

Rapport

Projectnummer: 362850

Referentienummer: SWNL362850

Datum: 14-05-2019

Bodemdaling Sneekerveer West

Inventarisatie omvang en oorzaken bodemdaling Sneekerveer West om een eerste inzicht te krijgen in de nut en noodzaak van peilverhogingen voor kleigronden met een veenondergrond

Definitief

Opdrachtgever:
Provincie Fryslân

Verantwoording

Titel	Bodemdaling Sneekerveer West
Subtitel	Inventarisatie omvang en oorzaken bodemdaling Sneekerveer West om een eerste inzicht te krijgen in de nut en noodzaak van peilverhogingen voor kleigronden met een veenondergrond
Projectnummer	362850
Referentienummer	SWNL362850
Revisie	D2
Datum	14-05-2019
Auteur	Bert de Greeff, Jaap de Wit en Marc Zwaanswijk
E-mailadres	marc.zwaanswijk@sweco.nl
Gecontroleerd door	Bert de Greeff
Paraaf gecontroleerd	
Goedgekeurd door	Marc Zwaanswijk
Paraaf goedgekeurd	

Inhoudsopgave

0	Samenvatting	5
0.1	Aanleiding en doel	5
0.2	Resultaten	5
0.2.1	Beschikbare hoogtegegevens en nauwkeurigheden	5
0.2.2	Omvang en snelheid van de bodemdaling	5
0.2.3	Bijdrage bodemdaling door zetting/klink en veenoxidatie.....	6
0.2.4	Relaties tussen hoogteverschillen en kleidikte en drooglegging.....	6
0.2.5	Relaties tussen hoogteverschillen en maisteelt	6
0.3	Conclusie mbt nut en noodzaak van peilmaatregelen.....	6
0.4	Aanbevelingen.....	6
1	Inleiding	8
1.1	Peilmaatregelen in Sneekermeer West	8
1.2	Begrippen.....	8
1.3	Beter inzicht in nut en noodzaak van peilverhogingen in Sneekermeer West.....	9
1.4	Doel en resultaat	9
1.5	Werkwijze.....	9
1.6	Leeswijzer	10
2	Inventarisatie beschikbare informatie	11
2.1	Actuele en historische hoogteligging	11
2.1.1	Beoordeling bronnen met hoogtegegevens van het gebied	11
2.1.2	Dalingssnelheid maaiveld	13
2.2	Bodemopbouw.....	15
2.3	Waterhuishouding.....	17
2.4	Lengteprofielen met basisinformatie.....	17
3	Omvang en oorzaken bodemdaling	19
3.1	Hoogteverschillen	19
3.2	Oorzaken opgetreden hoogteverschillen	22
3.3	Effect van grondverzet en grondbewerking	26
3.4	Relatie kleidikte en drooglegging en opgetreden hoogteverschillen	26
3.5	Relatie maisteelt en opgetreden hoogteverschillen.....	27
3.6	Effect van peilverhoging op remming bodemdaling.....	29
4	Conclusies en aanbevelingen	30
4.1	Conclusies.....	30
4.2	Aanbeveling.....	31
	Geraadpleegde bronnen	32

Bijlage 1	Begrippen en definities
Bijlage 2	Peilgebieden
Bijlage 3	Schematische dwarsprofielen bodemopbouw en grondwaterstanden
Bijlage 4	Hoogteverschilkaarten
Bijlage 5	Relatie klei en drooglegging met hoogteverschillen

0 Samenvatting

0.1 Aanleiding en doel

In de veenweidevisie van de provincie Fryslân zijn zogenaamde kansrijke gebieden aangewezen waarvoor de realisatie van de visie met voorrang wordt opgepakt. In dat verband is voor kansrijk gebied Sneekermear West, ook wel aangeduid als de Lege Geaën, onder leiding van agrariërs uit het gebied, en in overleg met provincie en Wetterskip, gestart met een landbouwverkenning. Hiermee willen de betrokken partijen knelpunten en kansen verkennen, zowel gerelateerd aan de veenweideopgave als gerelateerd aan andere opgaven die voor de landbouw aan de orde zijn. Ook een eerste inventarisatie op de knelpunten en kansen van andere belangen staat op de agenda. De landbouwverkenning is een eerste stap in een mogelijk gebiedsproces om te komen tot een integraal ontwikkelingsplan.

Sneekermear West is een gebied met overwegend veen met een kleidek, in westelijke richting overgaand in klei met een veenondergrond (met een kleidek dikker dan 40 cm). Uit een globale analyse van beschikbare hoogtekarten, uitgevoerd door de provincie, lijkt in grote delen van Sneekermear West sprake van een beperkte bodemdaling, van 10 tot 20 cm in de afgelopen 50 à 60 jaar. De uitkomsten van deze analyse komt op een aantal plaatsen niet overeen met de ervaringen die de landbouw in dit gebied heeft. Kort na de peilverlagingen die zijn uitgevoerd voor de ruilverkaveling Sneeker Oudvaart (jaren zestig vorige eeuw) heeft de landbouw in een korte periode bodemdaling waargenomen, waarschijnlijk door zetting/klink. Meer recentelijk wordt niet of nauwelijks bodemdaling ervaren. De vraag rijst hierdoor of er wel een echt probleem is met voortgaande bodemdaling door veenoxidatie.

Er is behoefte om theorie en praktijk beter met elkaar in overeenstemming te brengen. Daarom is Adviesbureau Sweco gevraagd om op basis van alle beschikbare informatiebronnen een inschatting te maken van de opgetreden bodemdaling over de afgelopen decennia, daarbij onderscheid te maken in de mogelijke oorzaken, en een relatie te leggen met de drooglegging en de dikte van het kleidek. De informatie die dit oplevert dient om nut en noodzaak van de voorgenomen peilmaatregelen te onderbouwen. Zowel de agrariërs als de provincie en Wetterskip Fryslân vinden dit van belang voor het verdere proces.

0.2 Resultaten

0.2.1 Beschikbare hoogtegegevens en nauwkeurigheden

De belangrijkste hoogtegegevens waarvan Sweco gebruik kon maken, betrof de Tophoogte MD kaart en AHN (Actueel Hoogtebestand Nederland) 1, 2 en 3. Uit deze informatiebronnen zijn maaiveldhoogtes af te leiden met een onnauwkeurigheid van resp. plus of min 30, 20, 10 en 10 cm. Vergelijking van deze bronnen geeft maaiveldhoogteverschillen die niet nauwkeuriger zijn dan plus of min 20 tot 40 cm. Conclusie is dan ook dat uit de bestaande hoogtekarten geen nauwkeurige verschillen in maaiveldhoogte af te leiden zijn. De informatie van bodemgegevens in het gebied is grotendeels verouderd. Beschikbare grondwaterstandsmetingen zijn zeer beperkt beschikbaar.

0.2.2 Omvang en snelheid van de bodemdaling

De hoogteverschillen die voor Sneekermear West uit de hiervoor genoemde hoogtekarten afgeleid zijn, liggen binnen de nauwkeurigheidsmarges van de beschikbare gegevens (+/- 20 tot 40 cm). Dat geldt zowel de vergelijkingen van de recente AHN-karten als de

vergelijking van bijv. ANH3 met de Tophoogte MD kaart van omstreeks 1965. De geconstateerde verschillen zijn veelal negatief. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat een dalende trend waarneembaar is. De mate waarin is op basis van de beschikbare hoogtegegevens niet nauwkeurig te kwantificeren.

Op basis van literatuurgegevens, zou in Sneekermeer West, afhankelijk van de dikte van het kleidek en de drooglegging, sprake (geweest) kunnen zijn van een bodemdaling van 2 tot 7 mm/jaar. Tussen 1965 en 2018 zou dan in totaal 10 tot 37 cm aan bodemdaling opgetreden kunnen zijn. Dit ligt binnen de nauwkeurigheidsmarge van +/- 40 cm.

0.2.3 Bijdrage bodemdaling door zetting/klink en veenoxidatie

De meest aannemelijke processen die tot een hoogteverschil hebben kunnen leiden, zijn krimp (volume-afname door uitdroging), oxidatie (volume-afname door afbraak van veen) en zetting/klink (volume-afname door samendrukking). De mate waarin deze processen tot bodemdaling hebben geleid zijn sterk locatie-afhankelijk door lokale verschillen in bodemopbouw en de huidige en historische waterpeilen. Kwantificering is complex vanwege combinatie en interactie van bodemdalingsprocessen.

Peilverlagingen in het verleden (vanaf 1965 tot nu) kunnen grofweg tot zettingen van 10 tot 20 cm hebben geleid. Dat is bepaald met een indicatieve berekening. Doorgaande zetting (kruip) als gevolg van historische peilverlagingen wordt als verwaarloosbaar beoordeeld.

0.2.4 Relaties tussen hoogteverschillen en kleidikte en drooglegging

Een duidelijke relatie tussen kleidikte en berekende hoogteverschillen is niet vast te stellen. Wel lijken de hoogteverschillen gemiddeld iets groter in gebieden met een dunner kleidek van 10 tot 80 cm dik waar de drooglegging groter is dan de dikte van het kleidek; de veenlaag onder het kleidek zal dan meer aan zuurstof worden bloot gesteld dan wanneer de drooglegging minder is dan de dikte van het kleidek.

Er lijkt dus een relatie tussen drooglegging (al dan niet tot in het veen) en veenoxidatie. Dat is eerder een bevestiging dan nieuwe informatie. Maar er zijn zoals bekend meer factoren naast drooglegging, die de mate van veenoxidatie bepalen. Zo is uit onderzoek gebleken dat een eenmaal gedraineerde veenlaag na vernatting nooit de zeer langzame afbraaksnelheid meer bereikt die het oorspronkelijk vertoonde.

0.2.5 Relaties tussen hoogteverschillen en maisteelt

Binnen het gebied vallen enkele percelen waar langjarig mais is verbouwd. De hoogteverschillen die voor deze percelen uit de beschikbare hoogtekaarten zijn afgeleid, verschillen niet wezenlijk van de hoogteverschillen die voor omliggende percelen zijn berekend.

0.3 **Conclusie mbt nut en noodzaak van peilmaatregelen**

Hoewel de maaiveldhoogteverschillen door onbetrouwbare gegevens niet nauwkeurig te kwantificeren zijn, is het toch mogelijk dat er afgelopen decennia sprake was van bodemdaling. Die lijkt beperkt van omvang en die zal, bij gelijkblijvend peil, waarschijnlijk ook in de toekomst beperkt blijven. Dit leidt tot de vraag of grootschalige peilverhoging om het proces van veenoxidatie in dit gebied significant af te remmen of te stoppen wel doelmatig is. Om nut en noodzaak van grootschalige peilverhoging beter te kunnen beoordelen is verder onderzoek wenselijk.

0.4 **Aanbevelingen**

Sweco doet in overleg met de begeleidingsgroep de volgende aanbeveling:

Richt een meetnet in en ga minimaal 6 jaar meten aan maaiveldhoogte, slootpeilen, grondwaterstanden en CO₂-emissie bij verschillende bodemprofielen en vormen van agrarisch gebruik. Hiermee ontstaat meer inzicht in de snelheid van bodemdaling in het gebied en de mate waarin verschillende factoren en processen een rol spelen.

1 Inleiding

1.1 Peilmaatregelen in Sneekermeer West

In het Friese veenweidegebied daalt het maaiveld doordat de veenlaag als gevolg van veenoxidatie langzaam verdwijnt. De in 2015 opgestelde Veenweidevisie brengt de gevolgen van deze maaiveldddaling in beeld en kijkt naar de mogelijkheden om daar wat aan te doen. De provincie Friesland is regisseur van de visie, maakt keuzes over de gewenste ontwikkelingsrichtingen en formuleert op basis hiervan de lange termijn strategie.

Wetterskip Fryslân heeft de strategieën uit de Veenweidevisie met behulp van berekeningen doorvertaald naar peilmaatregelen. In Sneekermeer West is dit voor een groot deel een passieve zomerpeilverhoging, actieve zomerpeilverhoging en actieve verhoging winterpeil tot maximaal 90 cm drooglegging en een hoger zomerpeil (zie figuur 1). Met deze aanpassingen in het peilbeheer wordt getracht de veenoxidatie zoveel mogelijk af te remmen.



Figuur 1. Uitsnede uit Kaart "Peilverhogingen Veenweidegebied", Wetterskip Fryslân [1].

Het gebied Sneekermeer West wordt in het Uitvoeringsprogramma Veenweide aangeduid als een kansrijk gebied met dik veen zonder koppelkansen. Daarom wordt hier ingezet op leren en innoveren. Om te bekijken hoe hier invulling aan kan worden gegeven is een werkgroep van agrariërs aan de slag gegaan. Het blijkt voor veel agrariërs in het gebied moeilijk om een link te leggen tussen de beleving in de praktijk en de uitkomsten van de berekeningen en de bijbehorende kaartbeelden. Hierdoor ontstaan veel vragen over het veenweidebeleid, de uitgangspunten en de gevolgen voor de agrarische bedrijfsvoering en met name over nut en noodzaak van peilaanpassing.

1.2 Begrippen

In voorliggend onderzoek worden de begrippen bodemdaling, bodemdalingsprocessen en maaiveldddaling veelvuldig gebruikt:

- Bodemdaling: het zakken van het niveau van het maaiveld ten opzichte van een vast referentiepunt (bijvoorbeeld het Normaal Amsterdams Peil (NAP)) **als gevolg van bodemdalingsprocessen**

- Bodemdalingsprocessen: **processen in de bodem en ondergrond zoals bijvoorbeeld klink, krimp, oxidatie en zetting** die kunnen leiden tot verlaging van het maaiveldniveau ten opzichte van een vast referentiepunt bv m NAP
- Maaiveld daling: het zakken van het niveau van het maaiveld ten opzichte van een vast referentiepunt (bijvoorbeeld NAP) als gevolg van directe fysieke **ingrepen zoals graven en ophoging of (in combinatie met) bodemdalingsprocessen**

1.3 Beter inzicht in nut en noodzaak van peilverhogingen in Sneekermeer West

In Sneekermeer West is in een groot deel sprake van veengronden afgedekt met een kleidek die in dikte varieert. De mate van bodemdaling is mede afhankelijk van de aanwezigheid, en dikte, van een kleidek. Op beschikbare kaartbeelden van de provincie lijkt in grote delen van Sneekermeer West sprake van een beperkte bodemdaling van circa 10 tot 20 cm in de afgelopen 50 à 60 jaar opgetreden.

In de gesprekken die de werkgroep samen met Wetterskip Fryslân in april 2018 met het gebied heeft gevoerd over de voorgenomen peilmaatregelen (figuur 1) is naar voren gekomen dat de uitkomsten van deze (theoretische) berekening op een aantal plaatsen niet overeen komt met de ervaringen die de landbouw heeft in het gebied. Het is voor veel bedrijven moeilijk om een link te leggen tussen de dagelijkse praktijk in het terrein en de uitkomsten van berekeningen en de bijbehorende kaartbeelden. Hierdoor ontstaan veel vragen over het veenweidebeleid, de uitgangspunten en de gevolgen. De vraag rijst of er wel een echt probleem is met de veenoxidatie. Door het verzamelen van meer gegevens en inzicht in de berekeningen wordt het mogelijk om theorie en praktijk beter met elkaar in overeenstemming te brengen. Inzet van de werkgroep is om een logische en gedragen onderbouwing te krijgen van de opgavenkaart waardoor voor iedereen duidelijk is waarom er in bepaalde gebieden wel en in andere gebieden geen opgave voor waterpeilverhoging is. Samen met de landbouw willen we nut en noodzaak verder onderzoeken.

1.4 Doel en resultaat

Doel van voorliggende inventarisatie is om voor het gebied Sneekermeer West stapsgewijs informatie aan te dragen op basis waarvan vragen over nut en noodzaak van peilverhogingen voor kleigronden met een veenondergrond te beantwoorden zijn. Dit rapport doet verslag van de eerste stap waarbij op basis van de analyse van beschikbare gegevens onderstaande onderzoeksvraag wordt beantwoord.

Wat is de omvang van de bodemdaling en wat zijn de oorzaken?

Om de (subjectieve) ervaring uit het gebied te onderbouwen met objectieve informatie is met behulp van alle beschikbare informatiebronnen een inschatting gemaakt van de opgetreden bodemdaling over de afgelopen decennia. Hierbij is tevens onderscheid gemaakt in alle mogelijke oorzaken die aan bodem- en/of maaiveld daling ten grondslag kunnen liggen (veenoxidatie, krimp, slootdempingen, vergravingen, autonome daling, peilaanpassingen, drainage, winning van delfstoffen).

1.5 Werkwijze

Voor het uitvoeren van het onderzoek is de volgende werkwijze gehanteerd:

- Bureau-onderzoek / bronnenonderzoek
- Inloopbijeenkomst agrariërs gebied met 'schoenendoosactie'
- Beoordeling betrouwbaarheid en nauwkeurigheid bronnen
- GIS-analyses
- Interpretatie en analyse data
- Rapportage

Het onderzoek is begeleid door provincie Friesland, Wetterskip Fryslan en de werkgroep met agrariërs uit het gebied. Tussentijds zijn de aanpak en de resultaten met deze partijen afgestemd en zijn bevindingen getoetst aan praktijkervaring.

Voor de inloopbijeenkomst van 26 september 2018 (schoenendoosactie) heeft de werkgroep de agrariërs in het gebied de mogelijkheid geboden om relevante kennis en informatie, zoals oude drainage- en ruilverkavelingskaarten te delen.

1.6 Leeswijzer

Voorliggend rapport is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de relevante informatie die is verzameld inclusief een beoordeling van de bruikbaarheid en nauwkeurigheid van de gegevens. Hoofdstuk 3 geeft de resultaten weer van de omvang van de bodemdaling en onderliggende oorzaken. In hoofdstuk 4 volgen de conclusie, discussie en slotbeschouwing. In bijlage 1 van dit rapport is een begrippenlijst opgenomen.

2 Inventarisatie beschikbare informatie

2.1 Actuele en historische hoogteligging

2.1.1 Beoordeling bronnen met hoogtegegevens van het gebied

Om inzicht te krijgen in de meest actuele en historische hoogteligging van het gebied zijn de bronnen geraadpleegd zoals weergegeven in tabel 2.1. Onder de tabel worden de brondata nader toegelicht.

Tabel 2.1. Overzicht bronnen hoogteligging met enkele relevante kenmerken

Brondata	Omschrijving	Bron	Jaar	Type	Dichtheid	Nauwkeurigheid
Tophoogte MD	Hoogtepeilmerken Meetkundige Dienst	RWS	1965	punt	1 punt per 100 x 100 m	Onbekend
AHN1	Actueel hoogteraster Nederland, versie 1	PDOK	1998- 1999	raster	vlakdekkend 5x5 m	meetdichtheid 5 tot 10 punten per 16 m ² , afwijking* <20 cm
AHN2	Actueel hoogteraster Nederland, versie 2	PDOK	2008	raster	vlakdekkend 0,5x0,5 m	meetdichtheid 6/10 punten per 1 m ² , afwijking* <10 cm
AHN3	Actueel hoogteraster Nederland, versie 3	PDOK	2014	raster	vlakdekkend 0,5x0,5 m	meetdichtheid 6/10 punten per 1 m ² , afwijking* <10 cm

* minimaal 68,2% van de punten heeft deze nauwkeurigheid

TopHoogteMD: dit is een landsdekkend, digitaal hoogtepuntenbestand van Nederland, vervaardigd in 1992 en bestaat voor het grootste deel uit hoogtepunten die handmatig gedigitaliseerd zijn van oude hoogtekarten met hoogtecijfers die door de toenmalige Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat (MD) werden gemaakt. Deze hoogtepunten zijn in de periode 1942-1983 ingewonnen [2]. In het onderzoeksgebied zijn de metingen rond 1959-1965 uitgevoerd. Er is circa één punt per hectare beschikbaar waarbij hoogtes zijn afgerond op decimeters. De nauwkeurigheid van deze data is niet bekend. Voor dit onderzoek is de nauwkeurigheid geschat op circa +/- 30 cm.

Actueel Hoogtebestand Nederland: het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) is een bestand met voor heel Nederland gedetailleerde en precieze hoogtegegevens. Deze hoogtes zijn bepaald met behulp van een laseraltimetrie vanuit een vliegtuig of helikopter. De eerste versie van het AHN (ook wel AHN1 genoemd) is gemaakt in de periode 1996 tot 2003. Het onderzoeksgebied is in 1998-1999 gevlogen en verwerkt. Bekend is dat vegetatietypes bij de inwinningmethode een invloed hebben op de betrouwbaarheid. Dicht bebladerde gewassen beïnvloeden de metingen.

Voor de AHN1 werd gesteld dat de nauwkeurigheid voldeed aan een systematische fout van 5 centimeter en een stochastische fout van 15 centimeter (1 sigma-criterium). Voor AHN2 is gesteld dat de nauwkeurigheid dient te voldoen aan een systematische fout van maximaal 5 centimeter en een stochastische fout van maximaal 5 centimeter. In onderstaande tabel is te zien wat hiervan de gevolgen zijn voor de nauwkeurigheid van het totale bestand [3]. Algemeen kan gezegd worden dat bijv. bodemdaling alleen te vinden is als deze groter is dan de normale meetruis (totaal 15 centimeter).

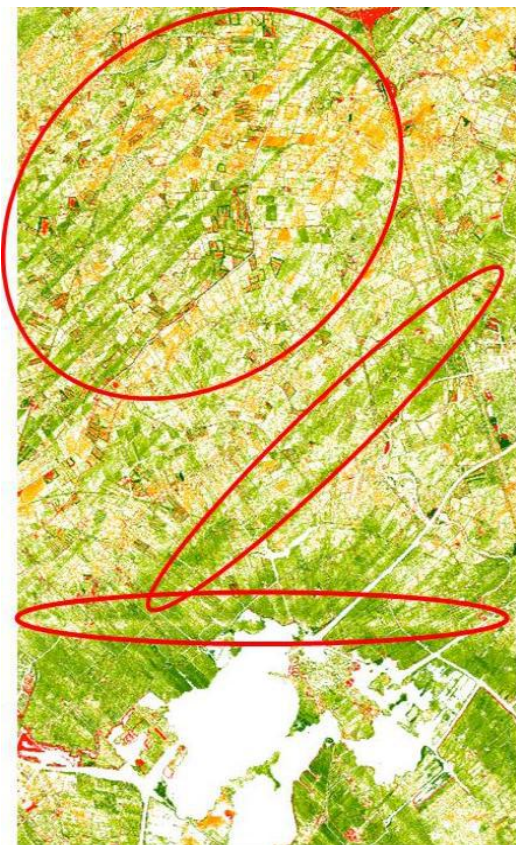
Het AHN-3 bestand bezit een hoogtenauwkeurigheid van maximaal 5 centimeter standaardafwijking en een systematische afwijking kleiner dan 5 cm [4].

Tabel 2.2 Overzicht hoogtenauwkeurigheid AHN1, AHN2 en AHN3

	AHN1	AHN2 / AHN3
Systematische fout	5 cm	5 cm
Stochastische fout	15 cm	5 cm
Minimaal 68,2% van de punten heeft een nauwkeurigheid van:	$5 + 1 * 15 = 20 \text{ cm}$	$5 + 1 * 5 = 10 \text{ cm}$
Minimaal 95,4% van de punten heeft een nauwkeurigheid van:	$5 + 2 * 15 = 35 \text{ cm}$	$5 + 2 * 5 = 15 \text{ cm}$
Minimaal 99,7% van de punten heeft een nauwkeurigheid van:	$5 + 3 * 15 = 50 \text{ cm}$	$5 + 3 * 5 = 20 \text{ cm}$

Bron [3]

De verschillende AHN's zijn met elkaar vergeleken om meer inzicht in de nauwkeurigheid te verkrijgen. Een vergelijking van de AHN1 met AHN2 en AHN3 toont aan dat deze AHN1 behoorlijk veel "vliegbanen" bevat en daardoor vrij onnauwkeurig is. Ook een vergelijking van AHN2 en AHN3 levert behoorlijke verschillen op (terwijl deze 6 jaar na elkaar zijn ingevlogen) met ook diverse vliegbanen (zie figuur 2.1). De nauwkeurigheid van deze hoogtebestanden is derhalve vlakdekkend niet overal even groot.



Figuur 2.1 Vliegbanen in vergelijking AHN2 en AHN3

Overige hoogtebronnen

Met behulp van de 'schoenendoosactie' is getracht nog meer hoogte-informatie van het gebied te verzamelen. Dit heeft echter geen nieuwe bronnen/informatie opgeleverd.

Gecombineerde nauwkeurigheidsmarge (onzekerheidsmarge)

Alle hiervoor beschreven bronnen hebben een onnauwkeurigheidsmarge. In het volgende hoofdstuk worden deze bronnen gecombineerd. Dit resulteert in een gecombineerde nauwkeurigheidsmarge van plus of min 20 tot 40 cm.

2.1.2 Dalingssnelheid maaiveld

In 2018 is de website www.bodemdalingskaart.nl gelanceerd. De bodemdalingskaart op deze website geeft een globaal inzicht in de gemeten bodembeweging van Nederland tussen 2015 en heden en is gebaseerd op drie technieken (GNSS, zwaartekracht, InSAR) om de deformaties te berekenen. De kaart geeft een globaal overzicht (schaal is 2 bij 2 kilometer) van de bodembeweging, met een precisie en een resolutieniveau dat afhankelijk is van de variabiliteit van het lokale bodemdalingssignaal. De metingen zelf hebben een precisie in de orde van een millimeter (InSAR, waterpassing) tot een centimeter (absolute zwaartekracht en GNSS) [5].

De data op deze website geven geen inzicht in de dalingssnelheid van landbouwgronden aangezien alleen vaste objecten zoals gebouwen en infrastructuur kunnen worden gemeten.

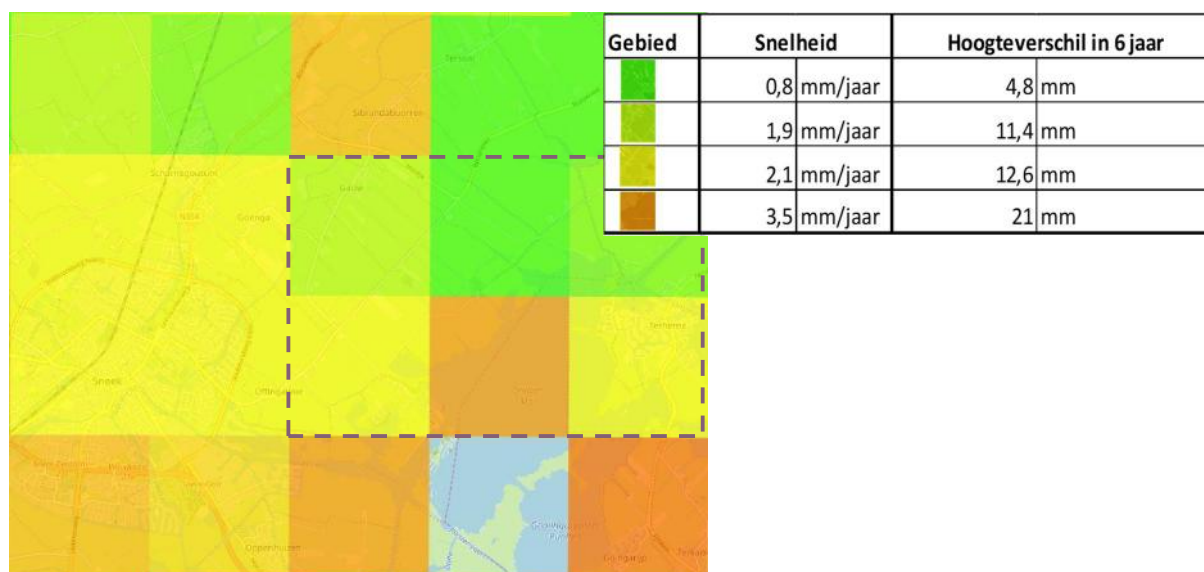


Fig. 2.2. Dalingssnelheid vaste objecten (diepe en ondiepe processen gebied Sneekermear West en berekend hoogteverschil in 6 jaar) [5].

Uit figuur 2.2. kan worden opgemaakt dat er wisselende bodembeweging van vaste objecten wordt gemeten met grofweg een orde groote van -0,8 tot -3,5 mm/jaar. Er wordt onderscheid gemaakt tussen ondiepe en diepe bodemdaling. In figuur 2.3 is de ondiepe dalingssnelheid weergegeven. Dit is de gemeten bodembeweging zonder bodemdaling door diepere processen (tektoniek, isostastie, delfstofwinning). De ondiepe bodemdaling bedraagt circa -0,7 tot -1,8 mm/jaar.



Fig. 2.3 Dalingssnelheid vaste objecten (ondiepe processen gebied Sneekerveer West) [5].

Er zijn geen data beschikbaar met gemeten of berekende bodemdaling van de agrarische percelen in het gebied Sneekerveer West. Wel zijn vanuit andere veengebieden in Friesland gegevens in de literatuur over bodemdaling van veengronden beschikbaar. In tabel 2.3. zijn voor verschillende grondsoorten en droogleggingen in Friesland dalingssnelheden weergegeven. In het rapport [6] wordt aangegeven dat gegevens over maaiveldddaling in veengebieden empirische gegevens zijn. Het is derhalve niet bekend aan welke bodemdalingsprocessen, en de mate waarin deze processen bijdragen, aan de maaiveldddaling zoals weergegeven in tabel 2.3 en 2.4 kan worden toegeschreven.

Tabel 2.3 Overzicht dalingsnelheid (mm per jaar) maaiveld bij verschillende bodemprofielen en verschillende droogleggingen (Provincie Fryslân, 1997 op basis van Schokking, 1993 en Schothorst, 1967). Tabel overgenomen uit [6].

Grondsoort	Drooglegging				
	0 - 30 cm	30 - 60cm	60 - 100 cm	100 - 150 cm	> 150 cm
Diepveen	3.2	6.1	8.6	10.8	12.5
Veen	2.5	5.0	7.0	9.2	10.6
10-40 cm klei op veen	1.6	4.0	5.5	7.3	8.5
40-80 cm klei op veen	0.9	2.5	3.9	5.1	6.0
80-200 cm klei op veen	0.4	1.2	2.1	2.9	3.4
> 200 cm klei	0.1	0.3	0.6	0.9	1.0
< 200 cm klei op zand	0.1	0.2	0.4	0.6	0.7
Zand	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Uitgaande van de gegevens in tabel 2.3 wordt afhankelijk van de dikte van het kleidek en de drooglegging een bodemdaling van 2,1 tot 7,3 mm per jaar gegeven.

Op basis van deze data zou in het gebied op de landbouwpercelen theoretisch tussen 1965 en 2018 een daling variërend van 11 tot 39 cm (gemiddeld 25 cm) kunnen zijn opgetreden.

Essen et al. (2011) geven aan dat bruikbare gegevens die de bodemdaling van een gebied in de tijd goed in beeld brengen schaars zijn. Alterra heeft hier in 2004 en 2005 inventarisaties voor uitgevoerd met als resultaat één van de weinige overzichten van zowel het bodemtype, dikte van het kleidek en reële bodemdaling per jaar. Het resultaat is weergegeven in tabel 2.4.

Tabel 2.4 Overzicht bodemdaling per jaar in Swettegebied, berekend over periode 1950-1994 [7]

Bodemtype	Dikte kleidek	mv daling (mm/jaar)	Gemiddelde drooglegging (1994)
kMv71C	0,4-0,8	1,2	0,54
pVs	0,25-0,4	3,1	1,1
kVs	0,25-0,4	2,7	0,49
kVc	0,25-0,4	3,8	0,48
pVc	0,15-0,25	8,8	1,1
kVs/pVs	0,15-0,25	6,1	0,42
pVc/pVs	0,15-0,25	6,6	0,38
kMv71C	0,4-0,8	3,6	1,02
kVs	0,25-0,4	4,1	0,8
kVs/pVs	0,25-0,4	5,7	1,03
kVs/pVs/hVs	0,15-0,25	6,8	0,89-0,99
kVs/kVc/pVc	0,25-0,4	5,2	1
kVs/kVc/pVs	0,15-0,25	6,6	0,92

De grondsoort in het onderzoeksgebied (zie par. 2.2.) is het meest vergelijkbaar met bodemtype kMv71C in tabel 2.2, in combinatie met een drooglegging van 1,02 m. Op basis van deze daling (3,6 mm/jaar) zou in het gebied theoretisch tussen 1965 en 2018 een daling van 19 cm kunnen zijn opgetreden.

2.2 Bodemopbouw

Ondiepe bodemopbouw (<1,20 m -mv)

Op basis van de Bodemkaart van Nederland (schaal 1:50.000) komen in het gebied overwegend kalkarme drechtaaggronden bestaande uit zware klei voor (code Mv41C, grondwatertrap II) op veen met een minimale dikte van 40 cm. Een uitsnede van de Bodemkaart is weergegeven in fig 2.4. De Bodemkaart voor dit gebied is uitgegeven in 1974 (kaartblad 10 Oost Sneek) en in 1970 (kaartblad 11 West Heerenveen).

De gronden liggen in het overgangsgebied van de veengronden aan de zuidzijde en de kniklei en knippige gronden aan de noordzijde. Langs de grens met de veengronden is het kleidek 40 cm dik, noordwaarts neemt de dikte geleidelijk toe tot 80 cm. De veenondergrond bestaat overwegend uit veenmosveen. Alleen in het overgangsgebied naar de knipkleigronden en in de nabijheid van geulen wordt zeggeveen en soms rietzeggeveen aangetroffen [8].

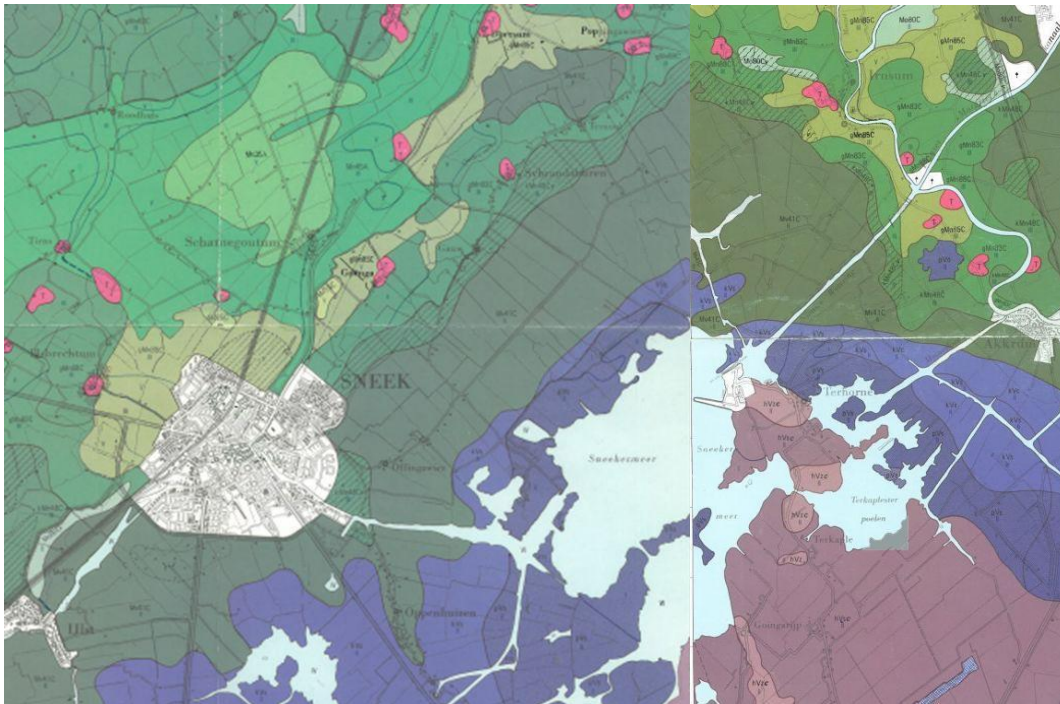


Fig. 2.4 Uitsnede Bodemkaart links kaartblad 10 Oost Sneek 1974, rechts kaartblad 11 West Heerenveen, 1970 [8].

Aan de noordzijde komen knippoldervaaggronden voor bestaande uit zware klei met moerig materiaal beginnend dieper dan 80 cm en doorgaand tot 120 cm (code kMn48Cv – grondwatertrap III).

In 2014 heeft Alterra de bodemkaart van veengebieden in Noord-Nederland geactualiseerd. De kleigronden-op-veen, dit zijn gronden waarbij onder een 40 à 80 cm dikke kleilaag veen aanwezig is, vielen echter buiten de actualisatie. De actualisatie had alleen betrekking op veendikte bij de moerige gronden en de veengronden [9]. In Dinoloket is mede daardoor slechts een enkel bodemkundig bodemprofiel tot 1,2 minus maaiveld beschikbaar (bodemkundige kartering van Alterra) en is de bodemkaart van het gebied Sneekermeer West niet geactualiseerd.

De beschikbare geotechnische boringen op Dinoloket geven een beeld van de variatie in dikte van het kleidek. Deze bevestigen de gegevens van de Bodemkaart en ervaringen van agrariers in het gebied dat het kleidek van zuidoost naar noordwest in dikte toeneemt. De boringen zijn verkregen in de periode 1906 tot 2016.

Diepere bodemopbouw (>1,20 m -mv)

Op basis van boringen in Dinoloket is inzicht verkregen in de diepere bodemopbouw. Met behulp van deze geotechnische boringen is recent het ondergrondmodel Geotop V1.3 (2016) geschematiseerd. Het model GeoTOP geeft een gedetailleerd driedimensionaal beeld van de ondergrond van Nederland tot een diepte van maximaal 50 meter onder NAP. Het schaalniveau is 1:50.000 (wijkniveau) [10].

2.3 Waterhuishouding

Grondwater

Op basis van de Bodemkaart komt overwegend grondwatertrap II in het gebied voor. De Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) ligt < 40 cm -mv en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) tussen 50-80 m -mv.

Meer noordelijk komt grondwatertrap III voor, de GHG < 40 cm -mv en de de GLG tussen 80-120 m -mv. De bodemkaart is gemaakt in 1974/1970 ten behoeve van de ruilverkaveling. De grondwatertrappen zijn van toepassing op de periode voordat de ruilverkaveling is uitgevoerd.

In Dinoloket zijn geen peilbuizen beschikbaar waarmee het verloop van historische en huidige grondwaterstanden van de landbouwpercen in het gebied inzichtelijk kunnen worden gemaakt.

Het waterschap heeft met behulp van een rekenmodel de grondwaterstanden in het onderzoeksgebied berekend met een fysisch tijdreeksmodel (FTM). De door het waterschap berekende grondwaterstanden zijn berekend op rasterniveau van 25x25 m. Met behulp van ondergrondgegevens en peilgegevens is per raster een grondwaterverloop berekend waarmee de gemiddelde hoogste (GHG) en laagste (GLG) grondwaterstand is bepaald. Deze grondwaterstanden zijn niet met behulp van peilbuizen te verifiëren omdat er weinig peilbuizen in het gebied aanwezig zijn. De nauwkeurigheid van deze berekende grondwaterstanden is derhalve niet bekend.

Oppervlaktewater

In het gebied worden verschillende waterpeilen gehanteerd. Een kaart met de ligging van de peilvakken en actuele peilen is opgenomen in bijlage 2.

Het onderzoeksgebied maakt deel uit van twee bemalingsgebieden (Jirnsum en Gebrandygemaal). In het gebied zijn tevens enkele onderbemalingen aanwezig. De peilen liggen tussen circa NAP -1,50 m en NAP -2,40 m. Dit is ten opzichte van de Friese Boezem die met het Sneekermeer grenst aan het gebied en ook met enkele boezemvaarten die het gebied doorsnijden 1 tot 2 meter lager. Uit de peilgebiedenkaart kan worden opgemaakt dat een aantal zeer grote peilgebieden in het onderzoeksgebied aanwezig zijn met oppervlaktes van ruim 550 tot 950 hectare maar ook een aantal kleine peilgebieden met een oppervlakte van enkele hectares.

Aanpassingen waterpeilen

In het gebied werden in het verleden andere waterpeilen gehanteerd. Op basis van oude waterstaatskaarten blijkt dat er waterpeilen voorkwamen die hoger waren dan de huidige peilen. Vooral in de ruilverkaveling zijn veel peilen verlaagd. De peilaanpassingen kunnen met allerlei redenen zijn doorgevoerd zoals de ruilverkaveling, samenvoegen van peilgebieden en normaanpassingen.

De beschikbare waterstaatskaarten zijn relatief onduidelijk qua begrenzing van de vroegere peilgebieden.

2.4 Lengteprofielen met basisinformatie

Een aantal dwarsdoorsneden van het gebied zijn opgenomen in bijlage 3. In deze lengteprofielen zijn de hiervoor beschreven databronnen opgenomen en gecombineerd.

Uit de gegevens kan worden opgemaakt dat het pakket met klei en veen een dikte heeft variërend circa 2,5 tot 5 m. Vervolgens is het Pleistocene, vast zand aanwezig.

De dikte van het veenpakket varieert binnen het gebied. Lokaal zijn in de veenlaag ook tussenlagen met klei aanwezig.

3 Omvang en oorzaken bodemdaling

3.1 Hoogteverschillen

In bijlage 4 zijn de hoogteverschilkaarten gepresenteerd. Uit de kaartbeelden kan het volgende worden opgemaakt.

Hoogteverschil TophoogteMD (1965) en AHN3 (2014)

Een vergelijking tussen de AHN3 en TophoogteMD geeft verschillen tot maximaal 40 cm weer. Deze verschillen van 0 tot 40 cm vallen binnen de onzekerheidsmarge van de beschikbare data.

Een detailopname van de kaart is weergegeven in figuur 3.1. Hieruit kan worden opgemaakt dat er sprake is van een grote ruimtelijke spreiding van hoogteverschillen AHN3-TophoogteMD op korte afstand van elkaar. Tevens is in de figuur de vergelijking van AHN2 en AHN3 opgenomen om te bepalen of de grootste verschillen, die tussen TophoogteMD en AHN3 zijn waar te nemen, optreden op de locaties waar ook tussen AHN2 en AHN3 de grootste verschillen zijn waar te nemen. Er zijn verschillen van 5 tot 10 cm in vergelijking met AHN3-AHN2 op perceelniveau, maar er is geen correlatie te leggen met de verschillen tussen TophoogteMD en AHN3.

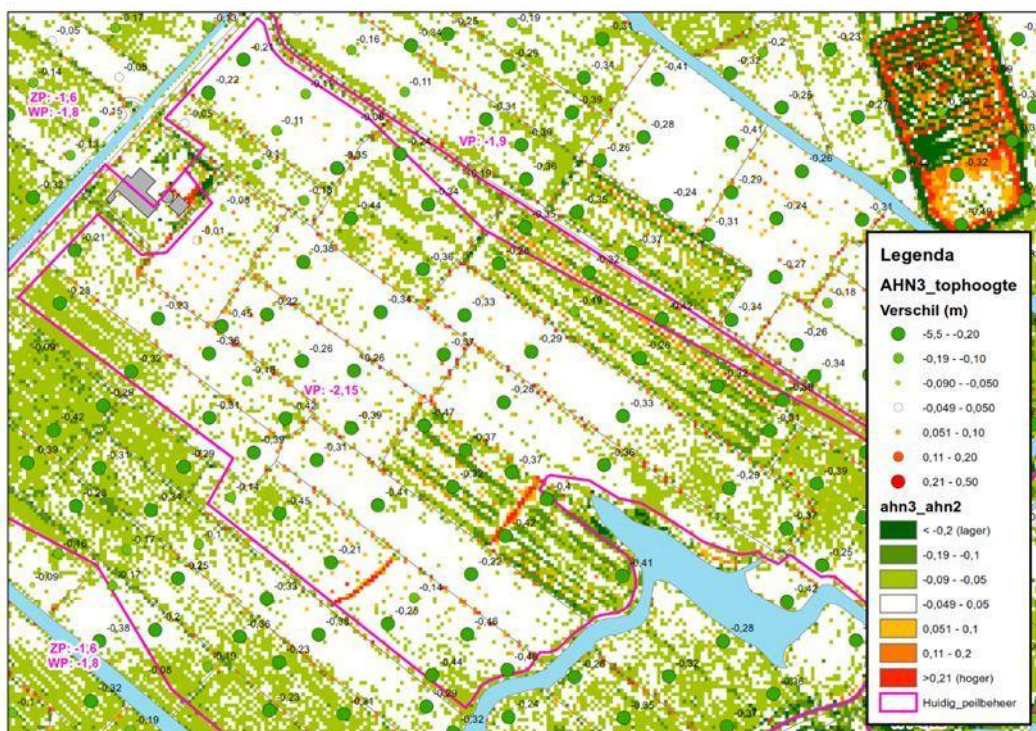
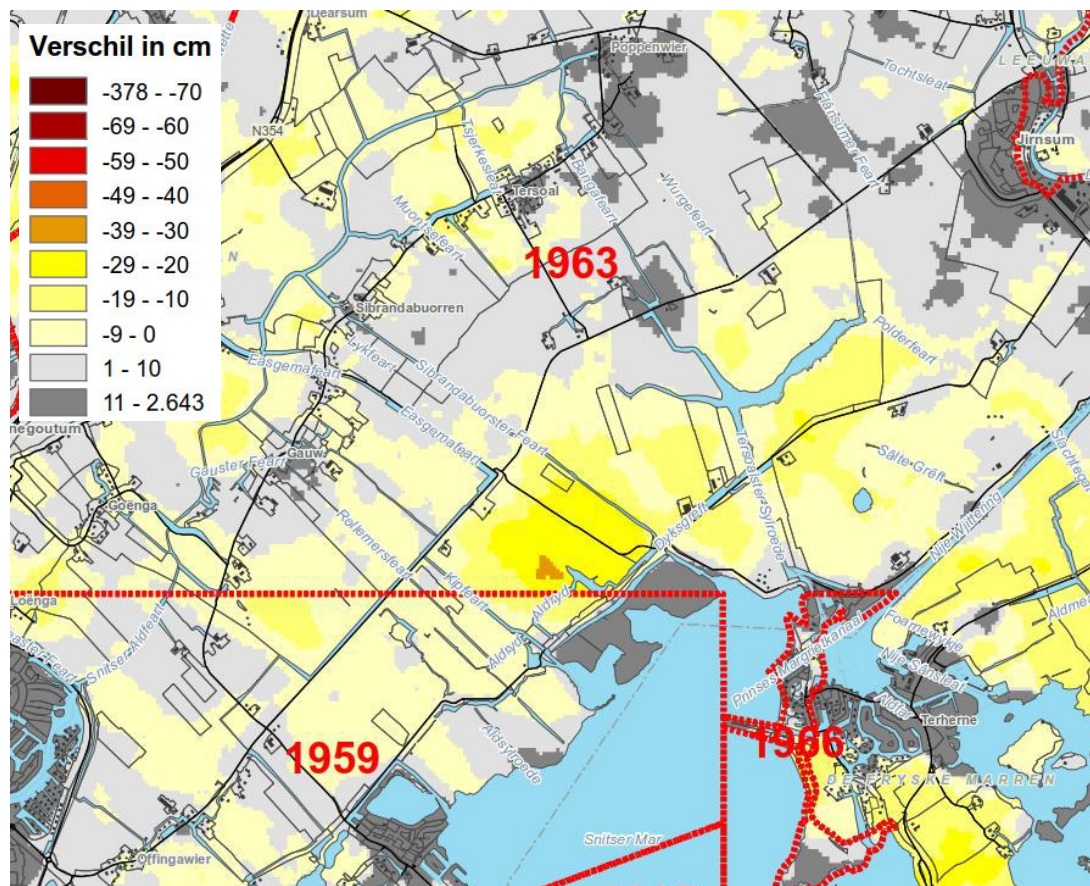


Fig 3.1. Detailbeeld verschil AHN3 (2014) met TophoogteMD (1965)

De vergelijking van de TophoogteMD en AHN3 laat overwegend punten zien waar het maaiveld in 2014 lager is dan in 1965. De mate van daling is echter niet nauwkeurig vast te stellen.

Hoogteverschil TophoogteMD (1965) en AHN2 (2008)

De provincie Fryslân heeft een vlakdekkende kaart vervaardigd met de verschillen tussen Tophoogte MD en AHN2. Deze is weergegeven in figuur 3.2. Een vergelijking tussen de AHN2 en TophoogteMD geeft verschillen tot maximaal 40 cm weer. Deze verschillen van 0 tot 40 cm vallen binnen de onzekerheidsmarge van de beschikbare data.

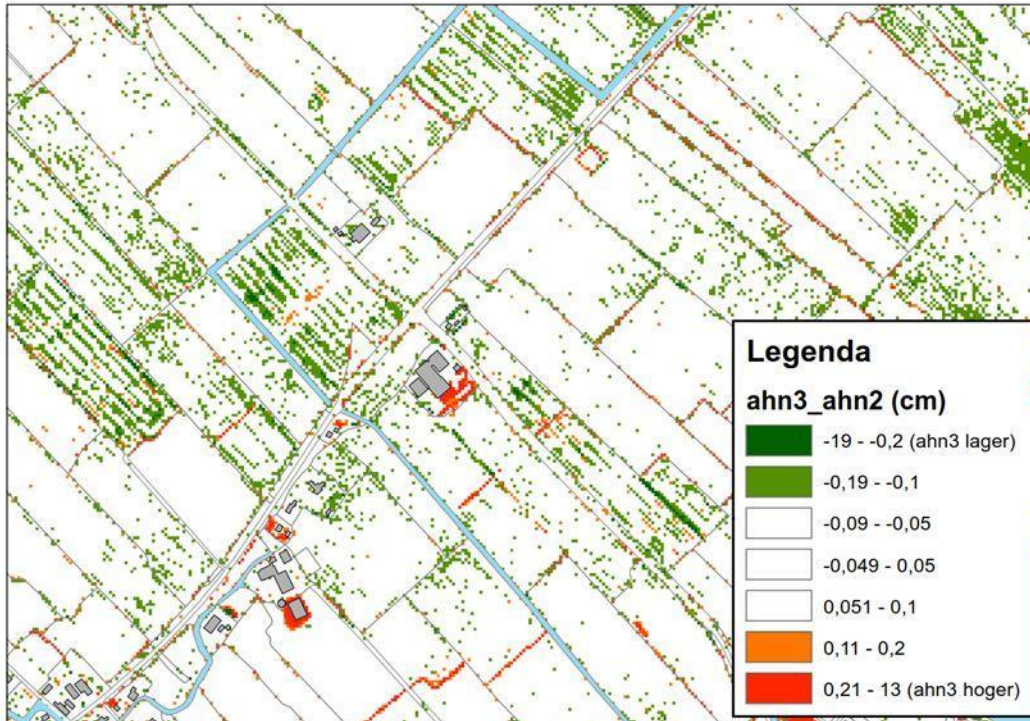


Figuur 3.2 Vergelijking TophoogteMD en AHN2

De vergelijking van de TophoogteMD en AHN2 geeft overwegend weer dat in de gebieden waar veen met een kleidek aanwezig is de hoogte in 2008 lager is dan in 1965. De mate van daling is echter niet nauwkeurig vast te stellen.

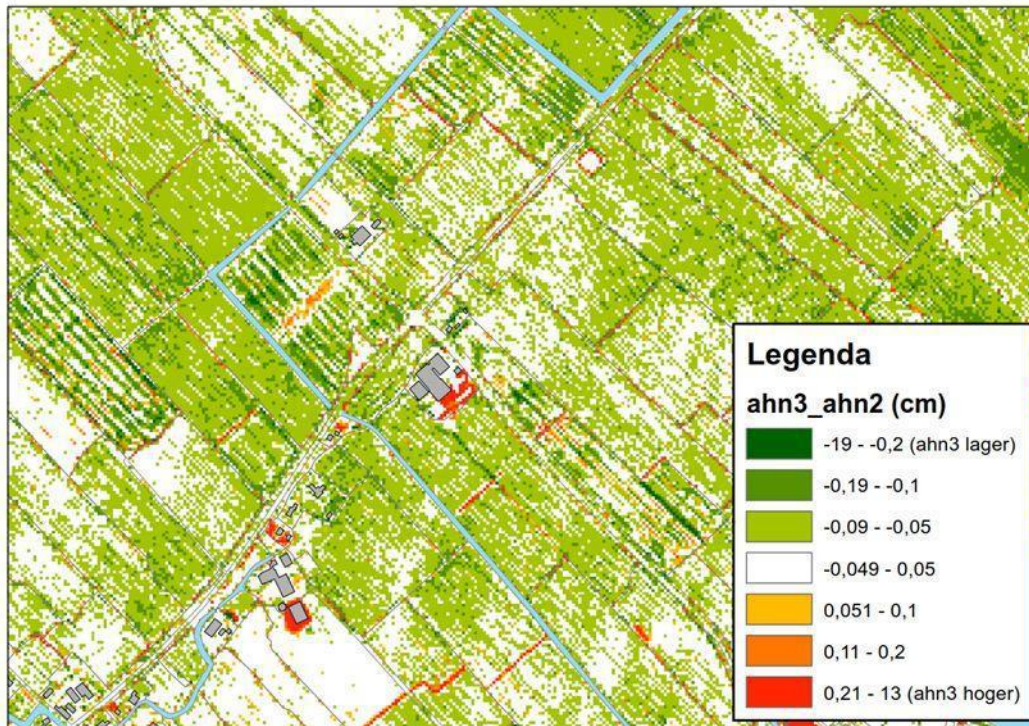
Hoogteverschil AHN2 (2008) en AHN3 (2014)

Een vergelijking van de AHN2 en AHN3 geeft een zeer globaal beeld van de opgetreden daling tussen 2008 en 2014 weer. Het levert hoogteverschillen op van 0 tot 20 cm. Ook zijn vlakpatronen zichtbaar (vliegbanen) waar op korte afstand hoogteverschillen van 2 tot 5 cm optreden (van negatief naar positief verschil). Dit valt binnen de nauwkeurigheidsbandbreedte van beide bestanden (beide 10 cm). Onderscheid van hoogteverschillen in range van +20 / -20 cm is derhalve niet betrouwbaar te bepalen. Deze verschillen zijn op kaart nauwelijks waarneembaar en bij gedetailleerde analyse blijken deze verschillen zeer perceelsafhankelijk te zijn (zie figuur 3.3) en lokaal op te treden. Dit kan enkel worden verklaard door foutenruis door aanwezige gewassen ten tijde van inwinning en grondbewerkingen.



Figuur 3.3 Voorbeeld van verschil tussen AHN2 en AHN3 klassen meer dan 10 cm verschil

Als wordt aangenomen dat de onnauwkeurigheidsbandbreedte veelal tussen +5 en -5 cm ligt dan worden de verschillen meer vlakdekkend (zie figuur 3.4). Ook in deze kaart zijn echter nog perceelsafhankelijke verschillen waarneembaar.



Figuur 3.4 Voorbeeld van verschil tussen AHN2 en AHN3 klassen meer dan 5 cm verschil

Het totale gebied met verschillen groter dan +/-5 cm is weergegeven op de kaart in bijlage 4. De grootste verschillen lijken in het gebied tussen het bebouwingslint en het Sneekermeer op te treden met overwegend verschillen tussen 5 en 10 cm. Hierbij is de recentere AHN3 lager. Deze hoogteverschillen bedragen veelal tot 10 cm in 6 jaar. Dit lijkt een daling van 17 mm/jaar, maar wordt als onrealistisch beschouwd (zie ook paragraaf 2.1.2). Met aftrek van 5 cm foutenmarge bedraagt de daling maximaal 7,5 mm/jaar. Dit ligt meer in de orde van grootte zoals in paragraaf 2.1.2 is beschreven.

Op basis van de vergelijking van de AHN2 en AHN3 kan mogelijk een dalende trend worden geconstateerd als de verschillen van meer dan 5 cm worden beschouwd. De mate van opgetreden bodemdaling is echter niet met zekerheid vast te stellen.

3.2 Oorzaken opgetreden hoogteverschillen

Bodemdaling wordt veroorzaakt door een aantal processen die deels door de mens worden beïnvloed. Met name de waterhuishouding is een belangrijke menselijke ingreep die voor versnelde bodemdaling kan leiden. In de volgende paragrafen worden de processen die bodemdaling veroorzaken besproken. Voor dit onderzoek onderscheiden wij de volgende oorzaken van bodemdaling:

1. Tektonische daling en isostasie:
2. Winning van delfstoffen: olie, gas, zout
3. Oxidatie en krimp van veen
4. Zetting/klink
5. Rijping van klei

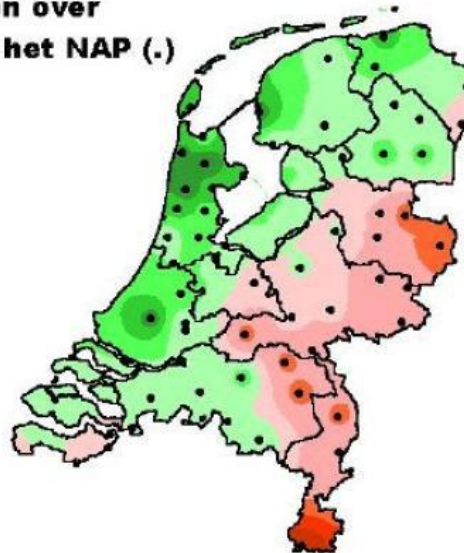
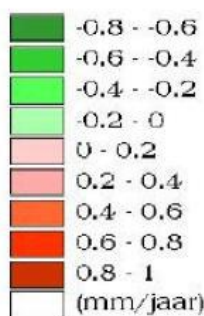
1. Tektonische daling en isostasie

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 eeuw wat neerkomt op 0,18 mm/jaar [11].

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 2 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 geschat op maximaal 0,3 mm/jaar [11].

Figuur 3.5 geeft een landsdekkend beeld van bodembeweging door bovenstaande processen weer. Voor het onderzoeksgebied kan op basis van deze kaart worden uitgegaan van -0,2 tot -0,4 mm/jaar. In de periode 1965 tot 2018 bedraagt de totale bodembeweging door tektoniek en isostasie gemiddeld 1,5 cm en wordt als verwaarloosbaar beoordeeld.

Vertikale bewegingen Pleistoceen bepaald uit waterpassingen over ondergrondse merken van het NAP (.)



RWS Meetkundige Dienst 1997

Fig. 3.5 Bodembeweging afgeleid van de ondergrondse merken van het NAP [12].

2. Bodemdaling door winning van delfstoffen

De bodemdaling die gepaard gaat met winning van delfstoffen is in bepaalde gebieden van Nederland een belangrijke oorzaak voor bodemdaling, denk met name aan de gaswinning in Groningen en de zout- en gaswinning in Noord-Friesland. In het projectgebied is geen sprake van delfstofwinning en speelt bodemdaling door winning van delfstoffen derhalve geen rol.

3. Oxidatie en krimp van veen

Oxidatie en krimp van veen is een 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". Micro-organismen zetten organische stof om in water en koolstofdioxide (vooral onder aërobe omstandigheden).

Krimp van het veen vindt plaats boven de grondwaterstand door uitdroging door 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 bodemdalingen van meer dan 10 cm veroorzaken. Brouns en Verhoeven (2013) onderzochten onder andere het effect van zomerdroogte op veenafbraak. De onderzoekers concluderen onder meer dat een eenmaal gedraineerde veenlaag na vernatting nooit de zeer langzame afbraaksnelheid meer bereikt die het oorspronkelijk vertoonde [14].

In het projectgebied bevindt zich veen rondom de grondwaterstand en deels relatief ondiep in het bodemprofiel (binnen 40 cm -mv). Scheurvorming in het bovenliggende kleidek door langdurige droogte tot het veen valt te verwachten. Tevens worden gronden ontwaterd (sloten en drainage) en zijn in het verleden peilverlagingen doorgevoerd waardoor in de loop van de tijd een deel van het veen in contact is gekomen met zuurstof.

Veen bestaat uit organisch materiaal. Organische stof is complex materiaal in de natuur. Het bevat waarschijnlijk de meeste natuurlijk voorkomende organische verbindingen, die elk hun eigen afbraaksnelheid hebben. De organische stof in de bodem bestaat uit organisch materiaal dat in verschillende stadia van afbraak verkeert. De belangrijkste macromoleculaire verbindingen in plantenmateriaal, waaruit nagenoeg de gehele organische stof van veen bestaat, zijn: koolhydraten, lignine (houtstof), eiwitten, organisch-P-en organisch-S-componenten en vetten, wassen en harsen [13].

Aspecten die een rol spelen bij de afbraak van veen zijn [6]:

- Vochtgehalte
- Zuurstofvoorziening
- Zuurgraad
- Temperatuur
- Veentype (o.a. C/N verhouding)
- Nutrientengehalte
- Lutumgehalte
- Zoutgehalte
- Kleidek
- Landgebruik

De omvang van de opgetreden veenoxidatie in het gebied zou indicatief kunnen worden afgeleid uit nabij gelegen oude en nieuwe boringen waarbij de dikte van het veenpakket wordt vergeleken. Deze gegevens ontbreken echter. Ook is het gebied niet meegenomen in de actualisatie van veengronden in Noord-Nederland [9] waaruit eventuele verschillen zouden kunnen worden opgemaakt.

De mate van bodemdaling van veengronden is afhankelijk van de C/N-coëfficiënt van het veen. Van veenmosveen (die volgens de Bodemkaart van Nederland in het gebied voorkomt) is de afbraaksnelheid relatief laag [13].

De aanwezigheid van een kleidek heeft een grote invloed op de bodemdaling. Vaak wordt gesteld dat de kleilaag het onderliggende veenpakket afsluit en daarmee toetreding van lucht en zuurstof in het veen voorkomt. Dit is echter alleen het geval als de klei niet uitdroogt en gaat scheuren. Gescheurde klei is zeer goed lucht- en waterdoorlatend. Alleen dikke kleilagen die onderin nat blijven en niet tot op het veen doorscheuren kunnen een afsluitende laag vormen. Een afdeklaag van 40 cm klei beperkt de bodemdaling met 3 mm per jaar. Bij een dikke afdeklaag die dieper reikt dan de GLG wordt de bodemdaling nihil

[13]. De agrariërs hadden in de zomer van 2018 diepe scheuren in de grond vanwege langdurige droogte wat tot versnelde veenaafbraak kan hebben geleid.

Sterk bepalend voor de mate van bodemdaling door veenoxidatie is de GLG. Boven de GLG geldt: hoe hoger in het profiel, des te langer het veen aan aerobe afbraak heeft blootgestaan, des te sterker het is verweerd en des te resistenter tegen afbraak het is geworden. Rond de GLG bevindt zich het jongste veen dat nog nauwelijks aan aerobe afbraak heeft blootgestaan, of het veen dat het minst is afgebroken, zowel aeroob als anaeroob. Daar wordt dan ook de hoogste afbraaksnelheid gevonden. In de wortelzone en vlak daaronder speelt de aanvoer van vers, gemakkelijk afbreekbaar materiaal een rol, waardoor de afbraaksnelheid daar hoger is dan op grond van de graad van vertering mag worden verwacht [13].

Onderzoek van den Akker (2007) heeft aangetoond dat de GLG de beste correlatie geeft met bodemdaling op veengronden. De verklaring hiervoor is, dat veen moeilijk afbreekbare verbindingen (fenolen) bevat die de afbraak van organische materiaal remmen. Deze verbindingen worden voornamelijk afgebroken in zuurstofrijke omstandigheden die bijvoorbeeld ontstaan als het grondwater uitzakt in droge omstandigheden. Als het waterpeil weer omhoog gaat dan blijft de afbraak sneller verlopen in de periode voordat het grondwater uitgezakt is geweest [14].

4. Zetting/klink

Zetting/klink is het proces waarbij samendrukking van slappe bodemlagen (klei en veen) door een toename van de korrelspanning (door belasting of verlaging waterstand) plaatsvindt. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen een primaire en seculaire zettingen. Primaire zetting is de volumeverandering door elastische en plastische vervorming door het verhogen van de belasting op de ondergrond. Onder secundaire zetting worden de volumeveranderingen verstaan die plaatsvinden onder gelijkblijvende belastingen. Seculaire zetting wordt ook wel kruip genoemd.

Als gevolg van peilverlagingen in het verleden kunnen in het gebied zettingen zijn opgetreden doordat grondwaterstanden zijn verlaagd. Het waterschap heeft aan de hand van een vingeroefening als gevolg van grondwaterstandsverlagingen van 0,50 m, eindzettingen variërend van 9 tot 22 cm berekend. In aanvulling hierop is een indicatieve zettingsberekening uitgevoerd met behulp van het rekenmodel D-Settlement en dezelfde uitgangspunten van het waterschap. Hieruit volgt dat als gevolg van een peilverlaging (en daarmee een verlaging van de grondwaterstand van 0,50 m) in 1965 tot nu circa 10 tot 20 cm zetting kan zijn opgetreden (deze daling zit dus ook in de maaiveldverschillen-kaarten (1965-2018)). De omvang hangt mede af van uitgangspunten die voor de samendrukkingsparameters van het veen worden aangehouden. Ook door lokale verschillen in bodemopbouw en (historische) grondwaterstanden kunnen zettingen, en daarmee de bodemdaling, als gevolg van eerdere peilverlagingen lokaal verschillen. De primaire zetting als gevolg van peilverlagingen is naar verwachting volledig opgetreden, de seculaire zetting (kruip) die nog doorgaat als gevolg van historische peilverlagingen bedraagt globaal circa 0,1 mm/jaar en wordt als verwaarloosbaar beoordeeld.

5. Rijping van klei

Rijping is qua proces vergelijkbaar met zetting. Rijping treedt op in de bovenste laag waar water uit verdwijnt door 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. Gevolg hiervan is dat de grond in elkaar wordt gedrukt (krimp), met als gevolg dat het maaiveld zakt. Omdat water voornamelijk aan lutum (kleideeltjes) en organische bestanddelen is gebonden, is het waterverlies groter naarmate een grond kleiiger en humeuzer is. Vanwege de aanwezigheid van klei in de bovengrond en eerdere peilverlagingen is klei in het bodemprofiel verder gerijpt. Het aandeel bodemdaling door rijping is echter naar verwachting verwaarloosbaar ten opzichte van de processen krimp en oxidatie van veen en zetting/klink.

3.3 Effect van grondverzet en grondbewerking

Agrariërs hebben in het gebied in de loop van de jaren lokaal sloten gedempt en lokaal zijn percelen geëgaliseerd. Ook zijn er lokaal grondbewerkingen uitgevoerd. Hierdoor kunnen in de loop van de jaren ook hoogteverschillen van de percelen zijn ontstaan. Slootdempingen kunnen bijvoorbeeld nazakken door zettingen.

In het gebied wordt ook mais geteeld. Bij deze teelt worden grondbewerkingen uitgevoerd met grotere kans op intrede van zuurstof in de bodem en het opwerken van veen uit de ondergrond en daarmee grotere kans op afbraak van veen. In paragraaf 3.5 wordt dieper ingegaan op de relatie tussen maisteelt op veengrond en bodemdaling.

3.4 Relatie kleidikte en drooglegging en opgetreden hoogteverschillen

Met behulp van de beschikbare data is getracht inzicht te krijgen in een eventuele relatie tussen de dikte van het kleidek, de geconstateerde hoogteverschillen en de drooglegging. Opgemerkt wordt dat de nauwkeurigheid van de gegevens sterk van invloed zijn op de resultaten.

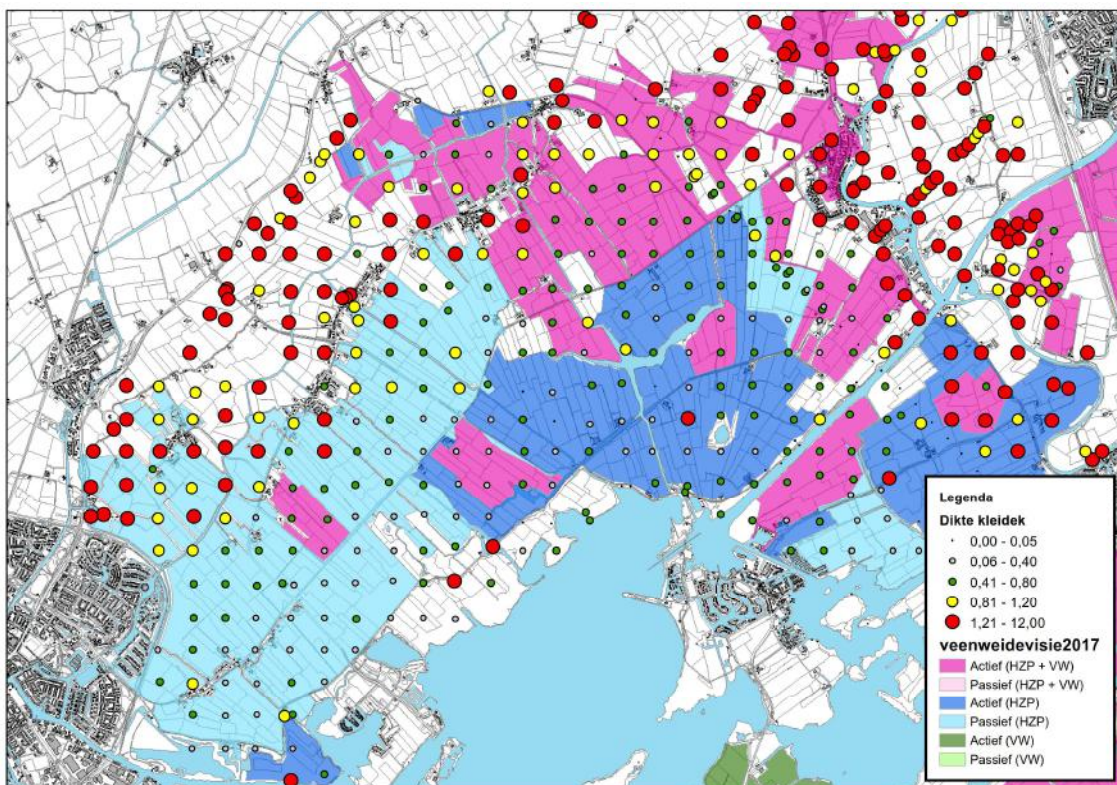
Brongegevens:

- Dikte kleidek o.b.v. boringen Dinoloket (zie figuur 3.6). De dikte van het kleidek is afgeleid in dm. Hierbij wordt opgemerkt dat de boringen in wisselende perioden zijn verkregen (1906 tot 2016) en veel van onbekende datum zijn. Dit geeft onzekerheid in de actuele dikte van het kleidek.
- Hoogte: voor het bepalen van de hoogte zijn onderstaande gegevens gebruikt. Hierbij dient rekening te worden gehouden met de onnauwkeurigheid zoals weergegeven in paragraaf 2.1.
 - 1960 – Tophoogte
 - 2008 - AHN2
 - 2014 - AHN3
- Huidige drooglegging: de huidige drooglegging is berekend met:
 - Winterpeil huidige legger (winter)
 - Zomerpeil huidige legger (zomer)
 - AHN3

De resultaten van de analyse zijn weergegeven in de grafieken zoals opgenomen in bijlage 5. Uit de grafieken van e vergelijking van TophoogteMD en AHN2 met AHN3 kunnen onderstaande punten worden afgeleid:

- Bij kleidiktes tot 80 cm zijn negatieve maaiveldhoogteverschillen buiten de onnauwkeurighedsbandbreedte waarneembaar. Bij kleidiktes tot 40 cm bij circa 34% van de boringen en bij kleidiktes van 40-80 cm bij circa 27% van de boringen. Van deze boringen heeft circa 90%, respectievelijk circa 49% een drooglegging groter dan de kleidikte (dus in het veenpakket).

- Bij kleidiktes tussen 80-120 cm zijn negatieve maaiveldhoogteverschillen buiten de onnauwkeurigheidsbandbreedte sporadisch (16%) waarneembaar. Van deze boringen ligt de drooglegging overwegend binnen het kleidek. Het aantal boringen dat in deze kleidikteklasse valt is beperkt t.o.v. de andere klassen.
- Bij kleidiktes >120 cm zijn negatieve maaiveldhoogteverschillen buiten de onnauwkeurigheidsbandbreedte waarneembaar in alle droogleggingsklassen.
- Er lijkt bij kleidiktes tot circa 0,80 m een verband waarneembaar tussen een drooglegging dieper dan de onderkant kleidek (in het veenpakket) en een negatief maaiveldhoogteverschil (maaiveld lager in AHN3).
- Er lijkt bij een kleidikte >1,20 m een andere oorzaak ten grondslag te liggen aan negatieve maaiveldhoogteverschillen. Welke oorzaak is niet bekend en of dit effect zich ook voordoet bij een kleidikte <1,20 m is tevens niet bekend.



Figuur 3.6 Kleidikte in grondboringen projectgebied

3.5 Relatie maisteelt en opgetreden hoogteverschillen

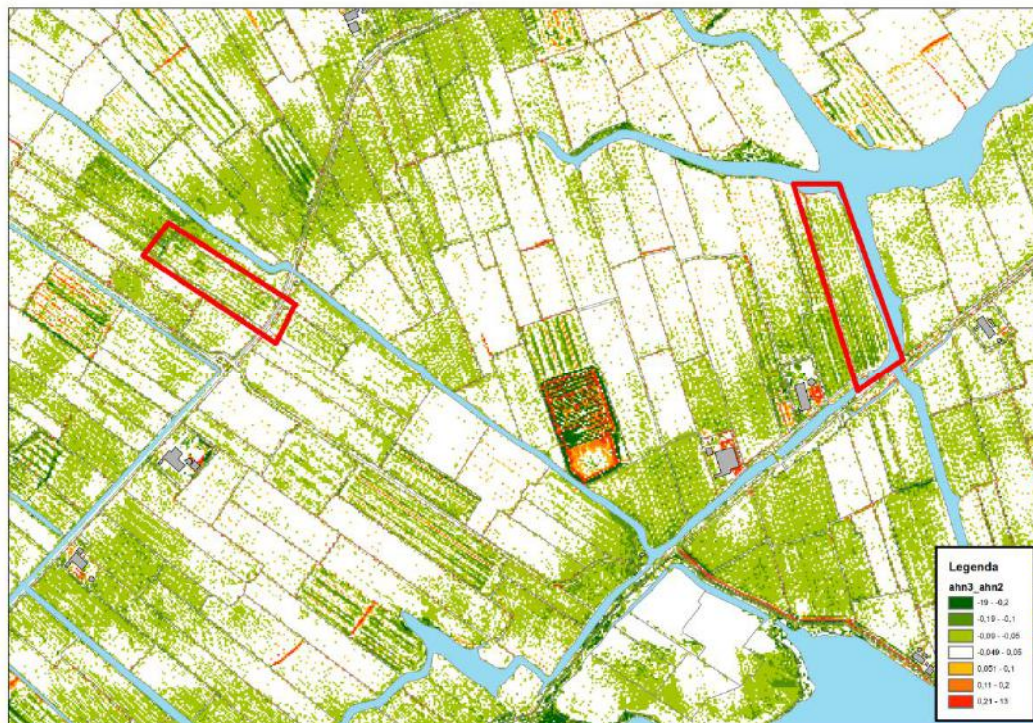
Maisteelt en bodemdaling op veengronden worden vaak aan elkaar gekoppeld waarbij de maisteelt de bodemdaling zou versnellen. De theorie geeft aan dat de benodigde grondbewerking voor de teelt lucht in de bodem brengt en in combinatie met een voldoende lage grondwaterstand zorgt voor extra veenoxidatie en daarmee extra bodemdaling. Wetenschappelijk onderzoek tussen de relatie maisteelt-bodemdaling op veengrond is er (nog) niet. In theorie zal er zeker sprake zijn van een relatie van maisteelt met bodemdaling, maar deze heeft dan vooral betrekking op de teeltwijze en niet direct op het gewas mais. De bodemdaling treedt op door veenverbranding (oxidatie) omdat het veenmateriaal in aanraking komt met lucht. Dit proces wordt bij akkerbouw op veen op drie manieren gestimuleerd [15]:

1. Verlaging grondwaterpeil (bijvoorbeeld om betere doorworteling te verkrijgen en om de draagkracht te verhogen, hetgeen grondbewerkingen, bemesting en oogst mogelijk maakt)
2. Zaaibed bereiding door bijvoorbeeld te ploegen of op andere wijze de grond te roeren, waardoor zuurstof toe kan treden
3. Oogsten van ondergrondse delen (bijvoorbeeld knol of bolgewassen)

Ten opzichte van gewassen waarbij bij oogst de bodem nogmaals geroerd zal worden, zal de bodem bij maisteelt in theorie dus minder dalen. Ten opzichte van gras zal de bodem sneller dalen, omdat door grondbewerking de oxidatie/veenafbraak gestimuleerd wordt. Wanneer de sloot/grondwaterpeilen op het niveau van grasland worden gehouden, is alleen de bodembewerking oorzaak van extra daling. Als daarnaast ook gekozen wordt voor extra slootpeil/grondwaterpeil daling zal extra bodemdaling het gevolg zijn. Het effect van de teelt van mais zal in de lijn liggen met bijvoorbeeld de teelt van granen, maar zal minder daling veroorzaken dan de teelt van aardappelen of (voeder)bieten [15].

Op basis van PDOK Registratie Gewaspercelen is voor het onderzoeksgebied gezocht naar percelen die in de periode 2008-2014 (grotendeels) als maisland in gebruik zijn geweest en voor deze percelen zijn de hoogtegegevens met elkaar vergeleken (zie figuur 3.7).

Op basis van deze vergelijking is er geen duidelijke relatie te vinden tussen het hoogteverschil en landgebruik maisteelt. De geconstateerde hoogteverschillen zijn niet wezenlijk anders op maispercelen dan op de omliggende graslandpercelen.



Figuur 3.7 Vergelijking verschil tussen AHN2 en AHN3 op maispercelen (rood omlijnd)

3.6 Effect van peilverhoging op remming bodemdaling

In het Friese Veenweidegebied zijn eerder proeven gedaan naar het effect van hogere zomerpeilen op het afremmen van bodemdaling [7]. In het onderzoek zijn echter alleen veengronden beschouwd. Wel zijn zowel veengronden zonder kleidek als veengronden met kleidek onderzocht.

Uit de proeven is geconcludeerd dat er sprake is van een gemiddelde bodemdaling van circa 11 mm per jaar, bij een gemiddelde drooglegging van 96 cm -mv. Wanneer een hoog zomerpeil wordt geïntroduceerd met een gemiddelde drooglegging van 57 cm is sprake van een gemiddelde bodemdaling van circa 8 mm per jaar. Hoog zomerpeil resulteert in een remming van circa 35%.

De variatie in deze remming van bodemdaling blijkt echter zeer groot en wordt bepaald door detailontwatering en lokale bodemopbouw. Wanneer het water gemakkelijk vanuit de sloot het perceel kan intreden is er een grotere invloed van het verhogen van het slootpeil op de remming van bodemdaling. Hiervan is vooral sprake bij goed doorlatend veen, of wanneer water kan infiltreren via drains [7].

Wanneer gekeken wordt naar de dikte van de veenlaag die droog valt, dan concluderen de onderzoekers dat de bodemdaling met 10 tot 40% is te reduceren met de droogleggingen variërend van 50 tot 70 cm -mv. t.o.v. van 85 tot 110 cm -mv [7].

Wanneer we deze reductiefactoren (10 tot 40%) toepassen op het projectgebied en uitgaan van een bodemdaling van 2 tot 7 mm/jaar (zie par. 2.1.2) dan bedraagt de reductie van de bodemdaling door verhoging van het zomerpeil 0,2 tot 2,8 mm/jaar. Voor een periode van 50 jaar bedraagt de totale reductie van de bodemdaling 3,5 tot 14 cm (gemiddeld circa 9 cm). Gezien de bodemopbouw in het gebied Sneekerveer West (aanwezigheid kleidek en veentype met relatief hoge C/N) is de verwachting dat de reductie lager zal zijn dan 9 cm in 50 jaar.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

Hoofdconclusie:

In het gebied Sneekermeer West is bodemdaling opgetreden in de gebieden met kleigronden met een kleidek van 40 tot 80 cm op veen van minimaal 40 cm dik. Deze daling is niet nauwkeurig te kwantificeren maar lijkt zich te beperken tot circa 20 tot 30 cm in 50 jaar. De snelheid en omvang van toekomstige bodemdaling is toekomst onbekend.

Kwaliteit beschikbare gegevens (historische) hoogteligging, bodemopbouw en hydrologie

Er zijn zeer beperkte betrouwbare en voldoende nauwkeurige gegevens met hoogte-informatie beschikbaar. De informatie van bodemgegevens in het gebied is grotendeels verouderd. Grondwaterstandsmetingen in het gebied zijn zeer beperkt beschikbaar.

Omvang en snelheid van de bodemdaling

De geconstateerde hoogteverschillen zijn afgeleid op basis van de beschikbare hoogtegegevens tussen 1965 en 2014 en liggen binnen nauwkeurigheidsmarges van beschikbare gegevens: +/- 20 tot 40 cm. De geconstateerde verschillen zijn veelal negatief. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat een dalende trend waarneembaar is in de veengebieden met kleidek. De opgetreden bodemdaling is niet nauwkeurig te kwantificeren op basis van berekende hoogteverschillen.

Op basis van literatuurgegevens kan 2 tot 7 mm/jaar bodemdaling zijn opgetreden en nog optreden, afhankelijk van dikte kleidek en drooglegging. Tussen 1965 en 2018 is uitgaande van deze cijfers in totaal 10 tot 37 cm aan bodemdaling opgetreden. Dit ligt binnen de nauwkeurigheidsmarge van +/- 20 tot 40 cm van de beschikbare hoogtegegevens.

Bijdrage bodemdaling door zetting/klink en veenoxidatie

De meest aannemelijke processen die tot een hoogteverschil hebben kunnen geleid zijn krimp en oxidatie van veen en zetting/klink. Dit als gevolg van ontwatering en peilverlagingen in het gebied in combinatie met de bodemopbouw.

De mate waarin deze processen tot bodemdaling hebben geleid zijn sterk locatie-afhankelijk veroorzaakt door lokale verschillen in bodemopbouw en de huidige en historische waterpeilen.

Kwantificering van de mate waarin welke bodemdalingsprocessen bijdragen aan bodemdaling is complex, onder andere vanwege combinatie en interactie van bodemdalingsprocessen. Peilverlagingen in het verleden kunnen grofweg tot zettingen van 10 tot 20 cm hebben geleid. Doorgaande zetting (kruip) als gevolg van historische peilverlagingen wordt als verwaarloosbaar beoordeeld.

Relaties tussen hoogteverschillen en kleidikte en drooglegging

Een duidelijke relatie tussen kleidikte en berekende hoogteverschillen is niet vast te stellen. Wel lijken de hoogteverschillen gemiddeld iets groter in gebieden met een dunner kleidek van 10 tot 80 cm dik waar de dikte van het kleidek kleiner is dan de drooglegging in de zomerperiode (hoogteverschil tussen maaiveld en zomerpeil). Op basis van literatuur kan de aanwezigheid van een kleidek van 40 cm de bodemdaling met 3 mm per jaar remmen. Indien de kleilaag tot aan het grondwater loopt is de bodemdaling door veenoxidatie naar verwachting nihil.

De grafieken (bijlage 3) laten zien dat als de drooglegging (zomer- of wintersituatie) groter is dan de dikte van de kleilaag, en dus als de aanwezige veenlaag onder de klei (tijdelijk) wordt blootgesteld aan zuurstof, er maaiveldhoogteverschillen worden waargenomen. Als de drooglegging kleiner is dan de dikte van de kleilaag zien we dat veel minder. Er lijkt dus een relatie tussen drooglegging (al dan niet tot in het veen) en veenoxidatie. Dat is eerder een bevestiging dan nieuwe informatie. Maar er zijn meer factoren naast drooglegging, die de mate van veenoxidatie bepalen, zoals bekend. Uit onderzoek is gebleken dat een eenmaal gedraineerde veenlaag na vernatting nooit de zeer langzame afbraaksnelheid meer bereikt die het oorspronkelijk vertoonde.

De constatering dat bodemdaling, zeer aannemelijk door veenoxidatie als gevolg van groundbewatering en ontwatering, vermoedelijk beperkt is en ook beperkt zal blijven in de toekomst, leidt tot de vraag of grootschalige peilverhoging om het proces van veenoxidatie in dit gebied significant af te remmen of te stoppen wel doelmatig is.

Relaties tussen hoogteverschillen en maisteelt

Er is geen duidelijke relatie tussen hoogteverschillen en het landgebruik maisteelt in het gebied.

4.2 Aanbeveling

De aard en omvang van bodemdaling in de veengebieden met een kleidek in het gebied Sneekermeer West is niet nauwkeurig vast te stellen met de beschikbare gegevens. Daarom wordt voorgesteld om de komende jaren (minimaal 6 jaar) een aantal (circa 10-15) representatieve percelen te monitoren. De representatieve percelen dienen onderscheidend te zijn in veendikte, kleidikte, drooglegging en grondgebruik.

De monitoring richt zich op de grondwaterstanden en de maaiveldhoogte. Voor het onderzoek wordt in de percelen een grondwatermeetpunt ingericht die continu wordt bemeten. Een bodemprofiel van het perceel wordt bij het plaatsen van de peilbuis verkregen. In het perceel worden twee raaien aangebracht met vaste hoogtemeetpunten die jaarlijks in dezelfde periode worden opgemeten. Het waterstandverloop in de omliggende sloten wordt eveneens gemonitord. Indien de mate van veenoxidatie dient te worden onderzocht is het tevens wenselijk om de emissie van vrijkomende broeikasgassen uit de bodem te bemeten.

Doel van het meetprogramma is om meer inzicht te verkrijgen in de relaties tussen drooglegging, grondwaterstanden, veen- en kleidikte en de mate van bodemdaling in het gebied Sneekermeer West.

Geraadpleegde bronnen

- [1] Peilverhogingen Veenweidegebied", Wetterskip Fryslân.
- [2] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Meetkundige Dienst, Wat doet de Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat? (RWS, MD) 1977, 28 p.
- [3] Zon, N. van der, 2013. Kwaliteitsdocument AHN-2, versie 1.3, definitief, 14-5-2013.
- [4] Europees dataportaal, 2019.
<https://www.europeandataportal.eu/data/nl/dataset/705ddd38-2f21-432f-bca2-b4cdf41f0a24>, website geraadpleegd januari 2019.
- [5] NCG, 2019. www.bodemdalingskaart.nl, website geraadpleegd januari 2019.
- [6] Rienks, W.A.; Gerritsen, A.L.; Meulenkamp, W.J.H.; Ottburg, F.G.W.A.; Schouwenberg, E.P.A.G.; Akker, J.J.H. van den; Hendriks, R.F.A. 2004. Veenweidegebied in Fryslân - de effecten van vier peilstrategieën, Alterra, Wageningen.
- [7] Essen, van E.A., J. van Berkum, A. Roelandse, 2011. Evaluatie effecten proeven met hogere zomerpeilen, Aequator Groen & Ruimte bv, Dronten
- [8] Bodemkaart van Nederland 1:50.000 : toelichting bij kaartblad 11 West Heerenveen en 10 West Sneek, Stichting voor Bodemkartering, kaartblad 10 Oost Sneek uitgave 1974, kaartblad 11 West Heerenveen, uitgave 1970.
- [9] Vries, F. de; Brus, D.J.; Kempen, B.; Brouwer, F.; Heidema, A.H., 2014. Actualisatie bodemkaart veengebieden : deelgebied en 2 in Noord Nederland Alterra, Wageningen.
- [10] Geotop V1.3, 2016.
- [11] Lange, G. de, drs. J. Gunnink, ing Y. Houthuessen en ing. R. Muntjewerff. 2012. Bodemdaling Flevoland, Grontmij, Houten – oorspronkelijke bronnen Stouthamer en Berendsen, 2000 en Kooi et al. jaartal onbekend.
- [12] Muntendam-Bos A.G., I.C. Kroon, P.A. Fokker, G. de Lange, 2006. Bodemdaling in Nederland, Projectnummer 034.62543, oorspronkelijke bron Riedstra, 2000; Voor een meer recente bepaling zie Leusink, 2003
- [13] Hendriks, R.F.A., 1991. Afbraak en mineralisatie van veen : literatuuronderzoek, DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- [14] Brouns, K. ; Verhoeven, J.T.A., 2013. Afbraak van veen in veenweidegebieden: effecten van zomerdroogte, verbrakking en landgebruik, Programmabureau Klimaat voor Ruimte, Utrecht,
- [15] Holshof, G. & H.A. van Schooten, 2018. Maïsteelt op veenweide Friesland, Wageningen Livestock Research, Wageningen.

Bijlage 1 Begrippen en definities

Bodemdaling:	het zakken van het niveau van het maaiveld ten opzichte van een vast referentiepunt (bijvoorbeeld het Normaal Amsterdams Peil (NAP)) als gevolg van bodemdalingsprocessen
Bodemdalingsprocessen:	processen in de bodem en ondergrond zoals bv klink, krimp, oxidatie en zetting die kunnen leiden tot verlaging van het maaiveldniveau ten opzichte van een vast referentiepunt bv m NAP
Maaiveld daling:	het zakken van het niveau van het maaiveld ten opzichte van een vast referentiepunt (bijvoorbeeld NAP) als gevolg van directe fysieke ingrepen zoals graven en ophoging
Hoogteverschil:	het berekende verschil tussen beschikbare NAP-hoogtegevens
Tektonische daling:	Tektonische daling treedt op als gevolg van geologische processen in de diepe ondergrond.
Isostasie:	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 2 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.
Bodemdaling door delfstofwinning:	bodemdaling door diepere proces als gevolg van winning van delfstoffen zoals gas en zout.
Oxidatie van veen:	Door de blootstelling van organisch materiaal aan de lucht vindt oxidatie plaats, waardoor het veen "verbrandt". Micro organismen zetten organische stof om in water en koolstofdioxide (vooral onder aërobe omstandigheden).
Krimp van het veen:	vindt plaats boven de grondwaterstand door uitdroging door 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.

Zetting/klink:

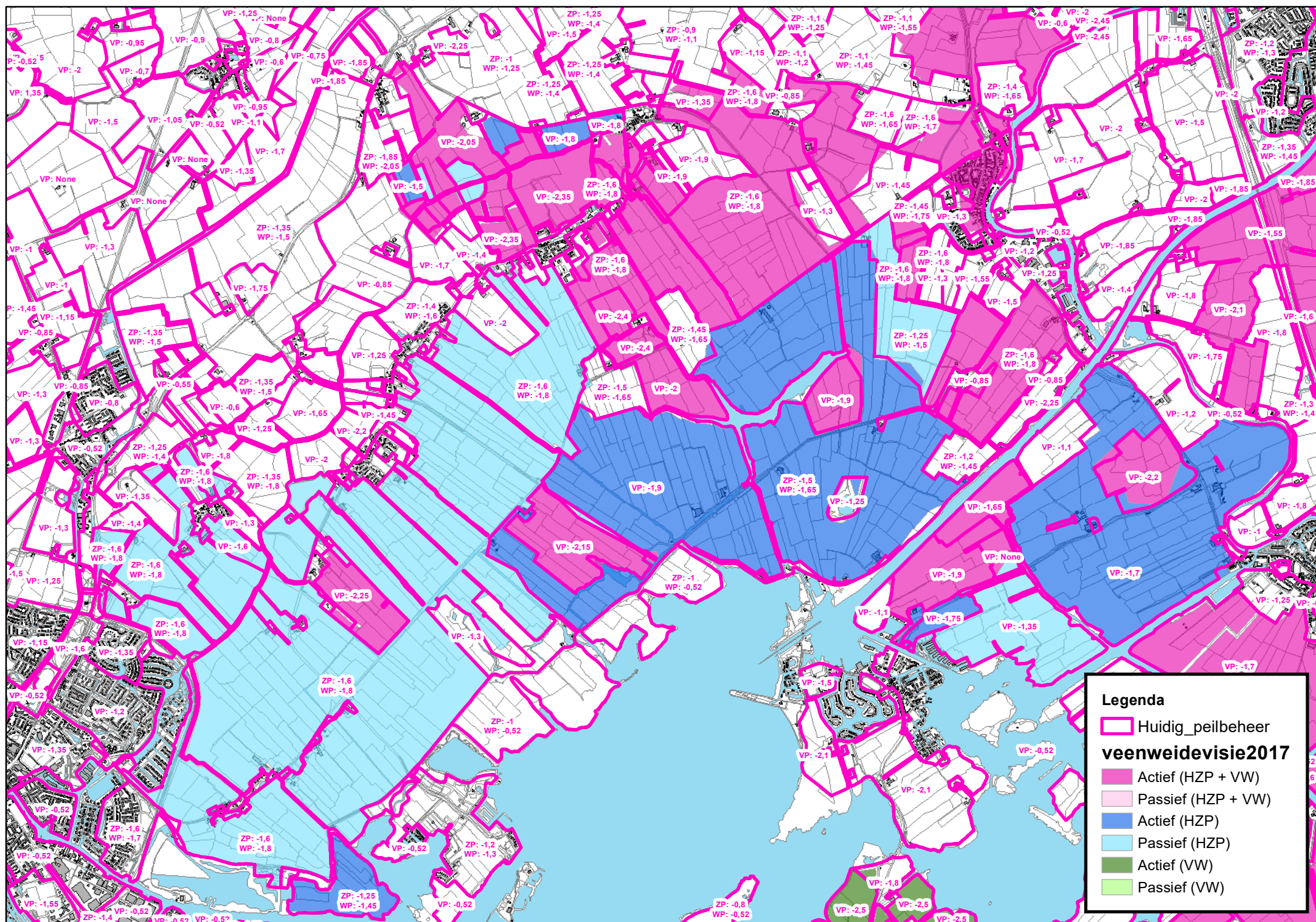
het proces waarbij samendrukking van slappe bodemlagen (klei en veen) door een toename van de korrelspanning (door belasting of verlaging waterstand) plaatsvindt.

Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen een primaire en seculaire zettingen. Primaire zetting is de volumeverandering door elastische en plastische vervorming door het verhogen van de belasting op de ondergrond. Onder secundaire zetting worden de volumeveranderingen verstaan die plaatsvinden onder gelijkblijvende belastingen. Seculaire zetting wordt ook wel kruip genoemd.

Rijping (klei)

Rijping van klei treedt op in de bovenste laag waar water uit verdwijnt door 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. 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.

Bijlage 2 Peilgebieden



Bijlage 3 Schematische dwarsprofielen bodemopbouw en
grondwaterstanden



Legenda

Bodemdaling [m]

1965 - 2014

- 0,00 - 0,05
- 0,05 - 0,10
- 0,10 - 0,14
- 0,14 - 0,19
- 0,19 - 0,25
- 0,25 - 0,32
- 0,32 - 0,40

Bodemdaling [m]

2008 - 2014

- >0,1
- 0,05 - 0,1
- <0,05

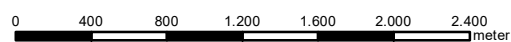
Bodemdaling Sneekermear

Vershil tophoogte (1965) en AHN3 (2014)
en vershil AHN2 (2008) en AHN3 (2014)

Opdrachtgever:
Projectnummer: 362850

Status: Concept
Datum: 19-10-2018
Schaal: 1:40.000
Formaat: A4

Getekend: XX - Gecontroleerd: XX

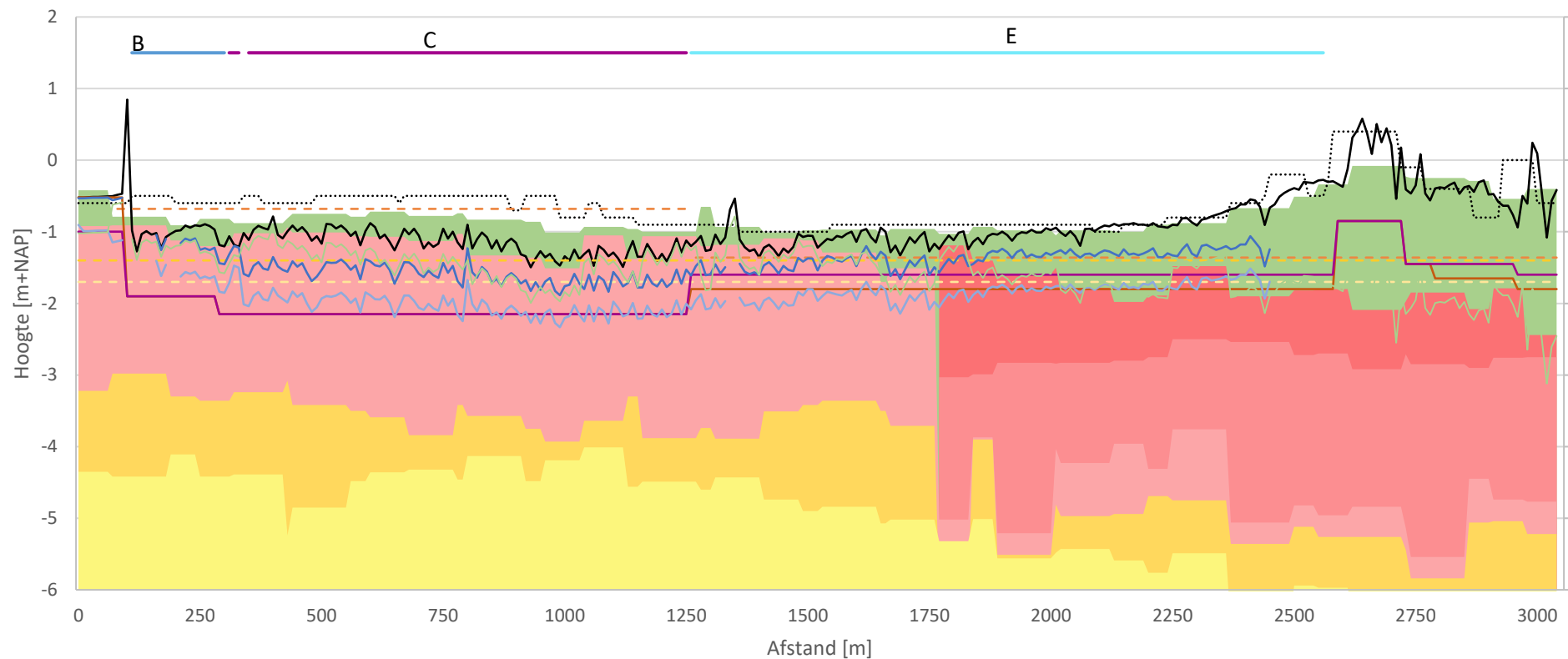


© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

SWECO

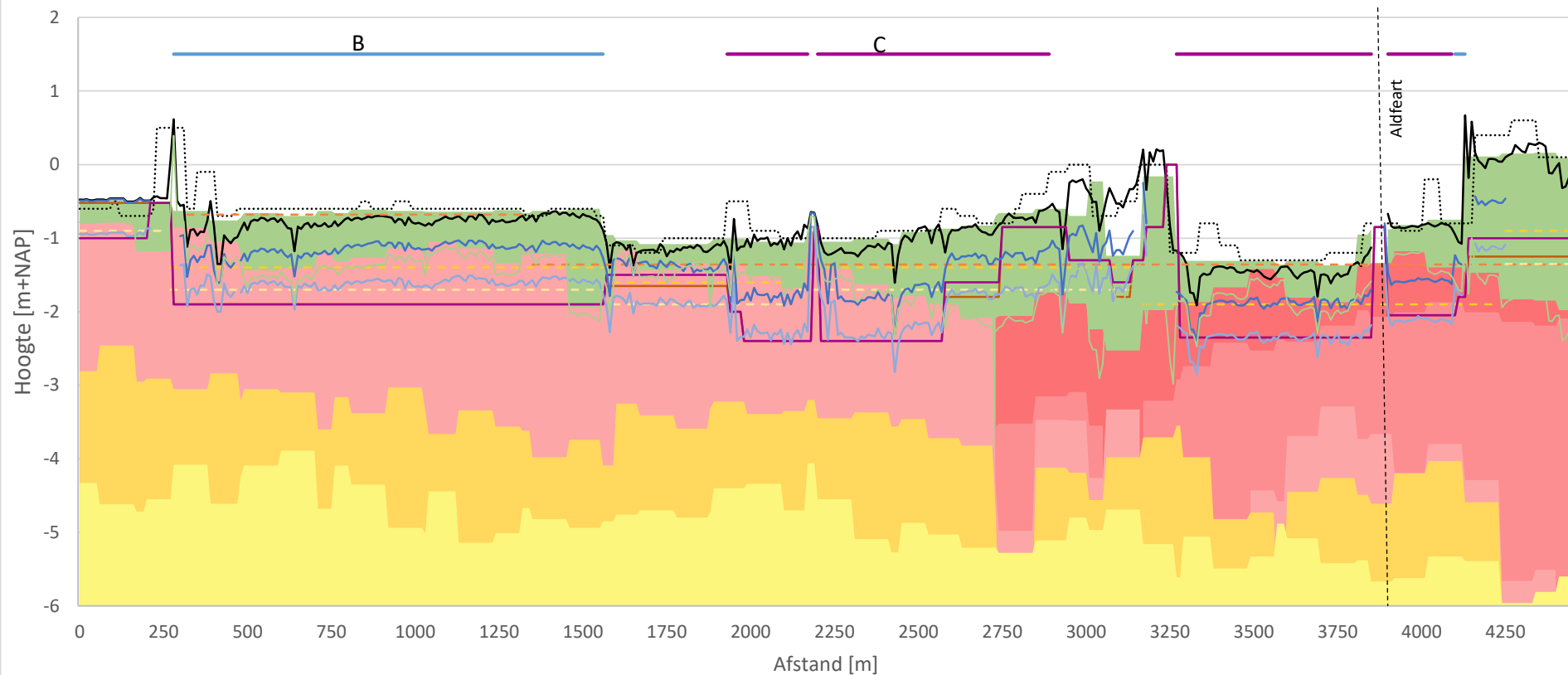


Lengteprofiel raai A



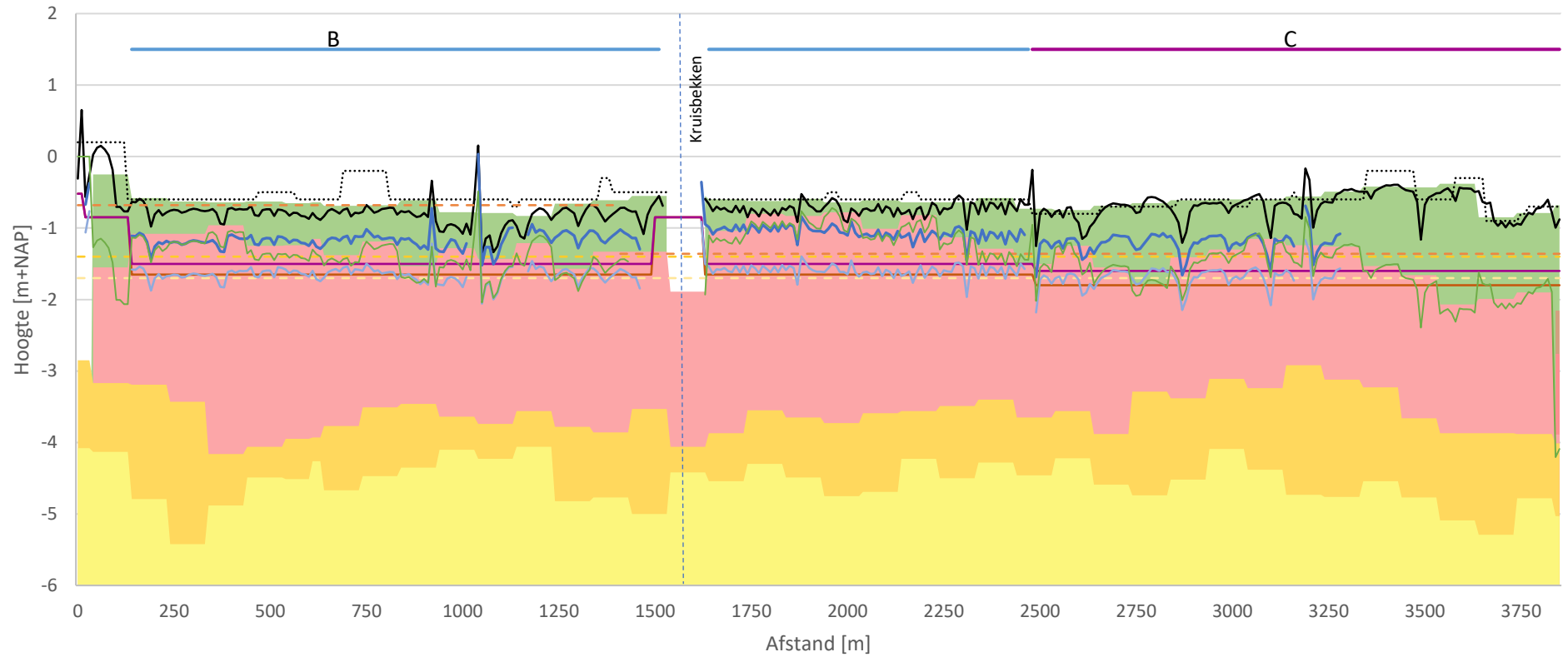
- | | |
|---|--|
| Klei - formatie van Naaldwijk, laagpakket van Walcheren | Veen - formatie van Nieuwkoop, hollandveenlaag |
| Veen - formatie van naaldwijk, laagpakket van Wormer | Veen - formatie van Nieuwkoop, basisveenlaag |
| Zand - formatie van Boxtel, laagpakket van Wierden | Zand - formatie van Boxtel |
| Tophoogte (1965) | AHN3 maaiveld (2014) |
| Peil voor ruilverkaveling kaart 3 | Peil voor ruilverkaveling kaart 4 zomer |
| Peil voor ruilverkaveling kaart 4 winter | Huidig laagpeil |
| Huidig hoogpeil | GLG |
| GHG | Verzakte veenlaag |

Lengteprofiel raai B



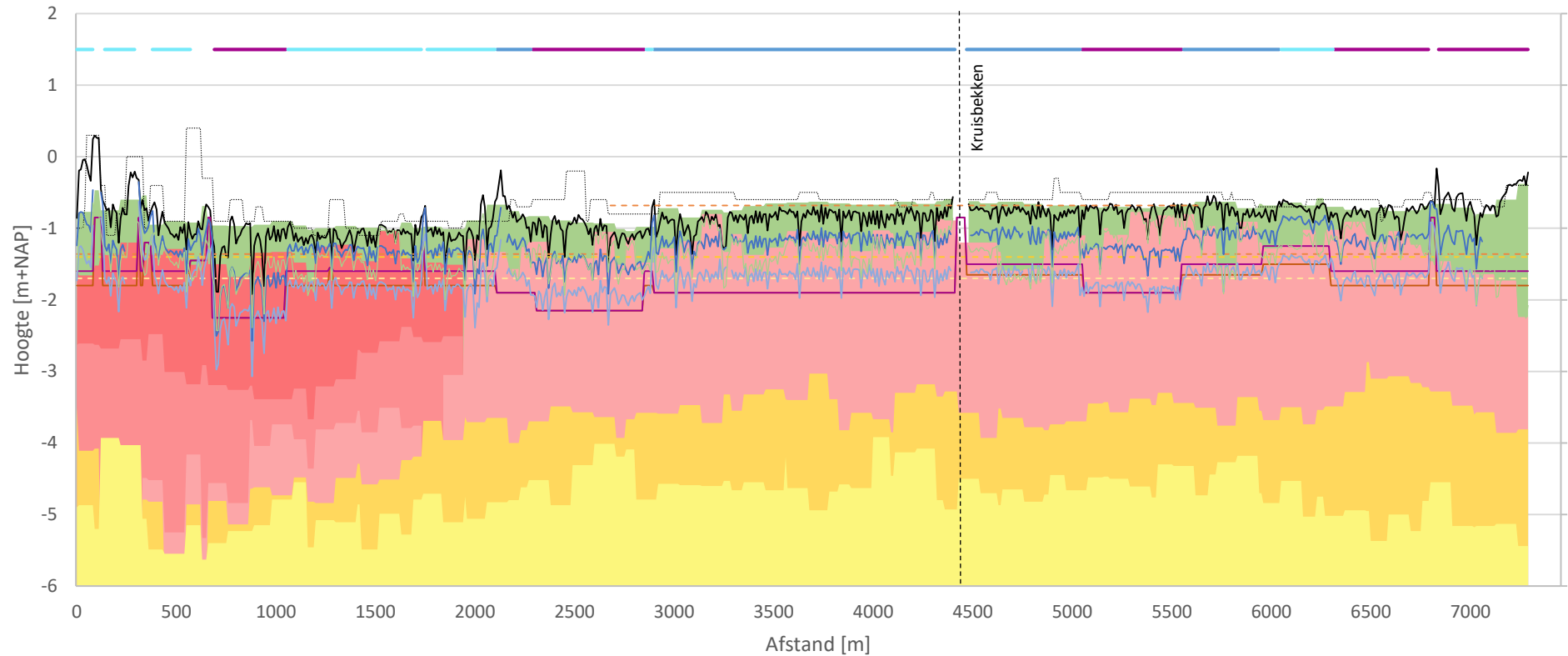
- | | |
|---|---|
| Klei - formatie van Naaldwijk, laagpakket van Walcheren | Veen - formatie van Nieuwkoop, hollandveenlaag |
| Veen - formatie van naaldwijk, laagpakket van Wormer | Veen - formatie van Nieuwkoop, basisveenlaag |
| Zand - formatie van Boxtel, laagpakket van Wierden | Zand - formatie van Boxtel |
| Tophoogte (1965) | — AHN3 maaiveld (2014) |
| - - - - - Peil voor ruilverkaveling kaart 3 | - - - - - Peil voor ruilverkaveling kaart 4 zomer |
| - - - - - Peil voor ruilverkaveling kaart 4 winter | — Huidig laagpeil |
| — Huidig hoogpeil | — GLG |
| — GHG | — Verzakte veenlaag |

Lengteprofiel raai C



- | | |
|--|--|
| ■ Klei - formatie van Naaldwijk, laagpakket van Walcheren | ■ Veen - formatie van Nieuwkoop, hollandveenlaag |
| ■ Veen - formatie van naaldwijk, laagpakket van Wormer | ■ Veen - formatie van Nieuwkoop, basisveenlaag |
| ■ Zand - formatie van Boxtel, laagpakket van Wierden | ■ Zand - formatie van Boxtel |
| Tophoogte (1965) | — AHN3 maaiveld (2014) |
| - - - - - Peil voor ruilverkaveling kaart 3 | - - - - - Peil voor ruilverkaveling kaart 4 zomer |
| - - - - - Peil voor ruilverkaveling kaart 4 winter | — Huidig laagpeil |
| — Huidig hoogpeil | — GLG |
| — GHG | — Verzakte veenlaag |

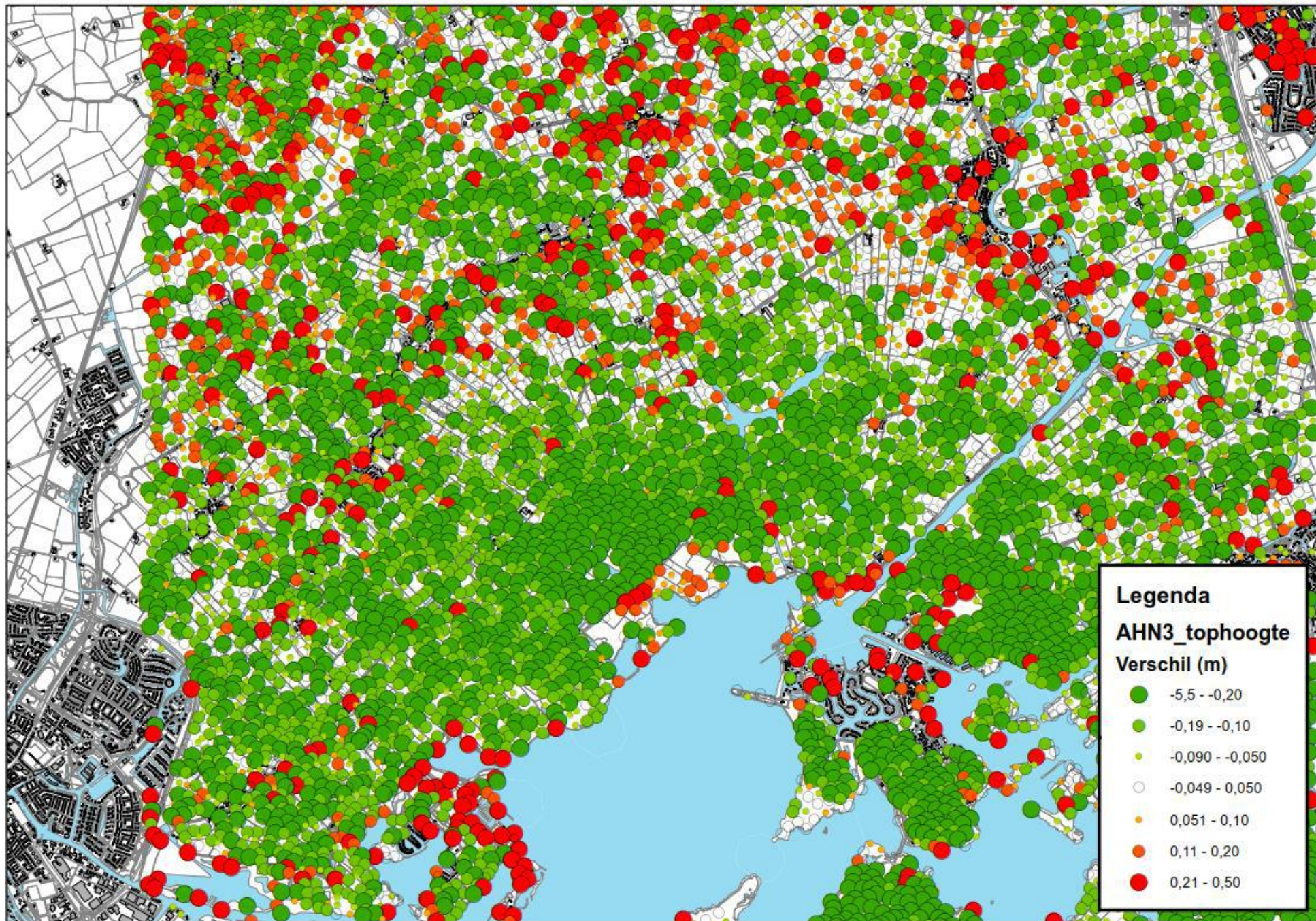
Lengteprofiel raai D



- | | |
|--|---|
| ■ Klei - formatie van Naaldwijk, laagpakket van Walcheren | ■ Veen - formatie van Nieuwkoop, hollandveenlaag |
| ■ Veen - formatie van naaldwijk, laagpakket van Wormer | ■ Veen - formatie van Nieuwkoop, basisveenlaag |
| ■ Zand - formatie van Boxtel, laagpakket van Wierden | ■ Zand - formatie van Boxtel |
| ⋯ Tophoogte (1965) | — AHN3 maaiveld (2014) |
| - - - Peil voor ruilverkaveling kaart 3 | - - - Peil voor ruilverkaveling kaart 4 zomer |
| - - - Peil voor ruilverkaveling kaart 4 winter | — Huidig laagpeil |
| — Huidig hoogpeil | — GLG |
| — GHG | — Verzakte veenlaag |

Bijlage 4 Hoogteverschilkaarten

Vergelijking AHN3- Tophoogte



Vergelijking AHN's

2008-2000



Vergelijking AHN's

2014-2000



Vergelijking AHN's



2014-2008



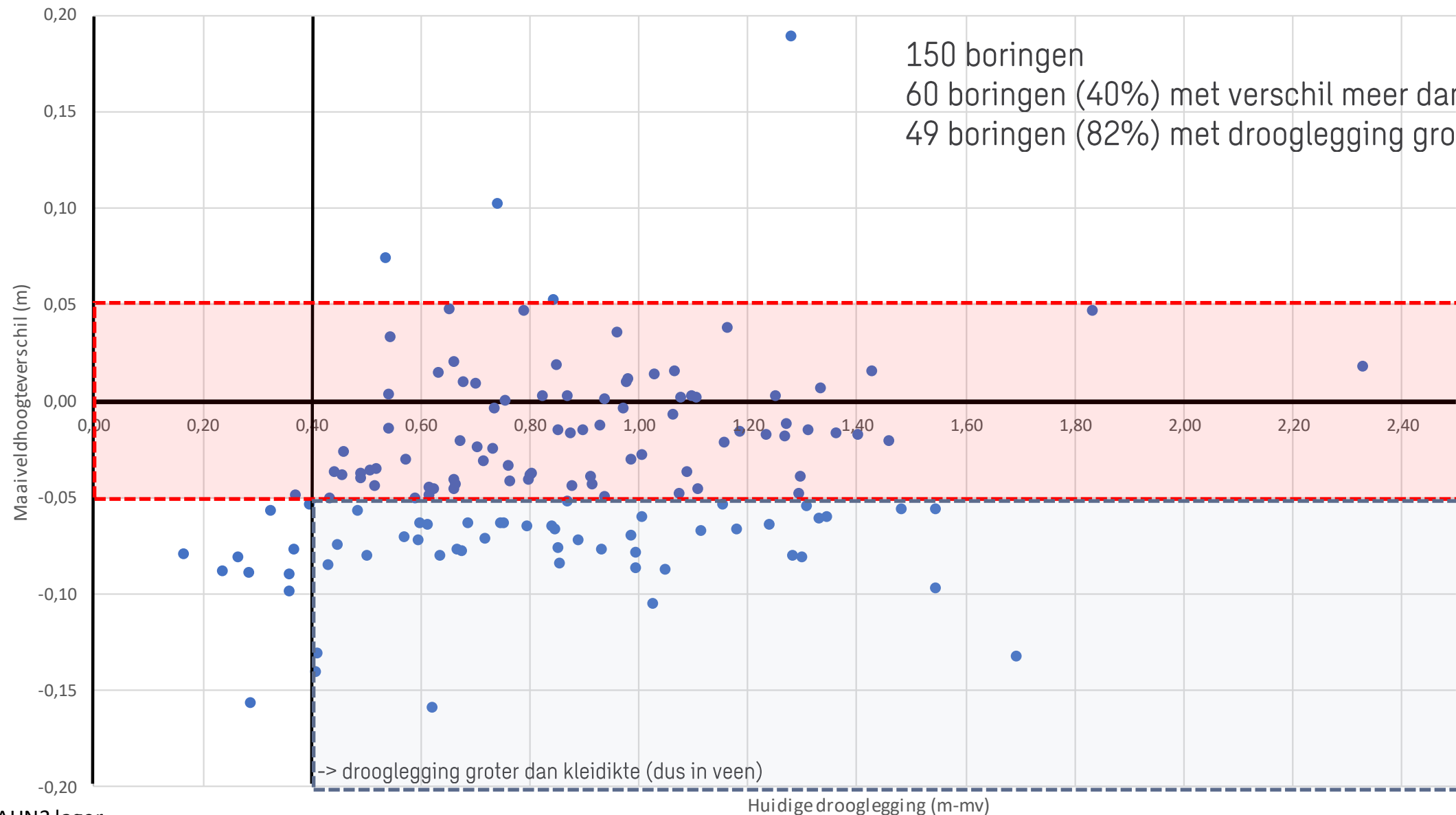
Bijlage 5 Relatie klei en drooglegging met hoogteverschillen

GRAFIEKEN DROOGLEGGING ZOMER - MAAVELDHOOGTEVERSCHILLEN

- Op basis van dinoboringen (821 stuks) is kleidikte boven veenpakket bepaald
- Deze kleidikte is gecombineerd met:
 - Maaiveldhoogteverschil AHN3 – AHN2 (onnauwkeurigheidsbandbreedte 10 cm)
 - Maaiveldhoogteverschil AHN3 - Tophoogte MD (onnauwkeurigheidsbandbreedte 40 cm)
 - Huidige drooglegging in de zomer (AHN3 – zomerpeil)
- Per kleidikteklasse is het maaiveldhoogteverschil uitgezet tegen de drooglegging

Maaiveldhoogteverschil AHN3 - AHN2 t.o.v. huidige drooglegging zomer kleidikte 0-40 cm

AHN3 hoger



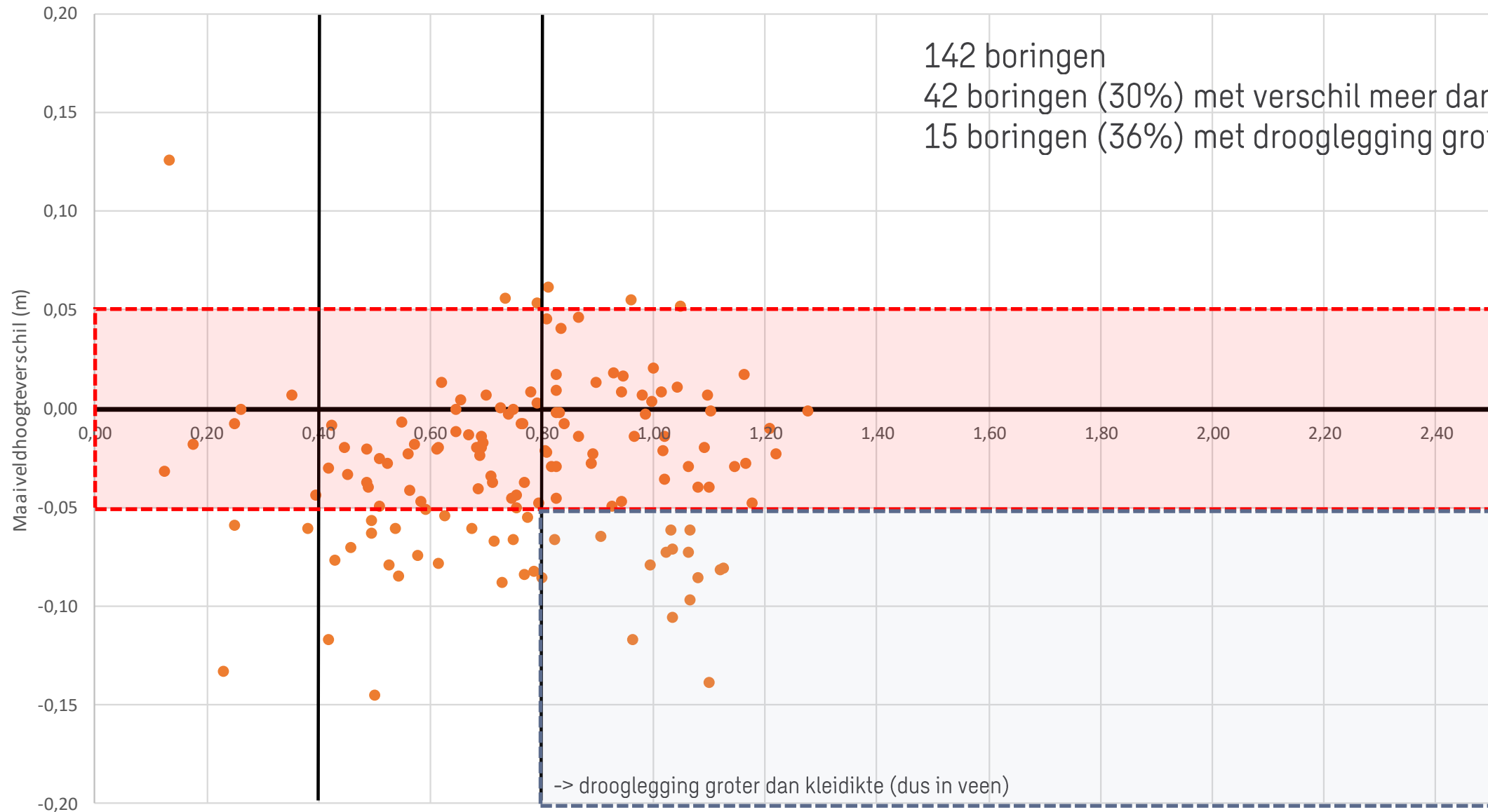
AHN3 lager

● Kleidikte 0-40 cm

 onnauwkeurigheidsbandbreedte

Maaiveldhoogteverschil AHN3 - AHN2 t.o.v. huidige drooglegging zomer kleidikte 40-80 cm

AHN3 hoger



-> drooglegging groter dan kleadikte (dus in veen)

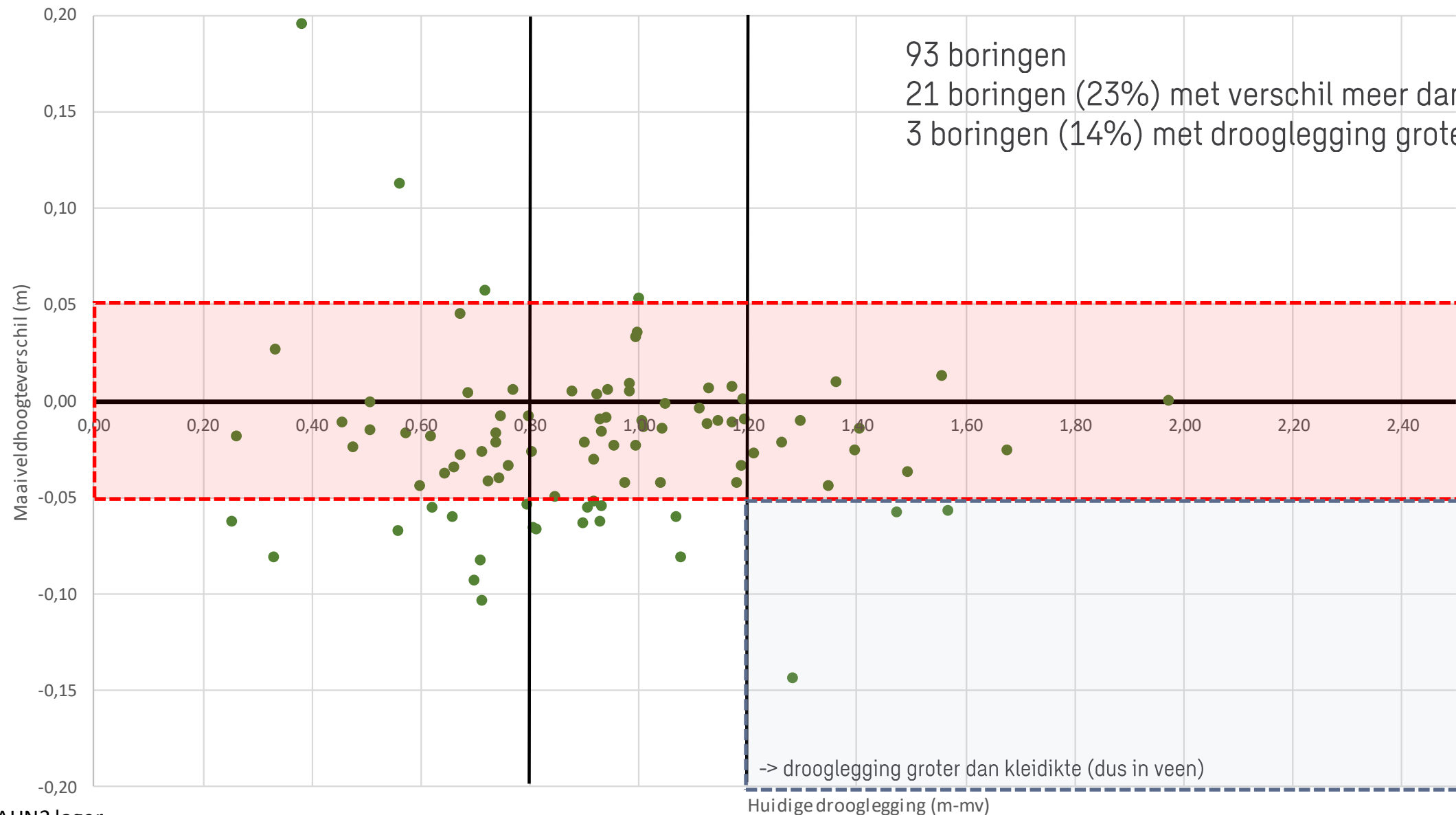
AHN3 lager

● Kleidikte 40-80 cm

 onnauwkeurighedsbandbreedte

Maaiveldhoogteverschil AHN3 - AHN2 t.o.v. huidige drooglegging zomer
kleidikte 80-120 cm

AHN3 hoger



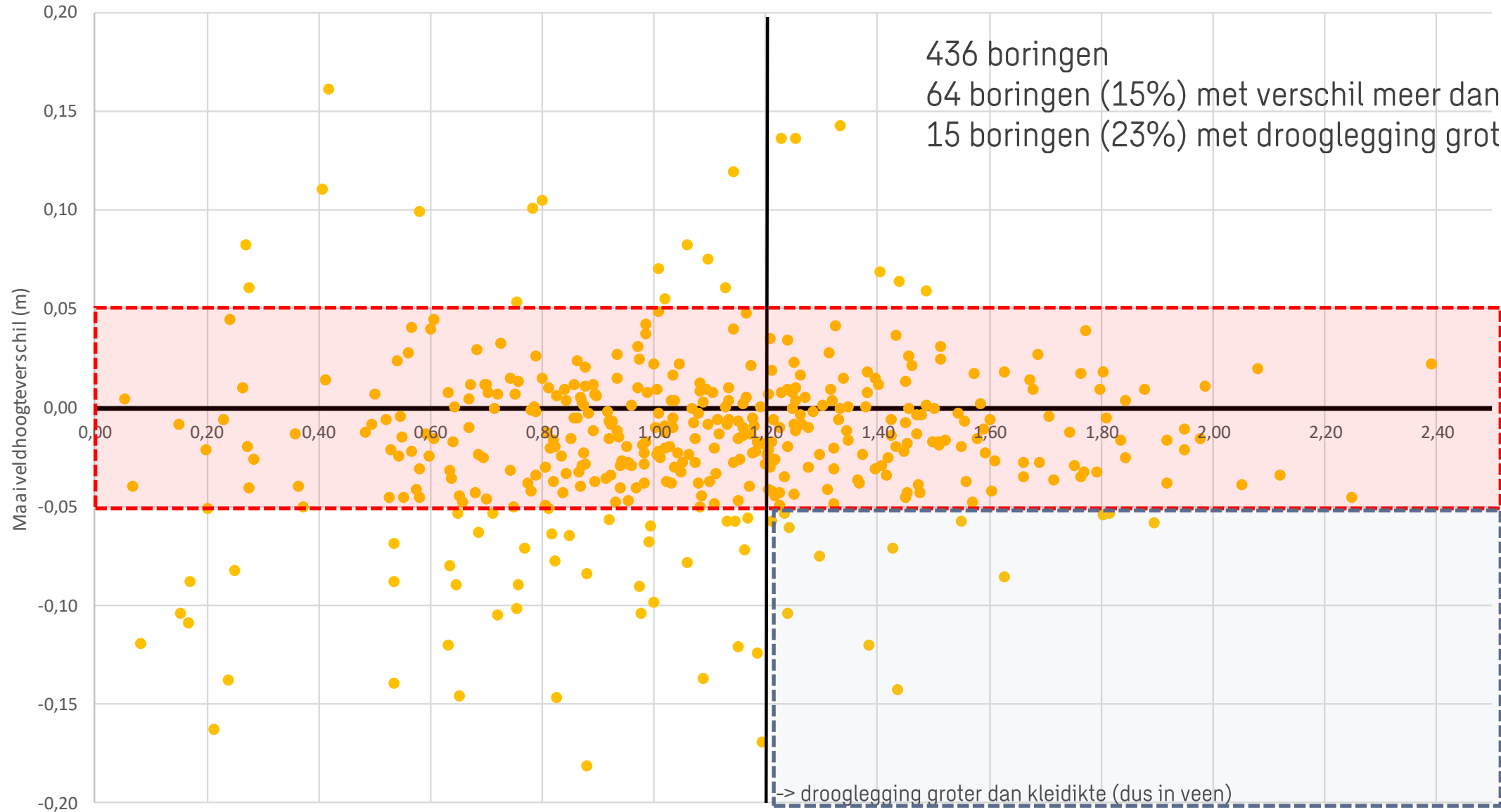
AHN3 lager

● Kleidikte 80 tot 120 cm

 onnauwkeurigheidsbandbreedte

Maaiveldhoogteverschil AHN3 - AHN2 t.o.v. huidige drooglegging zomer kleidikte >120 cm

AHN3 hoger



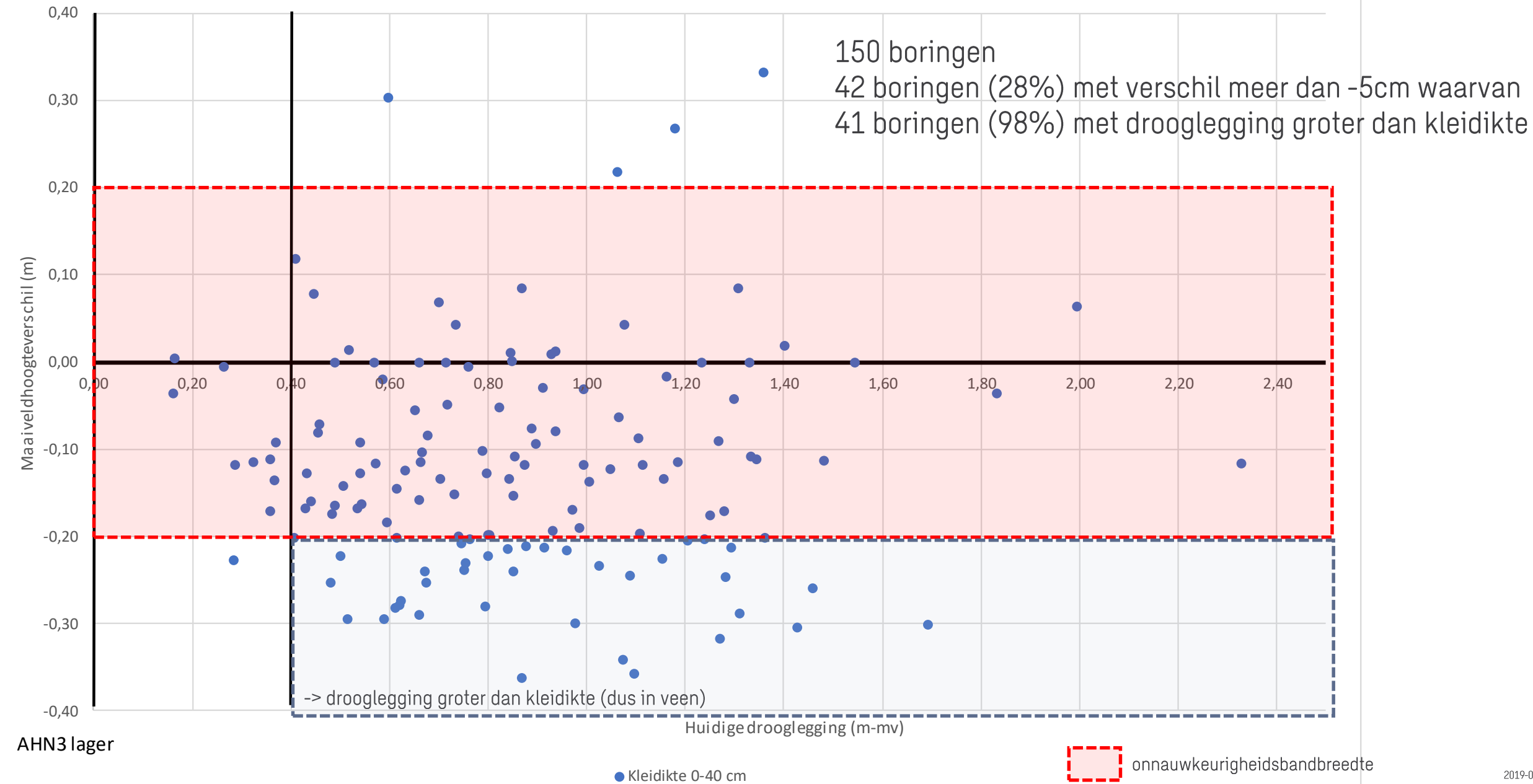
AHN3 lager

● kleidikte >120 cm

 onnauwkeurigheidsbandbreedte

Maaiveldhoogteverschil Tophoogte - AHN3 t.o.v. huidige drooglegging zomer kleidikte 0-40 cm

AHN3 hoger

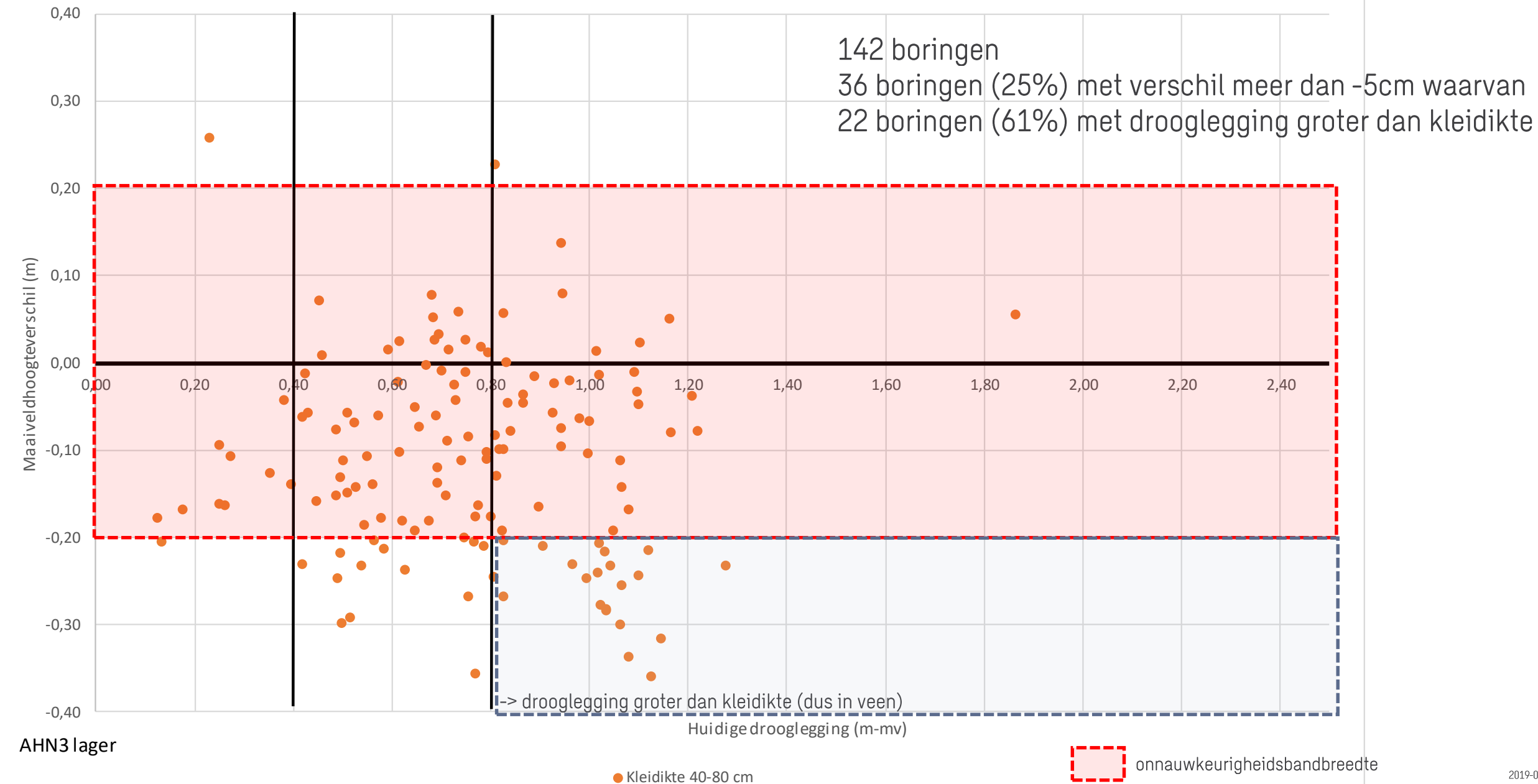


AHN3 lager

Maaiveldhoogteverschil Tophoogte - AHN3 t.o.v. huidige drooglegging zomer

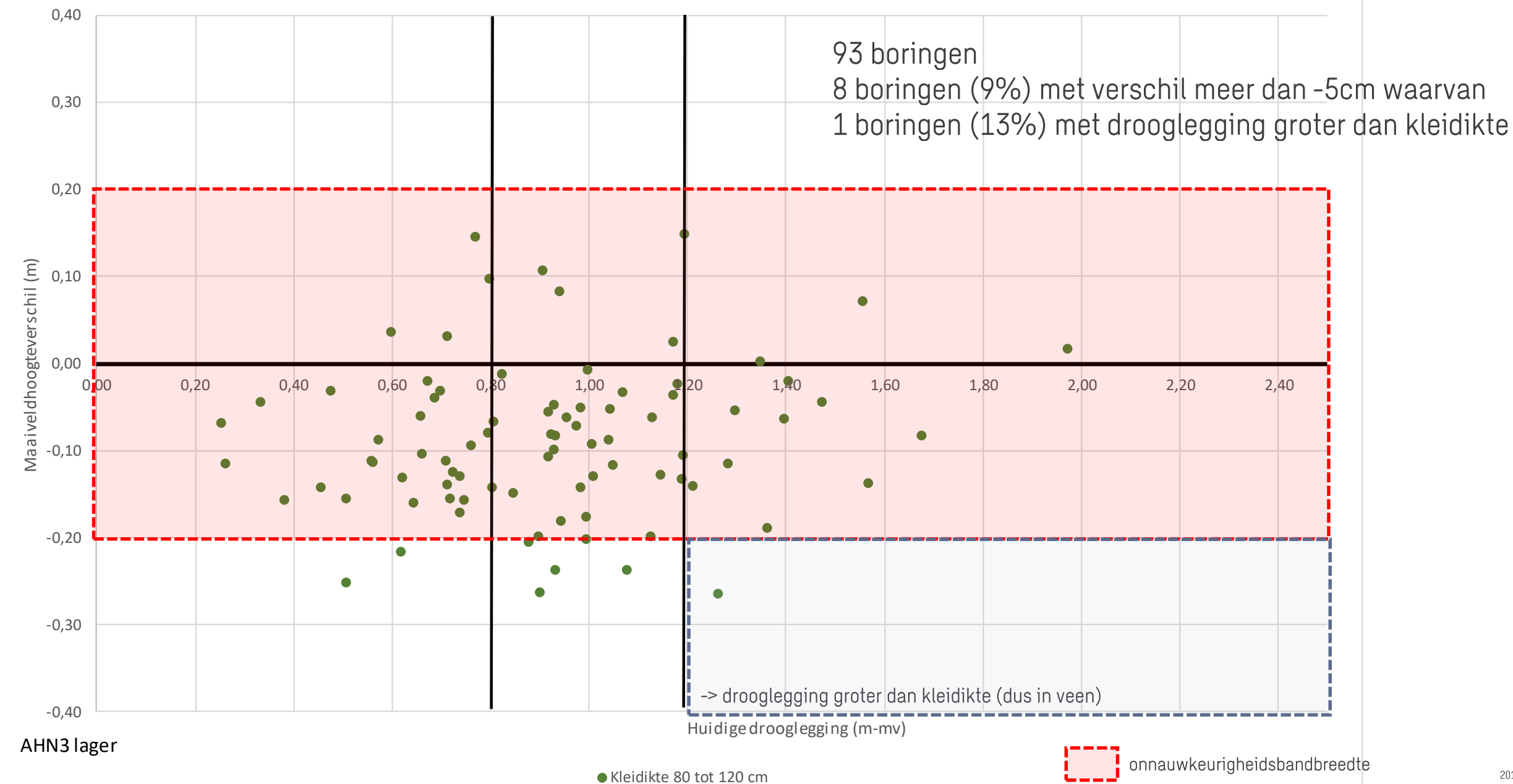
kleidikte 40-80 cm

AHN3 hoger



Maaiveldhoogteverschil Tophoogte - AHN3 t.o.v. huidige drooglegging zomer kleidikte 80-120 cm

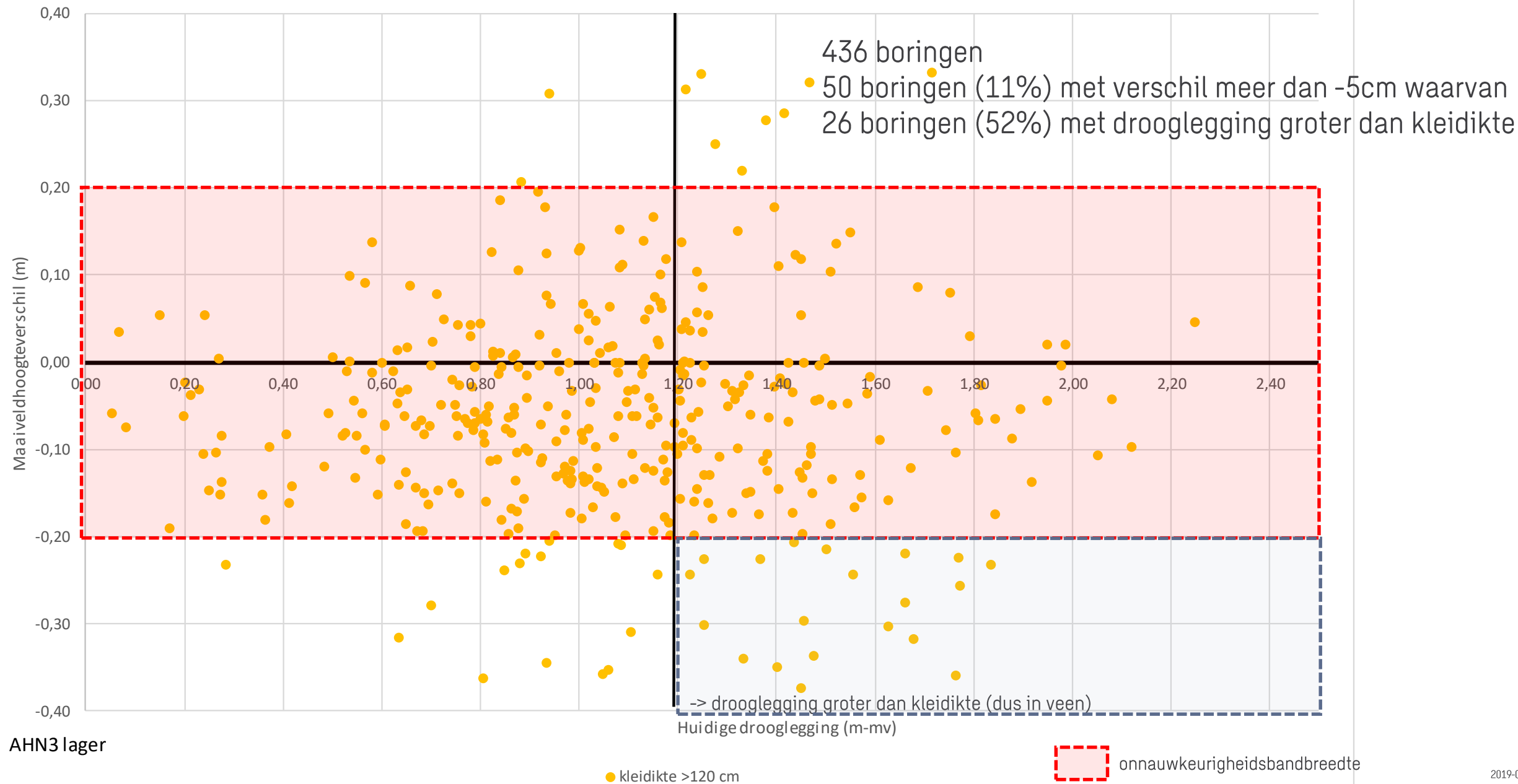
AHN3 hoger



AHN3 lager

Maaiveldhoogteverschil Tophoogte - AHN3 t.o.v. huidige drooglegging zomer kleidikte >120 cm

AHN3 hoger



Analyse bij zomerpeil

- In de grafieken kan het volgende worden waargenomen:
 - Bij kleidiktes tot 80 cm zijn negatieve maaiveldhoogteverschillen buiten de onnauwkeurighedsbandbreedte waarneembaar. Bij kleidiktes tot 40 cm bij circa 34% van de boringen en bij kleidiktes van 40-80 cm bij circa 27% van de boringen. Van deze boringen heeft circa 90%, respectievelijk circa 49% een drooglegging groter dan de kleidikte (dus in het veenpakket).
 - Bij kleidiktes tussen 80-120 cm zijn negatieve maaiveldhoogteverschillen buiten de onnauwkeurighedsbandbreedte sporadisch (16%) waarneembaar. Van deze boringen ligt de drooglegging overwegend binnen het kleidek. Het aantal boringen dat in deze kleidikteklasse valt is beperkt t.o.v. de andere klassen.
 - Bij kleidiktes >120 cm zijn negatieve maaiveldhoogteverschillen buiten de onnauwkeurighedsbandbreedte waarneembaar in alle droogleggingsklassen.
- Er lijkt bij kleidiktes tot circa 0,80 m een verband waarneembaar tussen een drooglegging dieper dan onderkant kleidek (in het veenpakket) en een negatief maaiveldhoogteverschil (maaiveld lager in AHN3).
- Er lijkt bij kleidikte >1,20 m een andere oorzaak ten grondslag te liggen aan negatieve maaiveldhoogteverschillen. Welke oorzaak is niet bekend en of dit zich ook voordoet bij kleidikte <1,20 m is tevens niet bekend.