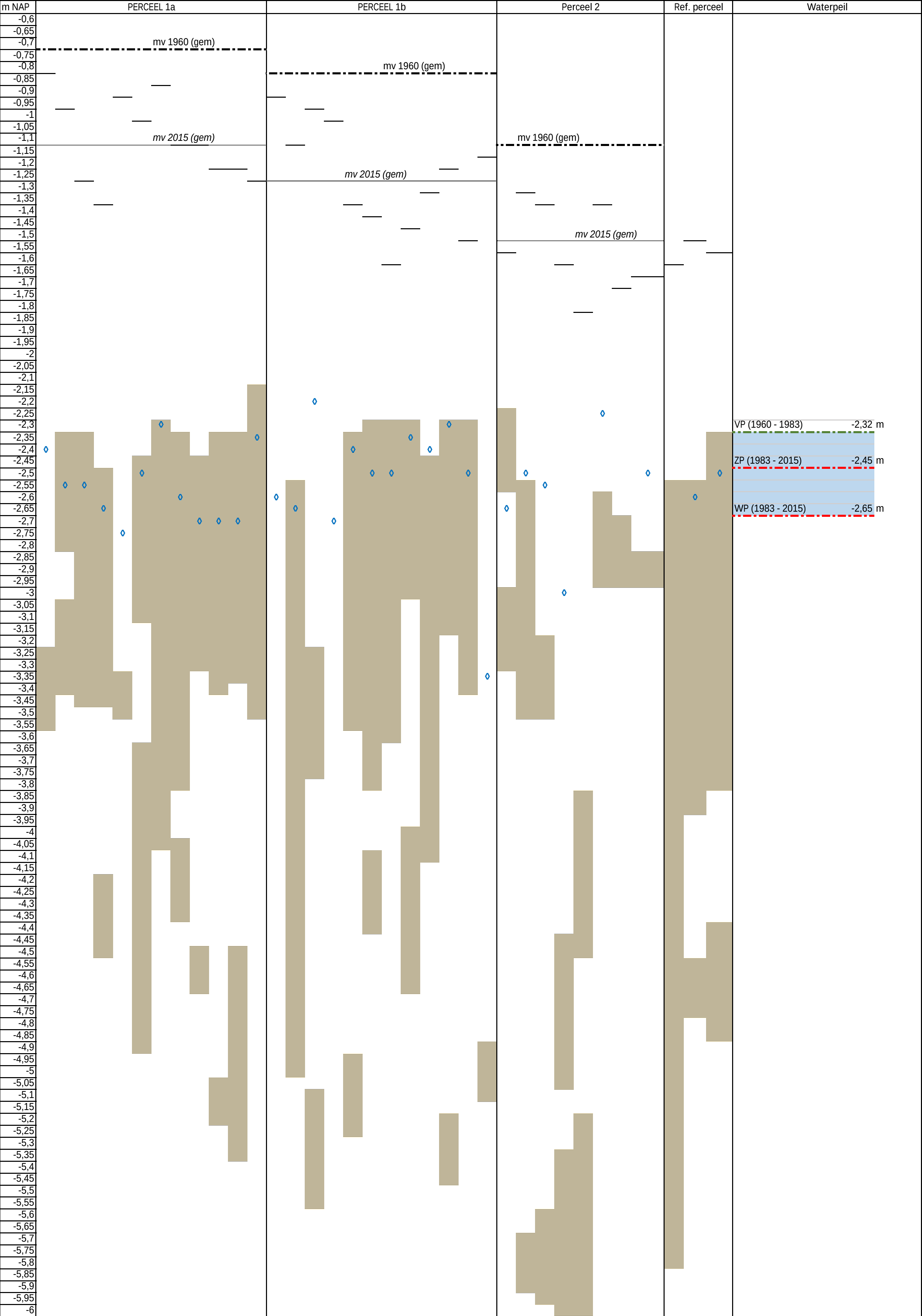


TOELICHTING

Schematische weergave. Uitgangspunt in de figuur is dat het bodemprofiel integraal is gedaald en dat het bodemprofiel niet is gewijzigd

De GHG en GLG in 1979 zijn afgeleid uit de Bodemkaart van Nederland. De GLG ligt dieper dan 1,20 m -mv (GT V). Onzeker is in hoeverre de GLG kan uitzakken.

Bijlage 16-2: Locatie pilot 1: veendiepte in relatie tot GLG



LEGENDA

maaiveldniveau (2015)

GLG (geschat 2015)

VEEN

VP

vast peil

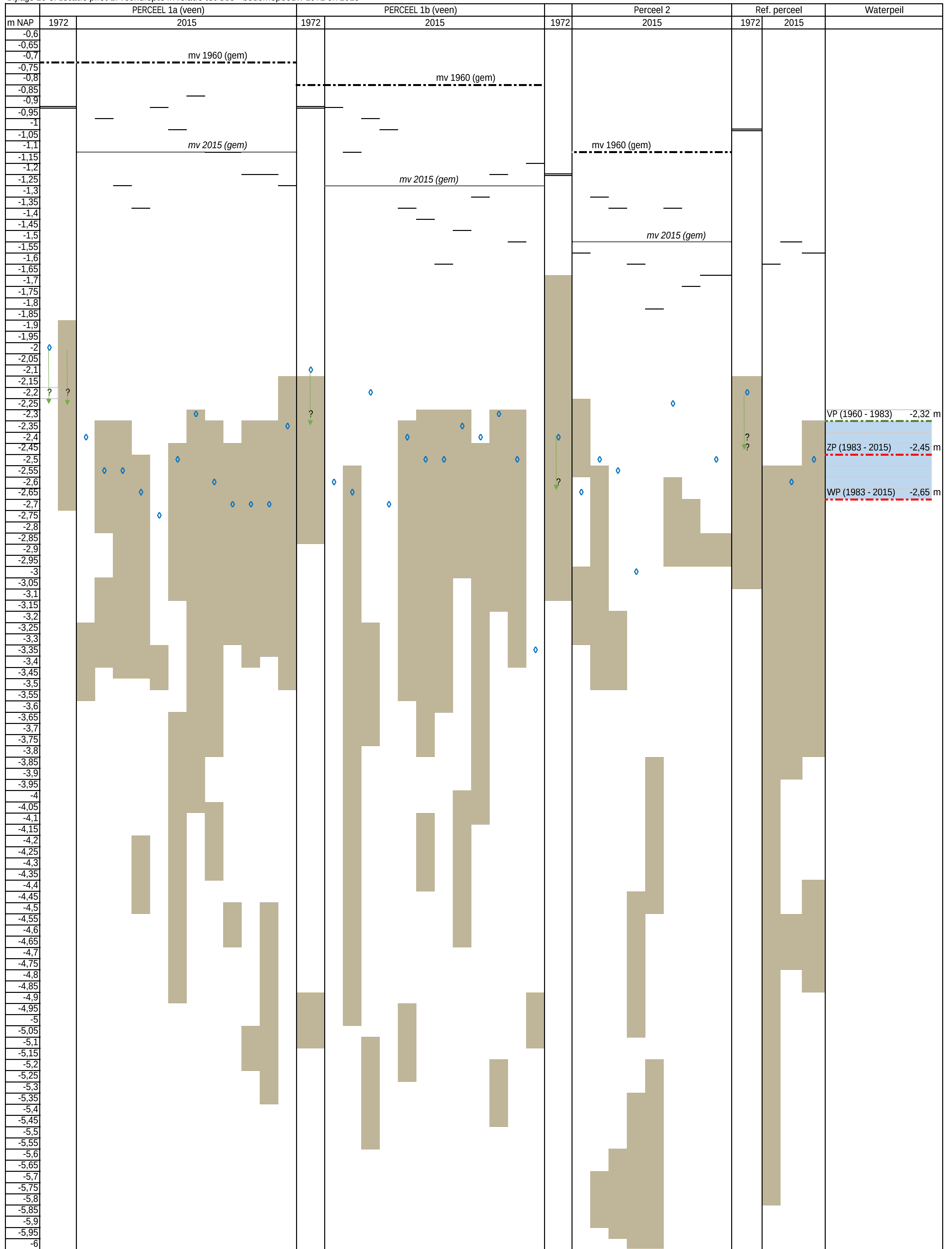
ZP

Zomerpeil

WP

Winterpeil

Bijlage 16-3: Locatie pilot 1: veendiepte in relatie tot GLG - bodemopbouw 1972 en 2015



LEGENDA

- | | |
|-------|-------------------------------------|
| _____ | maaveldniveau (2015) |
| ===== | maaveldniveau (1972) geïnterpoleerd |
| ● | GLG (geschat 2015) |
| ===== | VEEN |
| VP | vast peil |
| ZP | Zomerpeil |
| WP | Winterpeil |

? De GLG is afgeleid uit de Bodemkaart van Nederland (1979). De GLG ligt dieper dan 1,20 m -mv (GT V). Onzeker is in hoeverre de GLG kan uitzakken.