

Rapport

Projectnummer: 362850

Datum: 21-11-2019

Bodemdaling Sneekerveer West

Resultaten veldonderzoek

Definitief

Opdrachtgever:
Provincie Fryslân

Verantwoording

Titel	Bodemdaling Sneekerveer West
Subtitel	Resultaten veldonderzoek
Projectnummer	362850
Revisie	D1
Datum	21-11-2019
Auteur	Marc Zwaanswijk; Jaap de Wit
E-mailadres	marc.zwaanswijk@sweco.nl
Gecontroleerd door	Bert de Greeff
Paraaf gecontroleerd	
Goedgekeurd door	Marc Zwaanswijk
Paraaf goedgekeurd	

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Inleiding.....	5
1.2	Aanleiding en doel veldonderzoek.....	6
1.3	Leeswijzer	6
2	Aanpak van het veldonderzoek.....	7
2.1	Situering onderzoekslocaties	7
2.2	Uitgevoerde veldwerkwerkzaamheden	8
2.3	Verwerking van de resultaten.....	9
3	Resultaten veldonderzoeken.....	11
3.1	Boorbeschrijvingen	11
3.2	Grondwaterstanden	11
3.3	Oppervlaktewaterpeilen	12
3.4	Bodemgebruik, management en historie	12
3.5	Profielkuilen.....	13
4	Analyse resultaten veldonderzoek.....	14
4.1	Bodemopbouw en -eigenschappen	14
4.2	Eigenschappen van het veen.....	15
4.3	Waterhuishouding.....	18
4.3.1	Grondwaterstanden	18
4.3.2	Oppervlaktewaterpeilen	19
4.4	Analyse omvang opgetreden bodemdaling.....	19
4.5	Analyse oorzaken bodemdaling	29
4.6	Analyse relaties tussen de opgetreden bodemdaling en de bodemopbouw en bodemeigenschappen, het waterbeheer (drooglegging en drainage) en het grondverbruik	32
4.6.1	Effect bodemopbouw en bodemeigenschappen.....	32
4.6.2	Effect drooglegging op dikte van het veen en de veraarding.....	37
4.6.3	Effect van wisselend grondgebruik (maisteelt)	41
4.6.4	Effect van drainage.....	44
4.6.5	Vergelijking resultaten natuur en bebouwd gebied met agrarische percelen.....	46
4.7	Analyse van de mogelijke beïnvloeding van bodemdaling door veenoxidatie	48
4.8	Analyse kritische dikte kleidek.....	50
5	Antwoorden en aanbevelingen	51
5.1	Antwoorden op de onderzoeksvragen	51

5.2	Aanbevelingen.....	54
	Geraadpleegde bronnen	55

Bijlage 1	Situatietekening onderzoekslocaties
Bijlage 2	Factsheets onderzoekslocaties
Bijlage 3	Grondwaterstanden
Bijlage 4	Resultaten profielkuilen
Bijlage 5	Laaggegevens boringen
Bijlage 6	Schematische weergave boringen veldonderzoek
Bijlage 7	Schematische weergave boringen veldonderzoek en DINO-boringen

1 Inleiding

1.1 Inleiding

In de Veenweidevisie van de provincie Fryslân zijn zogenaamde 'kansrijke gebieden' aangewezen, waarvoor de realisatie van deze visie met voorrang wordt opgepakt. In dat verband is voor het gebied Sneekermeer West, ook wel aangeduid als de Lege Geaën, gestart met een landbouwverkenning. Deze verkenning vindt plaats onder leiding van agrariërs uit het gebied in overleg met provincie Fryslân en Wetterskip Fryslân. 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.

Wetterskip Fryslân heeft de strategieën uit de Veenweidevisie met behulp van berekeningen doorvertaald naar peilmaatregelen. In het gebied Sneekermeer West is dit voor een groot deel als volgt ingevuld (zie ook figuur 1.1):

- een passieve zomerpeilverhoging (E);
- een actieve zomerpeilverhoging (B);
- een actieve verhoging van het winterpeil tot maximaal 90 cm drooglegging en een hoger zomerpeil (C).

Met deze voorgenomen aanpassingen in het peilbeheer wordt getracht de veenoxidatie in het gebied zoveel mogelijk af te remmen.



Figuur 1.1. Uitsnede uit Kaart "Peilverhogingen Veenweidegebied", Wetterskip Fryslân.

Sneekermeer 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 hoogtekaarten, uitgevoerd door de provincie, is geconstateerd dat er in grote delen van Sneekermeer West sprake is van een beperkte bodemdaling: circa 10 tot 20 cm in de afgelopen 50 à 60 jaar. De uitkomsten van deze

analyse komen op een aantal plaatsen niet overeen met de ervaringen die de landbouw in dit gebied zelf 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 van het samendrukbare pakket van veen en klei. Meer recentelijk wordt niet of nauwelijks bodemdaling ervaren. De vraag rijst hierdoor of er wel een echt probleem is met voortgaande bodemdaling door veenoxidatie in dit gebied.

In opdracht van de provincie Fryslân heeft Sweco door middel van een bureaustudie een inschatting gemaakt van de opgetreden bodemdaling over de afgelopen decennia. Tevens is een analyse gemaakt van de mogelijke oorzaken van de bodemdaling en is een mogelijke relatie tussen de omvang van de bodemdaling, in relatie tot de drooglegging en de dikte van het kleidek, onderzocht. De resultaten van de bureaustudie zijn vastgelegd in het Sweco-rapport met kenmerk SWNL362850 D2 14-05-2019.

De informatie die deze analyse heeft opgeleverd 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 om te komen tot verantwoorde peilmaatregelen.

1.2 Aanleiding en doel veldonderzoek

Uit de bureaustudie is gebleken dat beschikbare informatie over de bodemopbouw in het gebied verouderd is en de informatie over bodemeigenschappen en grondwaterstanden beperkt is. Provincie Fryslân heeft Sweco daarom gevraagd deze informatie aan te vullen door het uitvoeren van veldonderzoek in het gebied Sneekermear West.

Doel van het aanvullende veldonderzoek is om met behulp van de resultaten de volgende onderzoeksvragen, indien mogelijk, te beantwoorden.

- 1) Wat is de omvang van de bodemdaling in het gebied Sneekermear West in de afgelopen decennia (circa 50 jaar)?*
- 2) Wat zijn de oorzaken van deze bodemdaling?*
- 3) Welke relaties zijn er aan te geven tussen de opgetreden bodemdaling en de bodemopbouw en bodemeigenschappen, het waterbeheer (drooglegging en drainage), en het grondverbruik?*
- 4) Hoe is het proces van veenoxidatie/bodemdaling te beïnvloeden?*
- 5) Is er een kritische dikte van het kleidek aan te geven waarboven het proces van veenoxidatie/bodemdaling niet of nauwelijks speelt?*

In voorliggend rapport zijn de resultaten van het aanvullende veldonderzoek en de analyse van deze resultaten vastgelegd, waarmee getracht is bovenstaande vragen te beantwoorden.

1.3 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van de uitgevoerde veldwerkzaamheden weer, waarvan in hoofdstuk 3 de resultaten zijn beschreven. In hoofdstuk 4 volgt de inhoudelijke analyse van de resultaten. Tot slot volgen in hoofdstuk 5 de conclusies en aanbevelingen.

2 Aanpak van het veldonderzoek

2.1 Situering onderzoekslocaties

In samenspraak met de begeleidingsgroep, bestaande uit provincie Fryslân, Wetterskip Fryslân en de werkgroep agrariers, is gekozen om het veldonderzoek ter plaatse van vier raaien over het gebied uit te voeren. De ligging van de raaien zijn weergegeven in figuur 2.1. Een situatietekening (op schaal) met de ligging van de onderzoekslocaties is opgenomen in bijlage 1.

Per raai zijn variërend 7 tot 10 onderzoekslocaties geselecteerd, waarbij rekening is gehouden met voldoende variatie in kleidikte, reeds plaatsgevonden bodemdaling, locaties van bestaande DINO-boringen, drooglegging, gewasgeschiedenis en oppervlaktewaterpeilen (diepontwatering). De meeste boringen zijn op agrarische gronden uitgevoerd. Om een vergelijking met andere vormen van landgebruik te maken zijn twee boringen in, of nabij, bebouwd gebied uitgevoerd (boring 12 en 29) en twee boringen in natuurgebied Potskar van Staatsbosbeheer (boring 10 en 21). Bij 3 van de 4 raaien zijn tevens op twee locaties profielkuilen gegraven en beoordeeld.

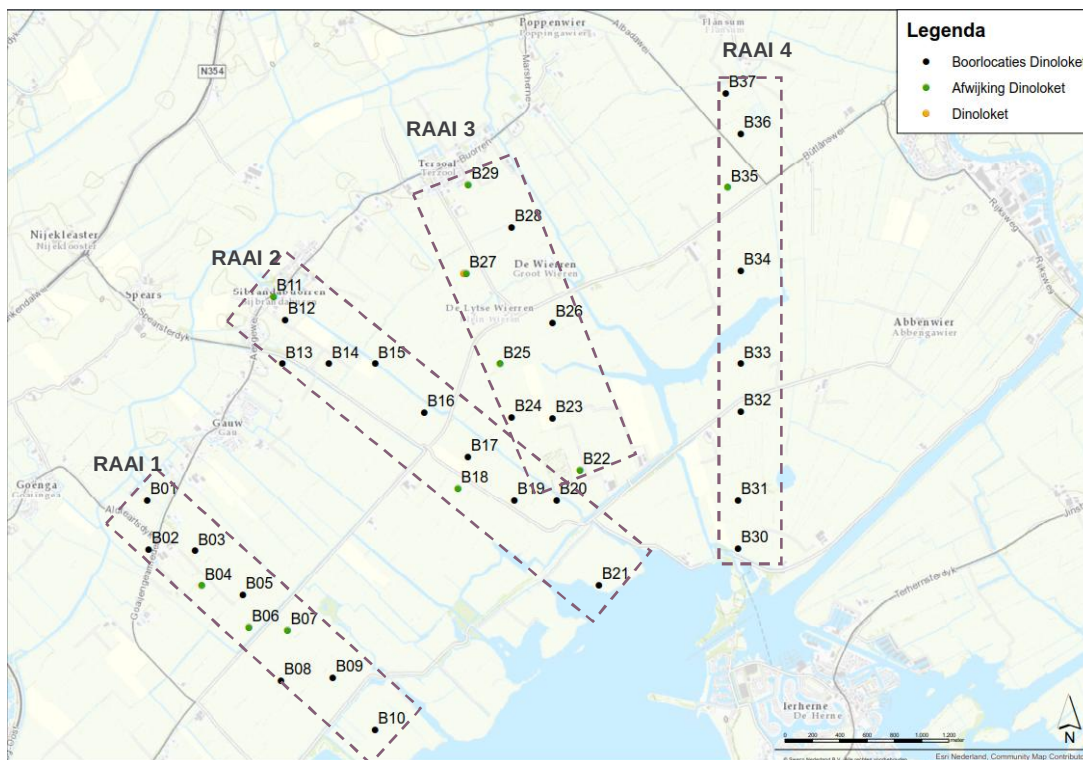


Fig. 2.1 Situering raaien en onderzoekslocaties.

2.2 Uitgevoerde veldwerkwerkzaamheden

Ter plaatse van de onderzoekslocaties zijn bodemkundige opnamen uitgevoerd door middel van boringen en profielkuilen.

Uitvoering handboringen, opname grondwaterstanden en waterpeilen

In de periode 29 juli tot en met 16 augustus 2019 zijn ter plaatse van de vier raaien door Sweco de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- Uitvoering van in totaal 37 handboringen tot maximaal circa 4,0 m -mv;
- Van de bij de boringen vrijgekomen grond is per bodemlaag 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. De doorlatendheid is visueel ingeschat op basis van de textuur- en structuurkenmerken en de consistentie van de lagen;
- Voor de veenlagen zijn per te onderscheiden veenlaag het veentype en de mate van veraarding ingeschat (klasse: sterk veraard, matig veraard, zwak veraard en niet-veraard);
- Aan de hand van hydromorfe profielkenmerken (roest- en reductieverschijnselen) is waar mogelijk een schatting gemaakt van de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG);
- In de open boorgaten is kort na uitvoering van de boring, en één dag na uitvoering van de boring, de grondwaterstand opgenomen. Na de opname van de tweede grondwaterstand zijn de boorgaten dicht gemaakt;
- Van elke boring is een foto gemaakt van het uitgelegde boorprofiel. Opgemerkt wordt dat er enige tijd zat tussen uitvoering van de gehele boring en het maken van de foto. Hierdoor kan er verkleuring van het veen zijn opgetreden;
- Van elk boorpunt zijn de x, y-coördinaten en de NAP-hoogte (z) met RTK-GPS ingemeten;
- In de omringende watergangen van het perceel van de boring is het oppervlaktewaterpeil met RTK-GPS ingemeten.

Graven en beoordeling profielkuilen

Op 6, 11 en 12 september 2019 zijn door Sweco in samenwerking met Agro Advies Bodem, Water en Bemesting (Klaas Kooistra) op zes locaties verspreid over het gebied profielkuilen tot maximaal 1,0 m gegraven. Hierbij zijn op basis van visuele waarnemingen de volgende kenmerken beoordeeld:

- Bewortelingsdiepte;
- Bodemstructuur (o.a. verdichtingen);
- Bodemtextuur;
- Veentype, dikte en mate van veraarding;
- Bodemleven (aanwezigheid wormen);
- Grasbedekking.

Deze profielkuilen zijn aanvullend op de handboringen uitgevoerd, met onder andere als doel om beter inzicht te krijgen in de aanwezigheid van schalterveen (dit sterk gelaagde veen is met handboringen namelijk niet goed te beoordelen). Bij drie van de zes profielkuilen verspreid over het gebied zijn gezamenlijke veldworkshops georganiseerd voor grondeigenaren, -gebruikers en belangstellenden uit de directe omgeving. Tijdens deze

sessies is het onderzoek toegelicht en is aan de aanwezigen uitgelegd welke informatie uit de bodemprofielkuil is af te leiden.

Inventarisatie gegevens percelen onderzoekslocaties

Voorafgaand aan het veldonderzoek is van de grondeigenaar of -gebruiker waar het bodemonderzoek is uitgevoerd telefonisch of per email informatie verzameld over het bodemgebruik, gewashistorie, het graslandmanagement (wordt grasland gescheurd of betreft het permanent grasland), bemesting, drainage en beregening en andere relevante informatie.

2.3 Verwerking van de resultaten

De resultaten van het veldonderzoek zijn per onderzoekslocatie vastgelegd in factsheets. Elke factsheet is als volgt opgebouwd (zie ook figuur 2.2 op de volgende pagina):

[1] Tabel met algemene informatie, informatie over bodemopbouw, grondwater, waterpeil en informatie van de grondeigenaar;

[2] Een getekend boorprofiel conform Stiboka met legenda;

[3] Een situatietekening met de locatie van de boring en de gemeten hoogte van het boorpunt en gemeten oppervlaktewaterpeilen inclusief straat- en plaatsnaam;

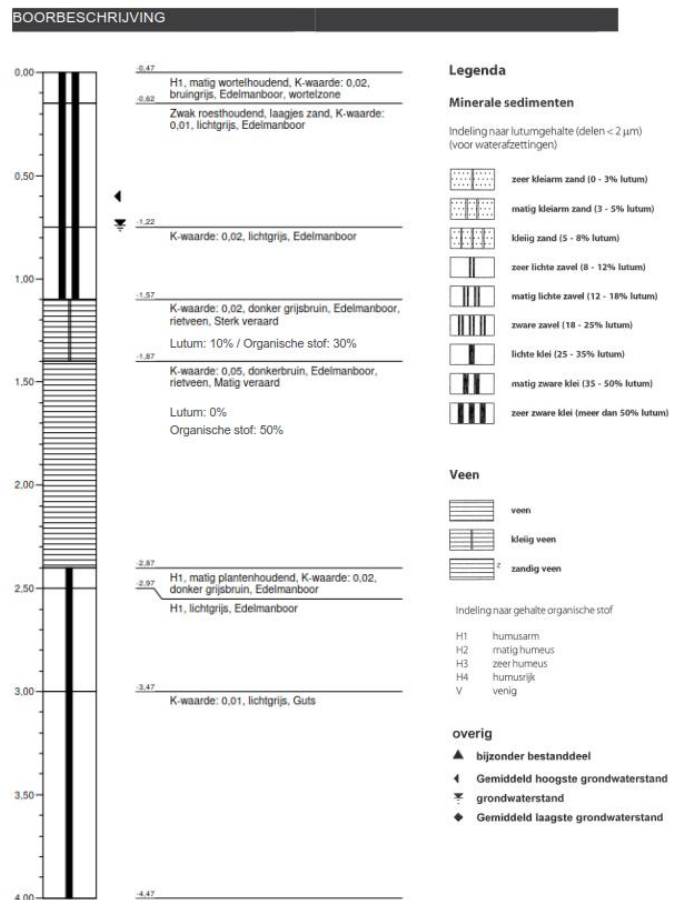
[4] Foto van het perceel van de boring en een foto van het uitgelegde boorprofiel.

Deze factsheets zijn als bijlage 2 bij dit rapport gevoegd. In hoofdstuk 3 wordt de tabel [1] en de boorbeschrijving [2] nader toegelicht.

[1]

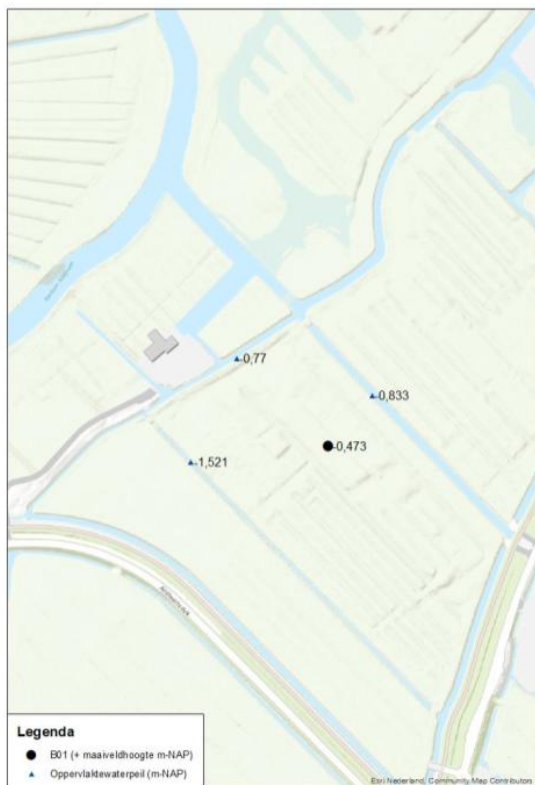
FACTSHEET PERCEEL BORING: 1				
ALGEMEEN				
Nummer boring	1	Datum:	29-7-2019	
Maalveldtype	weiland			
Coördinaten	X,Y 176330.041 563000.028			
Maalveldhoogte	-0,473 [m t.o.v. NAP]			
Boordiepte	4,00 [m t.o.v. maalveld]			
BODEMEIGENSCHAPPEN				
Dikte kleidek	1,10 [m]			
Dikte eerste veenlaag	1,30 [m]			
Dikte tweede veenlaag	0,00 [m]			
Dikte veenlagen totaal	1,30 [m]			
GRONDWATER				
Grondwaterstand	-0,74 [m t.o.v. maalveld]	Datum:	30-7-2019	
Grondwaterstand	-1,21 [m t.o.v. NAP]	Datum:	30-7-2019	
Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand	-0,60 [m t.o.v. maalveld]			
Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand	-1,07 [m t.o.v. NAP]			
Gemiddeld Laagste Grondwaterstand	1,4 - 2,0 [m t.o.v. maalveld]			
Gemiddeld Laagste Grondwaterstand	-1,9 - -2,5 [m t.o.v. NAP]			
OPPERVLAKTEWATER				
Gemeten oppervlaktewaterpeil	1 -0,833 [m t.o.v. NAP]	Datum:	30-7-2019	
	2 -0,770 [m t.o.v. NAP]	Datum:	30-7-2019	
	3 -1,521 [m t.o.v. NAP]	Datum:	30-7-2019	
Winterpeil	-1,80 [m t.o.v. NAP]			
Zomerpeil	-1,60 [m t.o.v. NAP]			
Onderbemaling (diepontwatering)	nee			
BODEMGEBRUIK, MANAGEMENT EN HISTORIE				
Bodemgebruik	Grasland			
Beheer	Maaien			
Drainage	Aanwezig			
Drainagekenmerken	diepte ca. 60-80 cm / h.o.h. afstand ca 10 m / aanleg medio 2015			
Beregening/bevoeling	Geen			
Bemesting	Drijfmest / kunstmest			
Historie	Perceel is altijd grasland geweest. Medio 2015 is het perceel verbeterd. Er zijn greppels gedicht met aangevoerde grond en het perceel is geprofileerd, geegaliseerd en ingezaaid			
OPMERKINGEN				
1)	Drains staan onder waterpeil tijdens uitvoering onderzoek			
2)	Veel scheurvorming en muizenschade			

[2]



[3]

SITUATIE BORING EN WATERPEILEN



[4]

FOTO PERCEEL EN BOORPROFIEL



Locatie: Goaijengeamieden, Goenga

Fig. 2.2. Voorbeeld opbouw factsheet [1] Tabel, [2] Boorprofiel, [3] Situatietekening, [4] Foto's

3 Resultaten veldonderzoeken

3.1 Boorbeschrijvingen

De resultaten van de boringen zijn als getekende boorprofielen conform Stiboka opgenomen in de factsheets en voorzien van een legenda. In bijlage 5 zijn alle gegevens van alle boringen in tabelvorm weergegeven.

In de boorbeschrijving in de factsheet is de volgende informatie weergegeven:

- Boven- en onderzijde van de te onderscheiden bodemlagen;
- Indeling naar organische stof;
- Geschatte doorlatendheid (k-waarde) in meter per dag;
- Waargenomen kleur van de grondlaag;
- Veentype en mate van veraarding;
- Boorsysteem (Edelmanboor, zuigerboor, guts);
- Organische stof- en lutumgehalte van de veenlagen.

Per boring is in de factsheet in de tabel onderstaande informatie vastgelegd. Dit is in onderstaande figuur toegelicht aan de hand van de resultaten van boring 1. De weergegeven maaiveldhoogte betreft de gemeten maaiveldhoogte op de locatie van de boring.

ALGEMEEN				
Nummer boring	1		Datum:	29-7-2019
Maaiveldtype	weiland			
Coördinaten	X,Y	176330.041 563000.028		
Maaiveldhoogte		-0,473 [m t.o.v. NAP]		
Boordiepte		4,00 [m t.o.v. maaiveld]		

Op basis van het boorprofiel is de dikte van het kleidek in de factsheet apart vermeld. Tevens is de dikte van de veenlagen binnen de boordiepte weergegeven. Indien er sprake is van twee veenlagen binnen de boordiepte, door bijvoorbeeld de aanwezigheid van een tussenlaag van klei of zand, dan zijn de dikte van zowel de eerste als tweede veenlaag weergegeven. Indien er sprake is van één doorlopende veenlaag dan is alleen de dikte van de eerste veenlaag weergegeven. Tevens is de totale veendikte tot aan de boordiepte aangegeven.

BODEMEIGENSCHAPPEN			
Dikte kleidek	1,10	[m]	
Dikte eerste veenlaag	1,30	[m]	
Dikte tweede veenlaag	0,00	[m]	
Dikte veenlagen totaal	1,30	[m]	

3.2 Grondwaterstanden

De resultaten van de gemeten grondwaterstanden in de open boorgaten zijn opgenomen in bijlage 3. Per boring is in de factsheet de tweede gemeten grondwaterstand (dus één dag na uitvoering van de boring) opgenomen, ten opzichte van maaiveld en ten opzichte van

NAP. Ook is de geschatte GHG en GLG opgenomen (ten opzichte van maaiveld en ten opzichte van NAP). Als voorbeeld zijn in onderstaande figuur de gegevens van boring 1 weergegeven. Bij het merendeel van de boringen bleek het lastig om de GLG goed in te schatten. In deze gevallen is dit in de factsheet aangeduid met n.b. (niet bepaald).

GRONDWATER				
Grondwaterstand	-0,74	[m t.o.v. maaiveld]	Datum:	30-7-2019
Grondwaterstand	-1,21	[m t.o.v. NAP]	Datum:	30-7-2019
Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand	-0,60	[m t.o.v. maaiveld]		
Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand	-1,07	[m t.o.v. NAP]		
Gemiddeld Laagste Grondwaterstand	-1,4 - -2,0	[m t.o.v. maaiveld]		
Gemiddeld Laagste Grondwaterstand	-1,9 - -2,5	[m t.o.v. NAP]		

3.3 Oppervlaktewaterpeilen

De resultaten van de gemeten oppervlaktewaterpeilen en datum van opname zijn opgenomen in de tabel van de factsheet. In de de factsheet is een situatietekening opgenomen met de locaties van de gemeten waterpeilen en de gemeten waterpeilen.

In de factsheet zijn ook de waterpeilen (zomer- en winterpeil) op basis van informatie van Wetterskip Fryslân (peilenkaart) opgenomen. Tevens is aangegeven of er sprake is van onderbemaling (diepontwatering).

OPPERVLAKTEWATER					
Gemeten oppervlaktewaterpeil	1	-0,833	[m t.o.v. NAP]	Datum:	30-7-2019
	2	-0,770	[m t.o.v. NAP]	Datum:	30-7-2019
	3	-1,521	[m t.o.v. NAP]	Datum:	30-7-2019
Winterpeil		-1,80	[m t.o.v. NAP]		
Zomerpeil		-1,60	[m t.o.v. NAP]		
Onderbemaling (diepontwatering)		nee			

3.4 Bodemgebruik, management en historie

In de factsheets is relevante informatie van het perceel van de boring vastgelegd, zoals door de grondeigenaar of -gebruiker telefonisch of per mail is aangeleverd.

BODEMGEBRUIK, MANAGEMENT EN HISTORIE	
Bodemgebruik	Grasland
Beheer	Maaien
Drainage	Aanwezig
Drainagekenmerken	diepte ca 60-80 cm / h.o.h. afstand ca 10 m / aanleg medio 2015
Beregening/bevloeijing	Geen
Bemesting	Drijfmest / kunstmest
Historie	Perceel is altijd grasland geweest. Medio 2015 is het perceel verbeterd. Er zijn greppels gedicht met aangevoerde grond en het perceel is geprofileerd, geegaliseerd en ingezaaid

Overige relevante informatie van het onderzochte perceel is opgenomen onder de kop opmerkingen, bijvoorbeeld waarnemingen van het perceel ten tijde van het veldonderzoek. Hier is tevens aangegeven of een boring *niet* op de locatie van een DINO-boring is uitgevoerd. De bodemopbouw is dan niet één-op-één te vergelijken met de historische bodemopbouw.

OPMERKINGEN	
1)	Drains staan onder waterpeil tijdens uitvoering onderzoek
2)	Veel scheurvorming en muizenschade

3.5 Profielkuilen

De resultaten van de profielkuilen zijn vastgelegd in een beoordelingsformulier. Tevens zijn per profielkuil enkele foto's gemaakt. De resultaten hiervan zijn opgenomen in bijlage 4.

4 Analyse resultaten veldonderzoek

4.1 Bodemopbouw en -eigenschappen

Bodemtype

Op basis van de resultaten van de boringen blijkt dat in het gebied overwegend sprake is van kleigronden-op-veen. Dit zijn gronden waarbij onder een 40 à 80 cm dikke kleilaag veen voorkomt (De Vries et al., 2014). Bij de gronden met een kleidek kleiner dan 40 cm, en waarbij binnen de zone tot 80 cm -mv moerig materiaal voorkomt over een dikte van minimaal 40 cm, is sprake van een veenbodem (De Vries et al., 2014). Bij boringen 7 t/m 10, 22, 25, 30, 31 en 34 is een kleidek dunner dan 40 cm met daaronder veen aangetroffen en is sprake van een veenbodem. Bij een kleidek dikker dan 80 cm is sprake van kleigronden. Deze komen lokaal voor (boring 1, 11, 29 en 37). Met uitzondering van boringen 1 t/m 6 is bij alle boringen binnen een diepte van 4 meter zand aangeboord.

Dikte van het kleidek

De dikte van het kleidek op het veen varieert van 1,70 m tot 0,20 m, waarbij per raai de volgende variatie in dikte van het kleidek aanwezig is:

- Raai 1: dikte kleidek varieert van 1,10 m tot 0,20 m. Overwegend is sprake van een afnemende dikte van noordwest naar zuidoost. Tussen boring 2 en 5 neemt de dikte echter eerst af tot 0,50 m en vervolgens weer toe tot 0,65 m;
- Raai 2: dikte kleidek varieert van 1,70 m tot 0,40 m. Overwegend is sprake van een afnemende dikte van noordwest naar zuidoost. Tussen boring 11 en 15 neemt de dikte echter eerst af tot 0,70 m en vervolgens weer toe tot 0,95 m;
- Raai 3: dikte kleidek varieert van 1,10 m tot 0,40 m. Overwegend is sprake van een afnemende dikte van noord naar zuid. Boring 28 en 24 wijken vanwege een dikker kleidek af van deze afnemende trend in dikte van het kleidek van noord naar zuid;
- Raai 4: dikte kleidek varieert van 1,0 m tot 0,35 m (van noord naar zuid). Vanaf 34 tot 30 is de dikte van het kleidek min of meer gelijk (0,35 à 0,40 m), waarbij boring 32 met een dikte van het kleidek van 0,50 m enigszins afwijkt.

Dikte van het veen binnen de boordiepte

Op basis van de resultaten van de boringen blijkt dat in het gebied de dikte van het veenpakket binnen de boordiepte varieert van circa 1 tot 3 m. Per raai wisselt de dikte van het veen als volgt:

- Raai 1: dikte veen varieert van 1,10 m tot 2,65 m;
- Raai 2: dikte veen varieert van 0,95 m tot 3,15 m;
- Raai 3: dikte veen varieert van 1,35 m tot 2,35 m;
- Raai 4: dikte veen varieert van 1,85 m tot 2,35 m.

Bij de meeste boringen is sprake van een doorlopend veenpakket en bij een enkele boring is een tussenlaag van klei aanwezig.

Dikte van het klei- en veenpakket binnen de boordiepte

Bij boringen 1 t/m 6 is binnen een diepte van 4 meter geen zand aangeboord. De eerste 4 meter is dus opgebouwd uit klei- en veenlagen, maar de totale dikte van het klei- en

veenpakket tot het zand is niet bekend (meer dan 4 m). Per raai wisselt de dikte van het pakket veen en klei binnen de boordiepte als volgt:

- Raai 1: dikte het klei en veenpakket varieert van 1,55 m tot > 4,00 m;
- Raai 2: dikte het klei en veenpakket varieert van 2,35 m tot 3,80 m;
- Raai 3: dikte het klei en veenpakket varieert van 2,10 m tot 2,90 m;
- Raai 4: dikte het klei en veenpakket varieert van 2,40 m tot 3,00 m.

4.2 Eigenschappen van het veen

De resultaten van alle boringen zijn per raai schematisch weergegeven in bijlage 6. Hierbij is de mate van veraarding van het veen met verschillende kleuren in de profielen aangegeven. Tevens zijn de geschatte organische stofgehaltes (H) en lutumgehaltes (L) van de veenlagen weergegeven.

Mate van veraarding van het veen en gevoeligheid voor veenoxidatie

Bij het merendeel van de boringen (circa 90%) bevindt zich onder het kleidek een laag sterk veraard veen. Deze sterk veraarde veenlaag kenmerkt zich door een donker grijsbruine of zwartbruine kleur. De dikte van deze sterk veraarde veenlaag varieert van circa 10 tot 50 cm.

In deze sterk veraarde veenlaag zijn nauwelijks herkenbare plantendelen zichtbaar waardoor het oorspronkelijke type veen niet meer te herkennen is. De bodemvorming is in deze laag begonnen toen dit veen, al dan niet kunstmatig, is ontwaterd. Mede door gewasgroei in de loop van de tijd is er meer vocht aan het veen onttrokken. Als dit waterverlies irreversibel is gaat het gepaard met een blijvende volumevermindering of krimp en een vergroting van de dichtheid van de grond. Dit proces wordt krimp genoemd (Hendriks, 1991).

Gelijktijdig met, of kort na de fysische rijping, beginnen chemische en biologische rijpingsprocessen een rol te spelen bij de profielontwikkeling van veengronden. Na toetreding van lucht zullen de gemakkelijk aantastbare bestanddelen van het veen, zoals eiwitten en koolhydraten, worden afgebroken. Daarbij worden de celweefsels wel aangetast, maar blijft de oorspronkelijke plantaardige structuur van het veen zichtbaar. Er ontstaat een donkergekleurde, meestal zwartbruine tot zwarte, geaëreerde bodemlaag, die als verweerde laag wordt aangeduid (Pons, 1961). Als dit proces van vertering doorgaat verdwijnt de organische stof door biologische en biochemische processen geheel of vrijwel geheel. Dit proces wordt vertering of oxidatie genoemd (Hendriks, 1991).

Bepaalde bodemdieren, zoals regenwormen, micro-arthropoden (micro-geleedpotigen) en duizendpoten gebruiken het veen als voedsel en veranderen het in excrementen (uitwerpselen). Dit proces kan zich enige malen herhalen. De oorspronkelijke veenstructuur gaat hierdoor geheel verloren en er ontstaat een grondlaag met nieuwe humusvormen (Jongerijs & Pons, 1962 in Hendriks, 1991).

De sterk veraarde veenlaag is als gevolg van eerdere afbraak van plantenresten resistenter tegen afbraak geworden. Bij het merendeel van de boringen bevindt de sterk veraarde veenlaag zich boven de gemeten grondwaterstand. Veen onder het grondwater wordt voornamelijk door anaerobe bacteriën afgebroken. Dit afbraakproces verloopt in veen 100

tot 1000 maal langzamer dan het aerobe afbraakproces (Hämäläinen, 1991 in Hendriks, 1991). De sterk veraarde veenlaag komt regelmatig in contact met zuurstof waardoor het organische materiaal nog wel zal worden afgebroken. Deze afbraak zal echter vanwege de resistentie wel langzaam optreden.

Onder het sterk veraarde veen bevindt zich bij het merendeel van de boringen een matig veraarde veenlaag. Plantenresten zijn deels nog herkenbaar, deels is het veen veraard. Deze zone van het veenprofiel is in het verleden (tijdelijk) in contact gekomen met zuurstof.

Dieper in het profiel is vervolgens veelal niet-veraard veen of lokaal zwak-veraard veen aanwezig. Dit veen kenmerkt zich door de donkerbruine kleur en planten- en heideresten die nog te herkennen zijn. Deze zone wordt ook wel aangeduid als de gereduceerde zone van het veenprofiel. Deze zone van het bodemprofiel is vrijwel altijd en langdurig met water verzadigd geweest. Dit veen heeft niet of nauwelijks aan aerobe afbraak blootgestaan. Dit veen is het minst afgebroken, zowel aeroob als anaeroob. Indien deze veenlagen (alsnog) droog komen te staan zal hier een hoge afbraaksnelheid van het veen worden gevonden. Deze veenlaag is het meest kwetsbaar voor veenafbraak (oxidatie).

Bij een vijftal boringen (boring 30, 31, 33, 34 en 25) is direct onder de sterk veraarde veenlaag zwak-veraard of niet-veraard veen aangetroffen. In figuur 4.1 is een foto van het veenprofiel van boring 31 weergegeven met daarin duidelijk de grens tussen het veraarde (zwart) en onveraarde veen (bruin). Op deze locaties zal de grondwaterstand naar verwachting gemiddeld hoger zijn (geweest) waardoor het onveraarde veen nauwelijks aan lucht (zuurstof) wordt (is) blootgesteld en er geen veraarding optreedt.



Fig. 4.1. Bodemprofiel boring 31 met duidelijke grens veraard (zwart) en niet-veraard veen (bruin)

Dieper in het profiel, onder het niet-veraarde veen, zijn lokaal ook matig of sterk veraarde veenlagen aangetroffen. Mogelijk is er op deze plaatsen kennelijk een eerdere veraardingsfase geweest waarna de veengroei weer is verder gegaan. Van den Akker et al. (2017) benoemen dit verschijnsel in onderzoek dat zij hebben uitgevoerd in een hoogveengebied.

Type veen

Bij de zes gegraven profielkuilen zijn binnen een diepte van circa één meter geen lagen met zogenaamd schalterveen (sterk gelaagd veen) aangetroffen. Wel is er verschil in de mate van stevigheid van de veenlagen en vochtigheid van de veenlagen onder het kleidek waargenomen.

Het bij de boringen aangetroffen veen betreft overwegend mosveen (oligotroof), rietveen (eutroof) en lokaal wollegrasveen (oligotroof) en bosveen (eutroof). Het meest kwetsbare veen (zwak veraard veen en niet veraard veen) bestaat overwegend uit rietveen of mosveen. Lokaal (bij boring 33 t/m 35) is wollegrasveen aangetroffen. De koolstof-stikstofverhouding (C/N-ratio) van het veen bepaalt mede de oxidatiesnelheid. Bij hoge C/N-coëfficiënten is de afbraaksnelheid laag (Van Essen et al., 2011). De C/N waarde voor rietveen varieert van 15 tot 40% en voor mosveen van 40 tot 70% (Hendriks, 1993). Gemiddeld genomen breekt mosveen minder snel af in vergelijking met rietveen. Er is geen informatie bekend over de C/N-ratio van wollegrasveen.

Kleigehalte van het veen

Bij het merendeel van de boringen bevat de eerste veenlaag (sterk veraard veen) lutum met wisselende gehalten. De geschatte percentages variëren van 2 tot 15%. Alleen bij boring 4, 5 en 6 bevat de eerste veenlaag geen lutum op basis van de veldschattingen. Ook de diepere matig veraarde, zwak en niet-veraarde veenlagen bevatten lutum waarbij de geschatte percentages variëren van 0 tot 12%.

Onderzoek van Greenland (1965) wijst uit dat de afbraak van organisch materiaal gemengd met lutum langzamer verloopt dan die van puur organisch materiaal. Mogelijke verklaringen hiervoor zijn een verandering van de configuratie, (micro)aggregaatvorming waarbij de organische stof wordt ingebouwd in de aggregaten, en adsorptie van enzymen en andere organische moleculen. De adsorptie van enzymen heeft niet alleen tot gevolg dat de enzymen tegen afbraak worden beschermd, maar ook dat hun activiteit vermindert (Hendriks, 1993).

Uit de literatuur blijkt dat veenlagen mét lutum minder gevoelig voor afbraak zijn dan veenlagen zonder lutum. In de boringen met een overwegend dikker kleidek (> 0,50 m) en de boringen in raai 4 is relatief meer lutum geschat in de sterk veraarde veenlaag (circa 10 tot 15%). De afbraak van het sterk veraarde veen (de veenlaag waar de meeste zuurstofintreding plaatsvindt) zal in deze gebieden langzamer gaan ten opzichte van de profielen met een dun kleidek (<0,50 m) in raai 1, 2 en 3, waar relatief minder lutum in het sterk veraarde veen aanwezig is.

In de matig veraarde en niet-veraarde veenlagen in raai 1 en 2 is overwegend minder dan 1% lutum geschat. In raai 3 en 4 zijn in de matig veraarde en niet-veraarde veenlagen percentages lutum < 1% tot circa 8% geschat. Op basis van literatuur zal de afbraak in deze raaien mogelijk enigszins lager zijn, indien deze veenlagen onder invloed van zuurstof komen te staan. De afname van de afbraaksnelheid door de aanwezigheid van lutum is met het uitgevoerde onderzoek niet gekwantificeerd.

Stevigheid van het veen

Naast de mate van veraarding is bij de boringen ook de stevigheid van het veen beoordeeld. Bij een groot aantal boringen is de structuur van de sterk veraarde en matig

veraarde veenlagen (de bovenste veenlagen) als matig vast tot vast beoordeeld. Dit geldt vooral voor de boringen in raai 1 (behalve boring 6), raai 3 en in mindere mate raai 2 (alleen boring 12, 13, 15, 16 en 21). In raai 4 is het bovenste veen (sterk en matig veraarde veen) overwegend als slap tot matig slap beoordeeld. Behalve bij boring 14 in raai 2 en de boring 35, 36 en 37 in raai 4, is bij alle profielen met een kleidek dikker dan 0,50 m de veenlaag onder het kleidek als matig vast tot vast beoordeeld. Naarmate het veen compacter is, wordt aanvoer van zuurstof bemoeilijkt wat de afbraak van compacte veenlagen afremt in vergelijking tot veenlagen met een losse structuur. De afname van de afbraaksnelheid door de mate van compactie van het veen is met het uitgevoerde onderzoek niet gekwantificeerd.

4.3 Waterhuishouding

4.3.1 Grondwaterstanden

De gemeten grondwaterstanden in de open boorgaten (één dag na uitvoering) variëren van ongeveer 0,40 tot 1,00 meter minus maaiveld (gemiddeld 0,70 meter minus maaiveld). De grondwaterstanden volgen gemiddeld genomen het maaiveldniveau.

Opgemerkt wordt dat de veldwerkzaamheden (en opname van de grondwaterstanden) zijn uitgevoerd na een relatief langdurig droge periode. Uit de gemeten grondwaterstanden is af te leiden dat de grondwaterstanden, ondanks de langdurig droge periode, beperkt onder de gemeten oppervlaktewaterpeilen (overwegend circa 5 tot 20 centimeter) zijn uitgezakt. Dit is bijvoorbeeld zichtbaar in de geschematiseerde boringen in bijlage 6 waarin ook de grondwaterstanden en waterpeilen zijn weergegeven. Hierbij wordt wel opgemerkt dat een aantal boringen op korte afstand van een watergang zijn uitgevoerd waardoor de gemeten grondwaterstand niet representatief hoeft te zijn voor de grondwaterstand in het midden van een perceel.

Een aantal onderzochte percelen zijn gedraineerd. De uitmondingen van de drainagebuizen van deze percelen bevonden zich volgens grondeigenaren tijdens het veldwerk lokaal onder het waterpeil. Hierdoor zijn mogelijk de grondwaterstanden van de gedraineerde percelen enigszins beïnvloed.

De GHG varieert op basis van de veldschattingen tussen 0,30 tot 0,80 meter minus maaiveld. Tijdens uitvoering van de veldwerkzaamheden bleek het lastig om de GLG op basis van het bodemprofiel goed in te schatten. Wel is de mate van veraarding van het veen bepaald. De bovenzijde van de totaal gereduceerde zone (niet-veraard veen) is een indicatie voor de GLG in veenprofielen. Een vaste veengrond (ongestoord materiaal) heeft in deze zone vaak de oorspronkelijke kleur van het niet-geoxideerde veen (Dodewaard, 1966).

Vermoedelijk bevindt de GLG zich mede vanwege de gemeten grondwaterstand (na een lange droge periode) ergens in de matig veraarde laag en lokaal in de zwak- of niet-veraarde veenlaag. Op basis van literatuur kan ook de overgang naar het zwak of niet-veraarde veen als grens van de GLG worden aangenomen. Dit geeft eveneens een indicatie van de GLG, al kan het veen in het verleden in meer of mindere mate veraard zijn als gevolg van wisselende hydrologische omstandigheden. Echter gezien de gemeten grondwaterstand (na een relatief langdurig droge periode) wordt verwacht dat de GLG zich ondieper in het profiel bevindt dan de grens naar het zwak-veraarde of niet-veraarde veen.

Door het frequent en langdurige meten van de grondwaterstand in peilbuizen kan dit nader inzichtelijk worden gemaakt.

4.3.2 Oppervlaktewaterpeilen

Tegelijkertijd met het opnemen van de grondwaterstand zijn in de omringende sloten van het perceel waar de handboring is gezet de oppervlaktewaterpeilen ingemeten. In bijlage 6 zijn deze metingen eveneens schematisch weergegeven. Omdat de waterpeilen rondom een perceel door bijvoorbeeld de aanwezigheid van kunstwerken of begroeiing kunnen afwijken zijn bij een aantal percelen meerdere waterpeilen weergegeven. Op basis van metingen blijkt dat lokaal waterpeilen hoger zijn ten opzichte van de waterpeilen uit de peilenkaart van het waterschap. Waterpeilen kunnen in de praktijk afwijken van het vastgestelde waterpeil. Ook kunnen waterpeilen bovenstrooms in een peilgebied hoger zijn dan ter plaatse van de benedenstroomse peilregulerende stuw.

Opgemerkt wordt dat de waterpeilen zijn gemeten tijdens een lange droge zomerperiode. Lokaal zijn naar verwachting oppervlaktewaterpeilen voorafgaand, of ten tijde van de uitvoering van de veldonderzoeken, lokaal opgezet ten behoeve van het bevoeien in het kader van droogte- en muizenbestrijding op de agrarische percelen.

4.4 Analyse omvang opgetreden bodemdaling

De omvang van de bodemdaling in de afgelopen decennia is, aan de hand van de resultaten uit het veldonderzoek, ingeschat door de maaiveldhoogtes en de afname van de dikte van het veenpakket en de afname van de dikte van het klei en veenpakket met elkaar te vergelijken. In bijlage 7 zijn de boorprofielen van het veldwerk en uit Dinoloket schematisch weergegeven. Mede met behulp van deze schematische weergave is een vergelijking gemaakt tussen de boringen in 1965 (DINO-boringen) en de boringen uit 2019 (veldwerk 2019). De geschematiseerde profielen zijn weergegeven ten opzichte van NAP, waarbij wordt opgemerkt dat de nauwkeurigheid van de NAP-hoogte van de DINO-boring wordt ingeschat op +/- 30 cm. Van één DINO-boring is het jaar van uitvoering bekend (locatie boring 37 = 1933). Voor de overige boringen is aangenomen dat deze zijn uitgevoerd in het kader van de landelijke bodemkartering door Stiboka omstreeks 1965. Er is geen informatie beschikbaar over de meetperiode (bijvoorbeeld winter of zomer) waarin de hoogtes van de DINO-boringen zijn bepaald. Meten in een natte, danwel droge periode, kan in gebieden met veen en klei tot wel 10 centimeter verschil in hoogteligging uitmaken.

Hoogtegegevens boorlocaties

Om globaal inzicht te krijgen in de omvang van de bodemdaling tussen 1965 en 2019 zijn de gemeten maaiveldhoogtes (2019) van de boringen op de DINO-locaties met de hoogtegegevens van de DINO-boringen (1965) vergeleken. De resultaten van de berekende verschillen zijn opgenomen in een staafdiagram in figuur 4.1 (op volgorde van groot naar klein) en in tabel 4.1 (op volgorde nummering boringen).

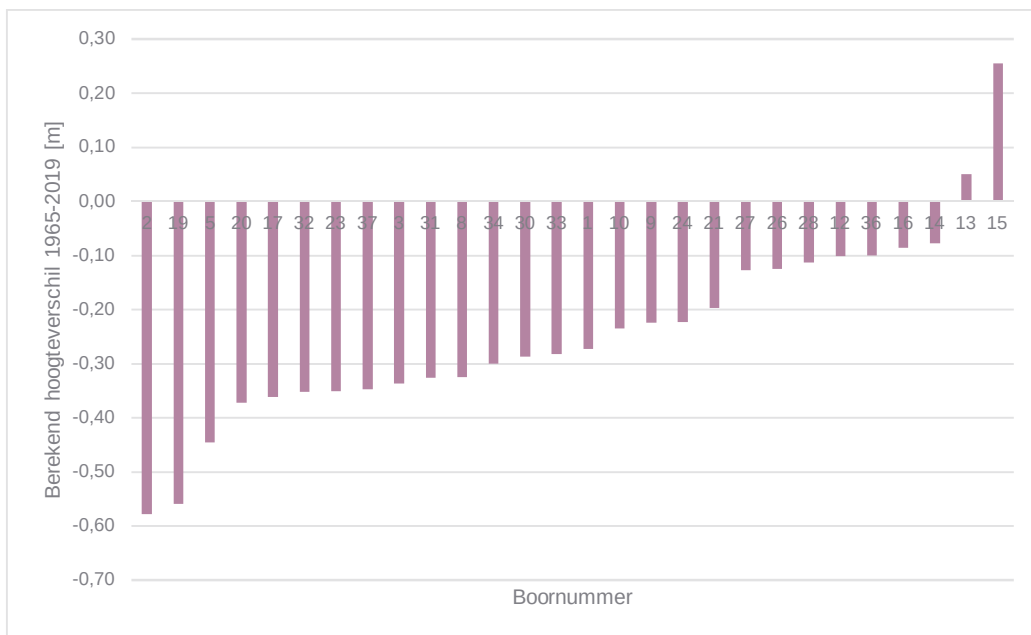


Fig. 4.1. Berekend hoogteverschil maaiveldhoogte 2019 en hoogte DINO-boring 1965

De berekende hoogteverschillen tussen 1965 en 2019 variëren van -0,58 m tot +0,25 m. Het berekende hoogteverschil bedraagt gemiddeld -24 cm. Hierbij wordt opgemerkt dat het puntmetingen zijn die niet representatief voor het hele perceel hoeven te zijn. Ook wordt opgemerkt dat de huidige maaiveldhoogte kan zijn beïnvloed door bijvoorbeeld grondbewerkingen, grondverzet en egalisatie ter plaatse van de meetpunten. Een aantal grondeigenaren en/of -gebruikers hebben aangegeven dat dergelijke werkzaamheden hebben plaatsgevonden op de onderzochte percelen. Ook zijn de maaiveldhoogtes in een relatief droge periode gemeten, waardoor als gevolg van krimp van klei en veen het maaiveld lager ligt ten opzichte van een nattere periode.

Een verklaring voor de lagere ligging van percelen met dikkere kleipakketten is dat deze percelen oorspronkelijk ronder waren waardoor er een sterkere egalisatie heeft plaatsgevonden en de kans op afwijking van de hoogtemeting groter is. Bij profielen met een dunner kleidek is de variatie in hoogte in het groeiseizoen vermoedelijk groter doordat het oppervlak meer "op en neer" gaat als gevolg van krimp en zwel.

Tabel 4.1. Maaiveldhoogte 1965 (DINO), gemeten maaiveldhoogte (2019) en berekend hoogteverschil

Boring	Maaiveldhoogte 1965 [m NAP]	Maaiveldhoogte 2019 [m NAP]	Hoogteverschil 1965 en 2019 [m]
1	-0,20	-0,473	-0,27
2	-0,50	-1,079	-0,58
3	-0,80	-1,137	-0,34
5	-0,80	-1,246	-0,45
8	-0,90	-1,025	-0,33
9	-1,00	-1,225	-0,23
10	-0,60	-0,836	-0,24
12	-0,60	-0,702	-0,10
13	-0,70	-0,650	0,05
14	-0,80	-0,878	-0,08
15	-0,80	-0,546	0,25
16	-0,90	-0,986	-0,09
17	-0,50	-0,862	-0,36
19	-0,50	-1,060	-0,56
20	-0,50	-0,873	-0,37
21	-0,50	-0,698	-0,20
23	-0,60	-0,952	-0,35
24	-0,20	-0,424	-0,22
26	-1,00	-1,126	-0,13
27	-0,80	-0,928	-0,13
28	-0,90	-1,014	-0,11
30	-0,50	-0,787	-0,29
31	-0,60	-0,927	-0,33
32	-0,70	-1,053	-0,35
33	-0,60	-0,883	-0,28
34	-0,60	-0,900	-0,30
36	-0,60	-0,701	-0,10
37	-0,10	-0,448	-0,35
Gem.	-0,64	-0,87	-0,24

In figuur 4.2 is een histogram van de resultaten van de berekende hoogteverschillen weergegeven. Hieruit is op te maken dat bij het merendeel van de boringen het berekende hoogteverschil in de bandbreedte van -0,18 tot -0,38 m ligt. De standaardafwijking bedraagt 0,17 m. De standaardafwijking is de spreiding van de waarden rondom het gemiddelde. De standaardafwijking is groot ten opzichte van het gemiddelde. Dat betekent dat de spreiding in de hoogteverschillen tussen de metingen groot is. Dat ondersteunt de verwachting dat hoogteverschillen ontstaan door specifieke omstandigheden die per perceel kunnen verschillen.

Vijf meetpunten wijken enigszins af (verschil > -0,38 m, of hebben een positief verschil wat juist bodemstijging impliceert). Ruwweg bedraagt het berekende hoogteverschil tussen 1965 en 2019 in totaal 20 tot 40 cm (+/- 30 cm). De gemiddelde jaarlijkse daling bedraagt in de periode 1965 en 2019 dan ruwweg 4 tot 7 mm (+/- 6 mm).

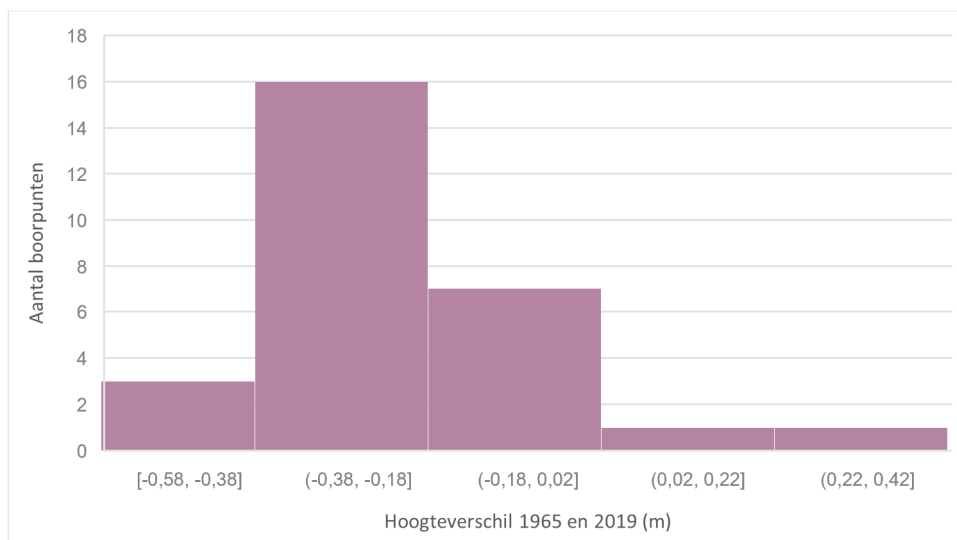


Fig. 4.2. Histogram berekende hoogteverschillen 1965-2019 boorlocaties DINO-boringen

Dikte veenlagen binnen de boordiepte

Vanwege de onnauwkeurigheid van de hoogtedata en de invloed van grondbewerkingen, egalisatie e.d. op het hoogteverschil tussen 1965 en 2019 zijn ook de diktes van de veenlagen van de DINO-boringen en de veendiktes uit het booronderzoek (2019) met elkaar vergeleken. Deze vergelijking geeft eveneens een indruk van de omvang van de bodemdaling tussen 1965 en 2019.

De verwachting is dat als gevolg van ontwatering (peilverlagingen en drainage) in het gebied de dikte van het veen sinds 1965 is afgenomen als gevolg van oxidatie, krimp en zetting (samendrukking) van het veen. Ook kan als gevolg van het ploegen van de grond de dikte van het veen zijn afgenomen door vermenging met klei of versnelde afbraak door onder andere zuurstoftoevoer via krimscheuren. Regeneratie van veen (toename van de veendikte) wordt niet verwacht omdat er in het onderzoeksgebied geen veenvorming heeft plaatsgevonden.

In figuur 4.3 zijn de berekende verschillen van de veendikte van de boringen op de DINO-locaties in een staafdiagram (in volgorde van groot naar klein) en in tabel 4.2 in tabelvorm (op volgorde van boornummer) weergegeven. Uit figuur 4.3 is op te maken dat de verschillen in laagdikte van het veen tussen 1965 en 2019 sterk uiteen lopen.

Bij zeven boringen (boring 1, 14, 20, 21, 28, 36 en 37) is de huidige dikte van de veenlagen groter dan de dikte in de DINO-boring op dezelfde locatie. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door de onnauwkeurigheid van de locaties van de DINO-boringen, mogelijk verschil in de interpretatie van grondlagen in het bodemprofiel in verband met de grens van klei en veen en eventuele lokale grondbewerkingen.

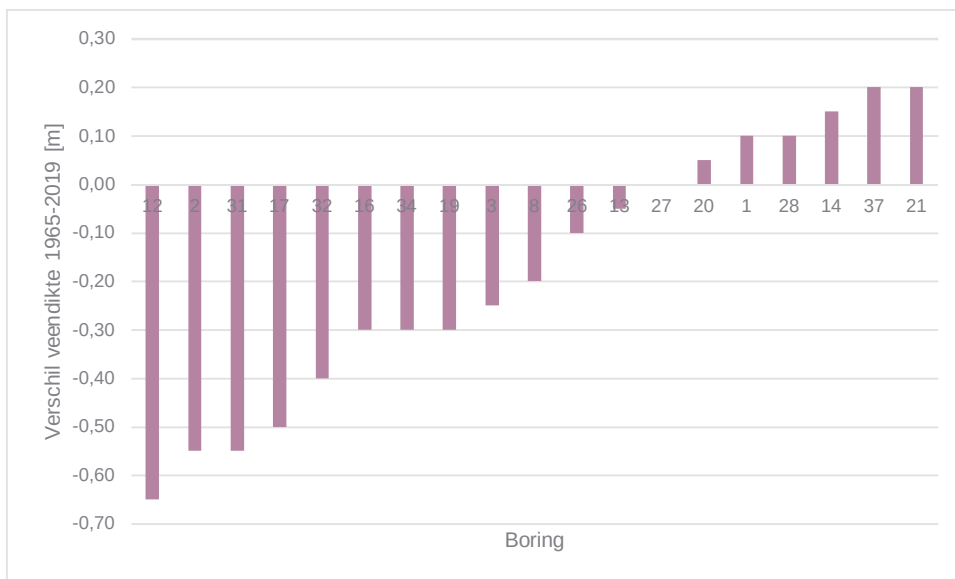


Fig. 4.3 Berekend verschil in dikte veenlagen 1965 (DINO) en 2019 (veldonderzoek).

Tabel 4.2. Overzicht veendikte en verschil veendikte DINO-boringen (1965) en boringen 2019

Raai	Boring	Dikte kleidek 2019 [m]	Dikte veen 1965 [m]	Dikte veen 2019 [m]	Verskil veendikte [m]
1	1	1,10	1,20	1,30	0,10
1	2	0,65	2,00	1,45	-0,55
1	3	0,50	2,30	2,05	-0,25
1	5	0,65	2,00	1,65	-0,35
1	8	0,35	2,10	1,90	-0,20
1	9	0,25	1,90	1,85	-0,05
1	10	0,20	1,70	1,45	-0,25
2	12	0,70	1,70	1,05	-0,65
2	13	0,75	1,00	0,95	-0,05
2	14	0,80	1,95	2,10	0,15
2	15	0,95	2,90	2,35	-0,55
2	16	0,80	2,10	1,80	-0,30
2	17	0,60	2,80	2,30	-0,50
2	19	0,40	2,30	2,00	-0,30
2	20	0,40	3,10	3,15	0,05
2	21	0,40	2,00	2,20	0,20
3	23	0,40	2,60	2,35	-0,25
3	24	0,70	2,70	2,20	-0,50
3	26	0,40	2,00	1,90	-0,10
3	27	0,75	1,80	1,80	0,00
3	28	0,60	1,90	2,00	0,10
4	30	0,35	2,10	2,05	-0,05
4	31	0,35	2,40	1,85	-0,55
4	32	0,50	2,40	2,00	-0,40
4	33	0,40	2,80	2,40	-0,40
4	34	0,35	2,60	2,30	-0,30
4	36	0,65	1,60	2,35	0,75
4	37	1,00	1,70	1,90	0,20
Gemiddeld		0,57	2,13	1,95	-0,18

In figuur 4.4 is een histogram weergegeven met het berekende verschil in dikte van de veenlagen tussen 1965 en 2019. De mediaan van de verschillen in veendikte bedraagt -0,25 m, het gemiddelde bedraagt -0,18 m en de standaardafwijking bedraagt 0,30 m. De grote standaardafwijking duidt op een grote variatie in afgenomen veendikte tussen de metingen. Een verklaring hiervoor is de heterogeniteit van de bodem in het algemeen, en de invloed van lokale omstandigheden op bodemdalingsprocessen.

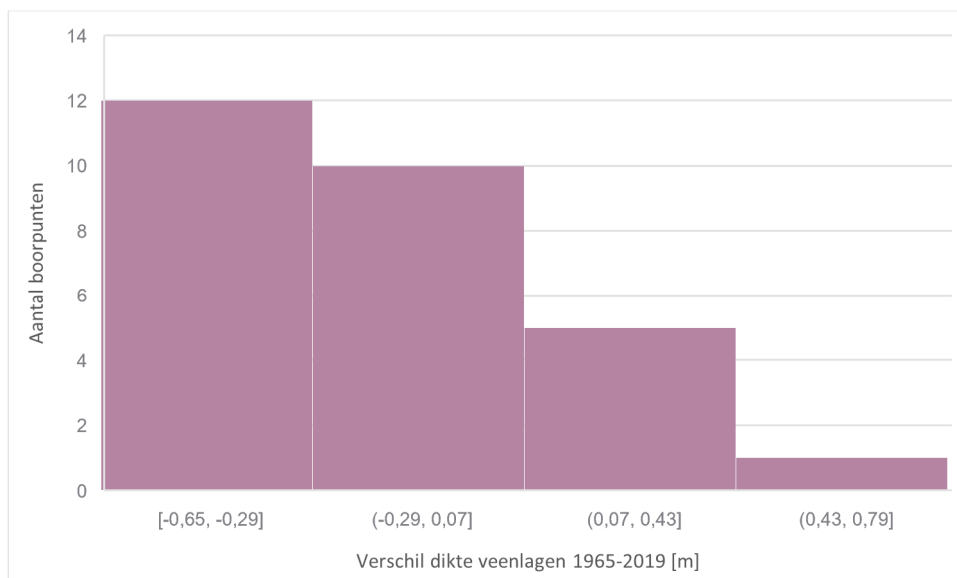


Fig. 4.4. Histogram verschil dikte veenlagen 1965 (DINO) en 2019 (veldonderzoek)

Wanneer alleen de boringen met een afname van de veendikte worden beschouwd (er wordt namelijk geen regeneratie van veen verwacht) en met de DINO-boringen worden vergeleken, dan ligt het verschil in veendikte tussen 1965 en 2019 hoofdzakelijk in een bandbreedte van -5 tot -40 cm. Uitzonderingen zijn boring 2, 15, 17, 24 en 31 met een verschil in veendikte van -50 cm tot -65 cm.

Wanneer de boringen met toename van de veendikte niet worden beschouwd, bedraagt de absolute afname van dikte van de veenlagen tussen 1965 en 2019 gemiddeld 32 cm. Wanneer de boringen met een afname van het veenpakket groter dan 50 cm niet worden beschouwd bedraagt de afname van het veenpakket tussen 1965 en 2019 gemiddeld 19 cm.

Ruwweg kan worden gesteld dat de dikte van het veenpakket tussen 1965 en 2019 met circa 18 tot 32 cm (+/- 30 cm) is afgenomen. Dit is vergelijkbaar met het berekende hoogteverschil. De afname van de veendikte in de periode 1965 en 2019 bedraagt uitgaande van 18 tot 32 cm van 1965 tot 2019, gemiddeld ruwweg 3 tot 6 mm per jaar (+/- 6 mm).

Op basis van literatuurgegevens (zie het bureauonderzoek) is de verwachting dat 2 tot 7 mm per jaar bodemdaling optreedt en nog kan optreden, afhankelijk van dikte kleidek en drooglegging. De resultaten van het veldonderzoek zijn dus vergelijkbaar met de literatuurgegevens. Opgemerkt wordt dat de bodemdaling niet lineair in de tijd verloopt, maar kort na doorvoering van een peilverlaging gemiddeld groter zal zijn (door zetting) en na enkele maanden na de peilverlaging lager zal zijn dan gemiddeld.

Dikte van het kleidek

Wanneer de dikte van het kleidek van de DINO-boringen (1965) wordt vergeleken met de resultaten van het veldonderzoek (2019) dan is overwegend sprake van een verschil van -30 cm (afname in dikte kleidek) tot +35 cm (toename dikte kleidek). Een afwijkende dikte van het kleidek is te verklaren door menselijke ingrepen zoals grondbewerking en egalisatie van de percelen. Veel grondeigenaren- en gebruikers hebben aangegeven dat op de percelen in het verleden grondbewerkingen en egalisaties zijn uitgevoerd. Ook is lokaal grond aangevoerd of verschoven om bijvoorbeeld sloten en greppels te dichten. Minder van invloed op de afname van de kleidikte zijn bodemkundige processen, zoals tijdelijke krimp van de klei (veldonderzoek is uitgevoerd in een relatief langdurig droge periode) en in mindere mate mogelijk klei-inspoeling en activiteit van het bodemleven (wormen) waardoor klei met onderliggend veen is vermengd.

Dikte van het klei- en veenpakket

In aanvulling op de vergelijking van de hoogtes en de veendiktes zijn ook de verschillen in dikte van het klei- en veenpakket tot het zand vergeleken. Deze analyse is gedaan voor de boringen op de locaties van de DINO-boringen. Aangezien bij boring 1, 2, 3 en 5 het zand niet binnen 4 meter is aangeboord kunnen deze boringen niet meegenomen worden in deze vergelijking. De totale dikte van het klei- en veenpakket is hier immers niet bekend. De resultaten zijn weergegeven in de staafdiagram in figuur 4.5 (op volgorde van groot naar klein) en tabel 4.3 (op volgorde boornummer).

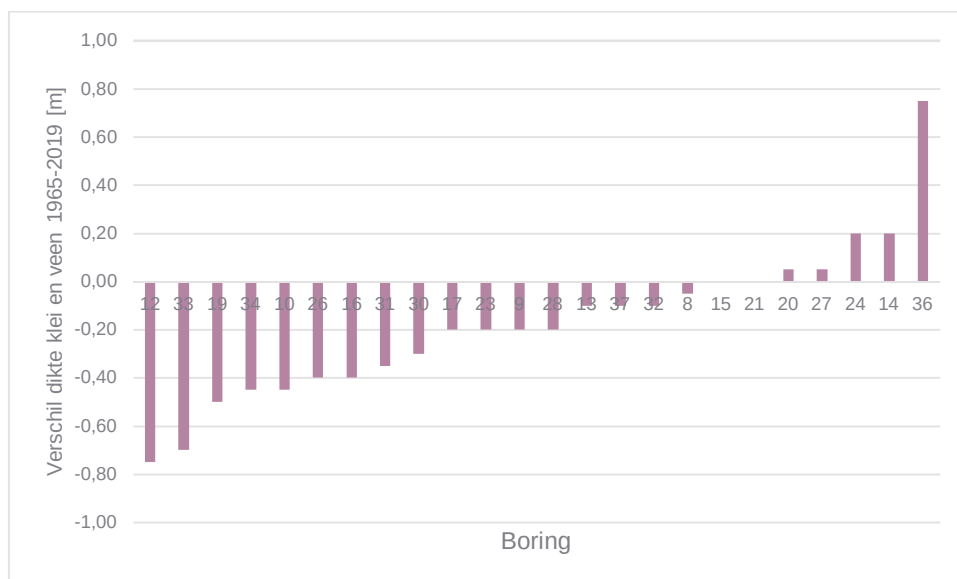


Fig. 4.5 Berekend verschil in dikte klei- en veenlagen 1965 (DINO) en 2019 (veldonderzoek).

De resultaten van deze analyse zijn vergelijkbaar met de verschillen van de dikte van de veenlagen. Het gemiddelde verschil is gelijk, en ook de variatie in verschillen loopt sterk uiteen. Wel kan worden geconcludeerd dat er gemiddeld genomen sprake is van een afname van de dikte van het klei- en veenpakket tussen 1965 en 2019.

Tabel 4.3. Overzicht klei- en veendikte en verschil klei- en veendikte DINO-boringen (1965) en boringen 2019

Raai	Boring	Dikte klei en veen tot zand 1965 [m]	Dikte klei en veen tot zand 2019 [m]	Vershil dikte klei en veen 1965-2019 [m]
1	1	-	-	-
1	2	-	-	-
1	3	-	-	-
1	5	-	-	-
1	8	2,40	2,35	-0,05
1	9	2,30	2,10	-0,20
1	10	2,00	1,55	-0,45
2	12	4,10	3,35	-0,75
2	13	3,90	3,80	-0,10
2	14	3,30	3,50	0,20
2	15	3,50	3,50	0,00
2	16	3,10	2,70	-0,40
2	17	3,20	3,00	-0,20
2	19	2,90	2,40	-0,50
2	20	3,50	3,55	0,05
2	21	2,60	2,60	0,00
3	23	3,00	2,80	-0,20
3	24	2,70	2,90	0,20
3	26	2,70	2,30	-0,40
3	27	2,50	2,55	0,05
3	28	2,80	2,60	-0,20
4	30	2,70	2,40	-0,30
4	31	2,80	2,45	-0,35
4	32	2,80	2,70	-0,10
4	33	3,20	2,50	-0,70
4	34	3,10	2,65	-0,45
4	36	2,40	3,15	0,75
4	37	3,00	2,90	-0,10
gemiddeld		2,94	2,76	-0,18

In figuur 4.6 is een histogram weergegeven met de berekende verschillen van de dikte van het klei- en veenpakket. Hieruit kan worden opgemaakt dat de berekende verschillen in klei- en veendikte overwegend in de bandbreedte -0,45 tot +0,17 m liggen.

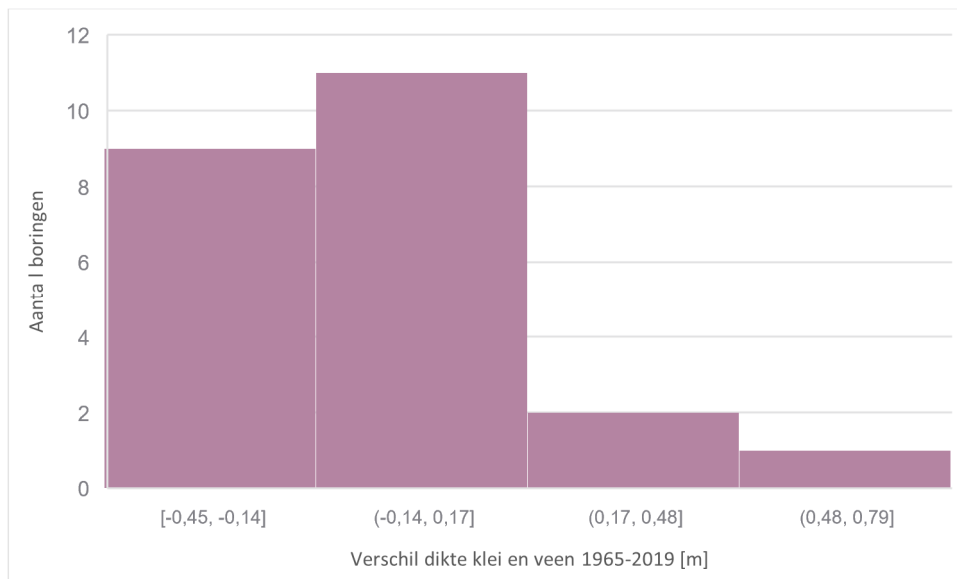


Fig. 4.6. Histogram verschil dikte veenlagen 1965 (DINO) en 2019 (veldonderzoek)

Slotbeschouwing omvang bodemdaling 1965 en 2019

In figuur 4.7 zijn de eerder beschreven resultaten gecombineerd weergegeven. Per boring is het berekende verschil in veendikte, het berekende verschil in klei- en veendikte en het berekende hoogteverschil tussen 1965 en 2019 weergegeven.

Uit deze figuur is op te maken is dat er overwegend sprake is van een negatief hoogteverschil en een negatief verschil in laagdikte wat duidt op bodemdaling. Ruwweg liggen de meeste waarden van de berekende verschillen in een bandbreedte van 20 tot 40 cm met enkele positieve en negatieve uitschieters.

Geconcludeerd wordt dat bodemdaling tussen 1965 en 2019 in totaal ruwweg 20 tot 40 cm (+/- 30 cm) bedraagt. De gemiddelde jaarlijkse daling bedraagt in de periode 1965 en 2019 dan ruwweg 4 tot 7 mm (+/- 6 mm).

De variatie in de waarden is groot. Dat betekent dat lokale omstandigheden een significante invloed hebben op de lokale maaiveldhoogte en bodemdalingsprocessen.

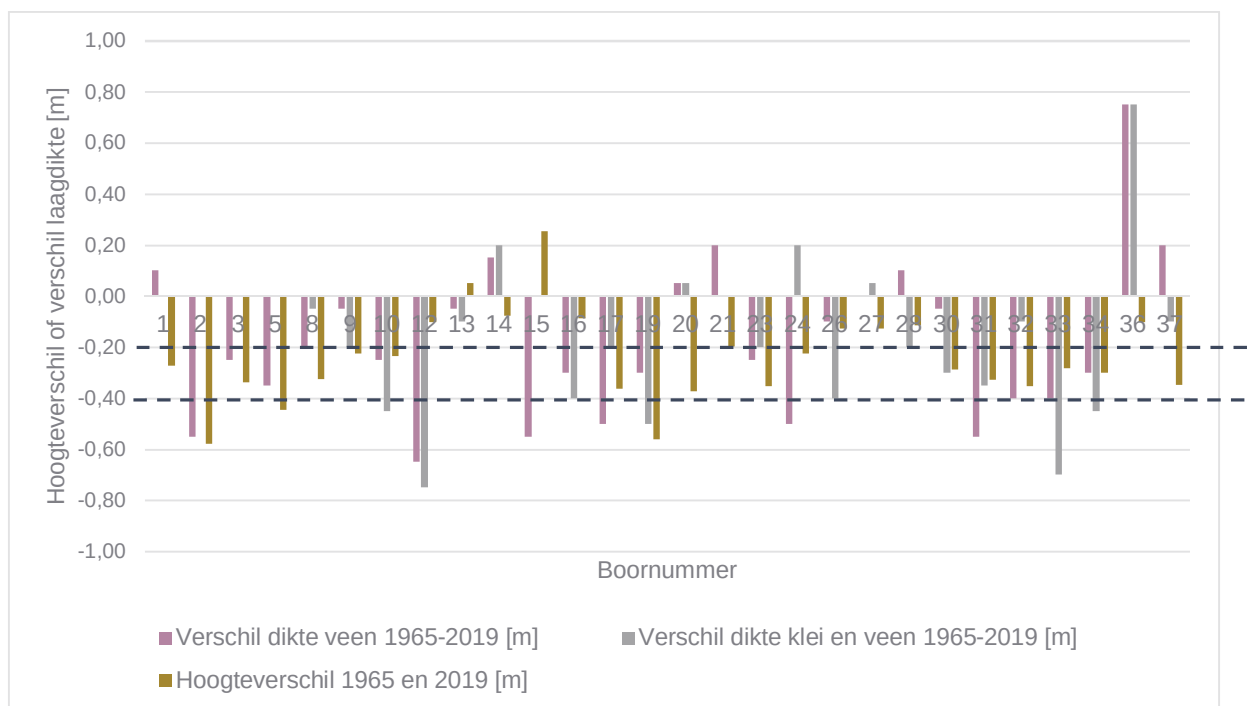


Fig. 4.7. Verschil dikte veen, verschil dikte veen en klei en berekend hoogteverschil 1965 – 2019 per boring

4.5 Analyse oorzaken bodemdaling

De verwachting is dat als gevolg van ontwatering (peilverlagingen en/of drainage) in het gebied de dikte van het veen sinds 1965 is afgenomen als gevolg van de processen oxidatie, krimp en zetting (samendrukking) van het veen. Ook door grondbewerking en egalisatie van de percelen kunnen veendiktes zijn afgenomen.

Krimp en oxidatie van veen

Deels zal het bovenste veen onder het kleidek zijn gekrompen en geoxideerd. Met behulp van het veldonderzoek en beschikbare gegevens in Dinoloket is niet exact aan te geven hoeveel deze processen hebben bijgedragen aan de bodemdaling. In literatuur wordt aangegeven dat maximale irreversibele krimp in veen 25 à 45% bedraagt, waarbij de grootste krimp wordt waargenomen bij rietveen en rietzeggeveen. Op basis van literatuur van de bodemdaling van veengebieden in West-Nederland wordt 60 tot 70% toegeschreven aan oxidatie van veen (Stouthamer et al., 2008, van Asselen et al. 2018). Voor het gebied Sneekermeer West is de verwachting dat dit percentage lager zal zijn vanwege de aanwezigheid van een kleidek op het veen.

De resultaten van het veldonderzoek (boringen) en de beschikbare boringen in Dinoloket (DINO-boringen) zijn schematisch weergegeven in bijlage 7. In de DINO-profielen is onderscheid gemaakt in klei, veen en zand. De mate van veraarding van het veen is niet uit de DINO-boringen af te leiden. Wel is bij een aantal DINO-boringen de kleur van de veenlaag weergegeven (bruin, bruin-grijs, bruin-zwart, zwart).

Zo is bij de DINO-boringen 8 en 9 dieper in het profiel sprake van veen dat als zwart is aangegeven. Bij DINO-boring 36 is onder het kleidek het veen als zwart aangegeven. Aangenomen is dat deze veenlagen als sterk veraard kunnen worden beschouwd. Ook uit historische bodemkaarten (zie kader en figuur 4.8) blijkt dat tijdens de ruilverkaveling onder het kleidek veraard (zwart geoxideerd veen) voorkwam. Mogelijk heeft het veen lokaal vóór 1965 langdurig in contact met zuurstof gestaan waardoor het oorspronkelijke veen toentertijd al was veraard.

Samendrukking (zetting) van het veen

In de profielen in bijlage 7 zijn de historische waterpeilen (ingeschat op basis van historische waterstaatskaarten) en de huidige waterpeilen aangegeven. Hieruit kan worden geconcludeerd dat vrijwel bij elke boring de huidige waterpeilen lager zijn dan de waterpeilen die bij de ruilverkaveling zijn vastgesteld.

Lokaal zijn tijdens de boringen en bij de profielkuilen compacte veenlagen aangetroffen. Dit kan duiden op samendrukking van de veenlagen (zetting) veroorzaakt door het gewicht van het bovenliggende kleipakket. Door peilverlaging neemt het gewicht toe. Met behulp van het veldonderzoek en beschikbare gegevens in Dinoloket is niet te herleiden hoeveel dit proces heeft bijgedragen aan de bodemdaling in de periode vanaf de ruilverkaveling.

In het kader van het bureauonderzoek zijn zeer indicatief zettingen van grofweg 10 tot 20 cm berekend als gevolg van peilverlagingen. De omvang van de opgetreden zettingen hangen wel af van de uitgangspunten die voor de samendrukkingparameters van het veen worden aangehouden. Ook door lokale verschillen in bodemopbouw (dikte van het veen en kleipakket) en (historische) grondwaterstanden kunnen zettingen, als gevolg van eerdere peilverlagingen, lokaal verschillen. De variatie in deze factoren verklaart ook de variatie in maaiveldverschillen en diktes van grondlagen. Ook kan als gevolg van berijding door landbouwmachines het veen lokaal mogelijk zijn gecompacteerd.

Bodemkaart gronden nabij Sijbrandabuursterszijl

In 1969 is een deelgebied van Sneekmeer West met een oppervlakte van ca. 2.000 hectare bodemkundig in kaart gebracht (zie figuur 4.8). Dit is het gebied waar boringen 22, 23 en 24 zijn uitgevoerd. Het gekarteerde gebied bestaat grotendeels uit klei-op-veen-gronden. De kleilaag varieert in dikte van 35 tot 55 cm en heeft de eigenschappen van knipklei. Binnen deze gronden komen een groot aantal sleuven voor met een afwijkende profielopbouw, die zijn te herkennen als resten van een vroegere vervening. Ze liggen 10 à 20 cm lager in het terrein en hebben een moerige bovengrond. De veenondergrond bestaat tot boordiepte uit veenmosveen op zeggeveen, toevoeging s/c) of zeggeveen (toevoeging c). Het veen is tot 70 à 80 cm zwart geoxideerd en zeer goed doorlatend. Vanaf 70 à 80 cm diepte is het veen gereduceerd en minder stevig (Van den Akker, 1969).

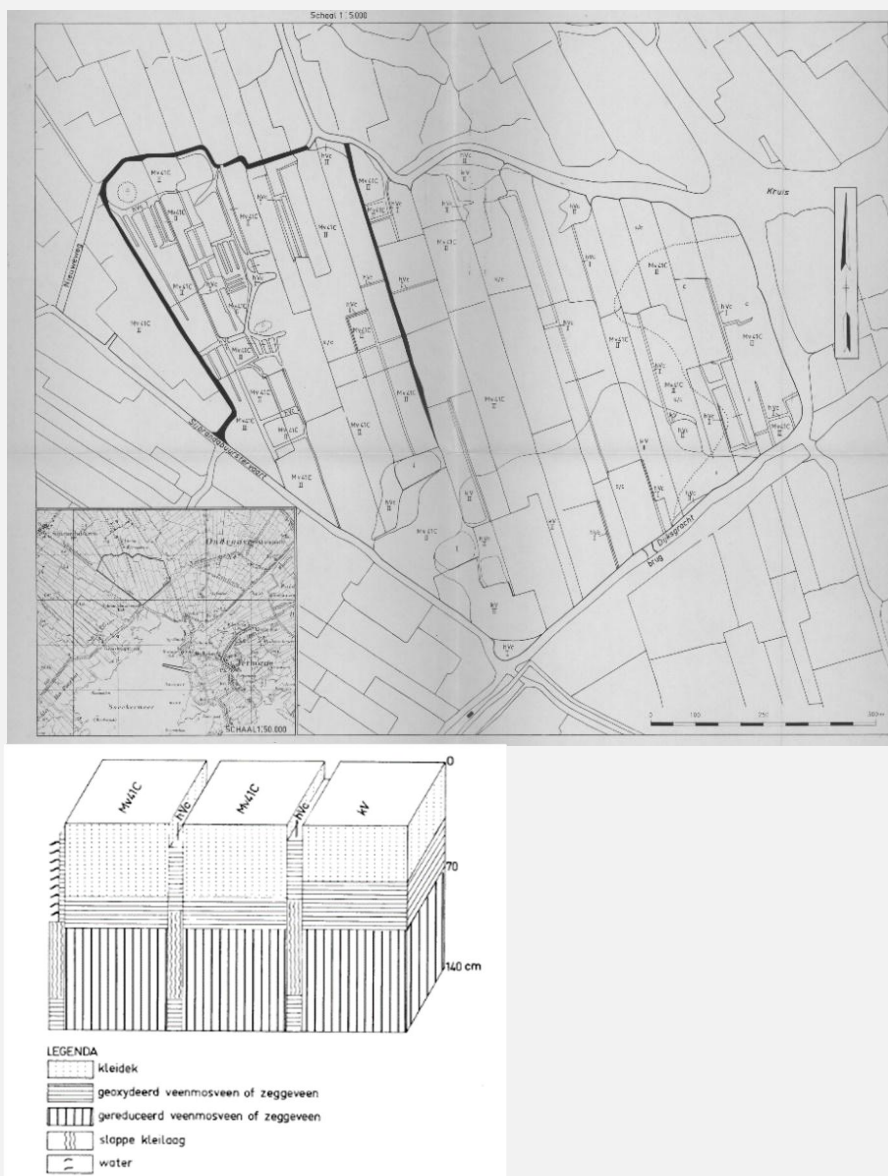


Fig. 4.8 Bodemkaart complex gronden nabij Sijbrandabuursterszijl en schematische voorstelling van de bodemeenheden i.v.m. voorkomen van sleuven (Van den Akker, 1969)

4.6 Analyse relaties tussen de opgetreden bodemdaling en de bodemopbouw en bodemeigenschappen, het waterbeheer (drooglegging en drainage) en het grondverbruik

In deze paragraaf worden op basis van de verkregen resultaten uit het veldonderzoek en de gegevens uit Dinoloket ingegaan op mogelijke relaties tussen de omvang van de bodemdaling en de bodemopbouw, het waterbeheer (drooglegging en drainage) en het bodemgebruik.

4.6.1 Effect bodemopbouw en bodemeigenschappen

Om inzicht te krijgen in de eventuele relatie tussen de dikte van het kleidek en de omvang van de bodemdaling door veenoxidatie is de relatie onderzocht tussen de dikte van het kleidek en de afname van de dikte van de veenlagen (tussen 1965 en 2019) en de dikte van het kleidek en de veraarding van het huidige veenprofiel.

Effect dikte kleidek op verschil dikte veenlagen

Van de boringen op de DINO-locaties is in figuur 4.9 het verschil in dikte van het veenpakket tussen 1965 en 2019 uitgezet tegen de dikte van het kleidek. Bij een positief verschil is het veenpakket dikker ten opzichte van 1965, vermoedelijk veroorzaakt door de onnauwkeurigheid van de DINO-boringen, mogelijk verschil in de interpretatie van het bodemprofiel in verband met de grens van klei en veen en eventuele grondbewerkingen.

De correlatie zegt iets over de lineaire relatie tussen twee variabelen. De maat waarin de richting en sterkte van de correlatie wordt uitgedrukt is de correlatiecoëfficiënt (R). Het kwadraat van R (R^2) wordt gebruikt om aan te geven in welke mate de waarden passen bij de geschatte (lineaire) relatie.

Op basis van figuur 4.9 blijkt dat slechts ca. 1,5% ($R^2 = 0,0158$) van de totale variatie in de afname van de veendikte tussen 1965 en 2019 verklaard kan worden door de verschillen in dikte van het kleidek. Er is dus geen lineaire relatie tussen enkel deze twee parameters.

Opgemerkt dient te worden dat het hier gaat om een eventuele lineaire relatie tussen specifiek de afname in veendikte en kleidikte. Het is zeer aannemelijk dat de afname van de veendikte afhankelijk is van andere of meerdere factoren tegelijk, en dat deze factoren zelfs ruimtelijk variëren vanwege bijvoorbeeld heterogeniteit van de bodem en historische bedrijfsactiviteiten en zelfs in tijd (weersomstandigheden).

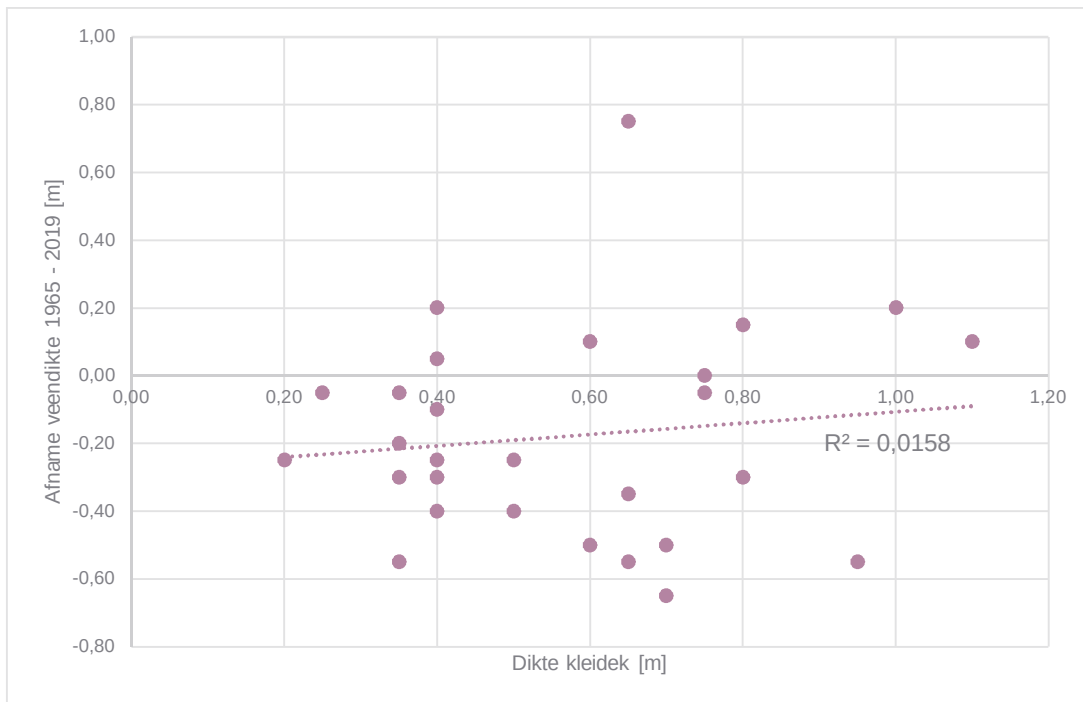


Fig. 4.9. Dikte kleidek in relatie tot verschil in dikte veenlagen 1965-2019

Als alleen de negatieve waarden worden beschouwd (afname veendikte omdat regeneratie van veen niet wordt verwacht) en de afname van de dikte van het veen wordt uitgezet tegen de dikte van het kleidek, dan resulteert dit in de figuur die is weergegeven in figuur 4.10.

Op basis van figuur 4.10 blijkt dat evengoed slechts circa 10% ($R^2 = 0,1033$) van de totale variatie in de afname van de veendikte tussen 1965 en 2019 verklaard kan worden door de verschillen in dikte van het kleidek, als alleen de negatieve waarden worden beschouwd.

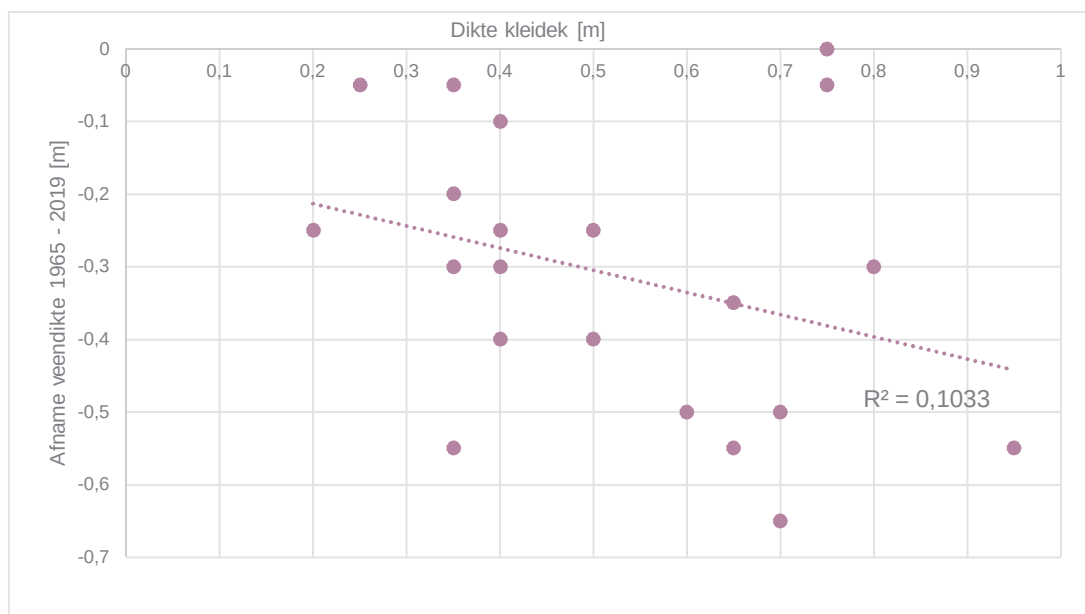


Fig. 4.10. Dikte kleidek in relatie tot afgenomen dikte veenlagen 1965-2019 waarbij alleen de boringen met een afname in veendikte zijn beschouwd

Effect dikte kleidek op verschil dikte klei- en veenlagen

Van de boringen op de DINO-locaties is in figuur 4.11 het verschil in dikte van het klei- en veenpakket tussen 1965 en 2019 uitgezet tegen de dikte van het kleidek. Bij een positief verschil is het klei- en veenpakket dikker ten opzichte van 1965, vermoedelijk veroorzaakt door de onnauwkeurigheid van de locaties van de DINO-boringen, mogelijk verschil in de interpretatie van de grens van klei en veen in het bodemprofiel, en eventuele grondbewerkingen.

Op basis van figuur 4.11 blijkt dat slechts ca. 11% ($R^2 = 0,1161$) van de totale variatie in de afname van de klei- en veendikte tussen 1965 en 2019 verklaard kan worden door de verschillen in dikte van het kleidek. Er is dus geen lineaire relatie tussen enkel deze twee parameters.

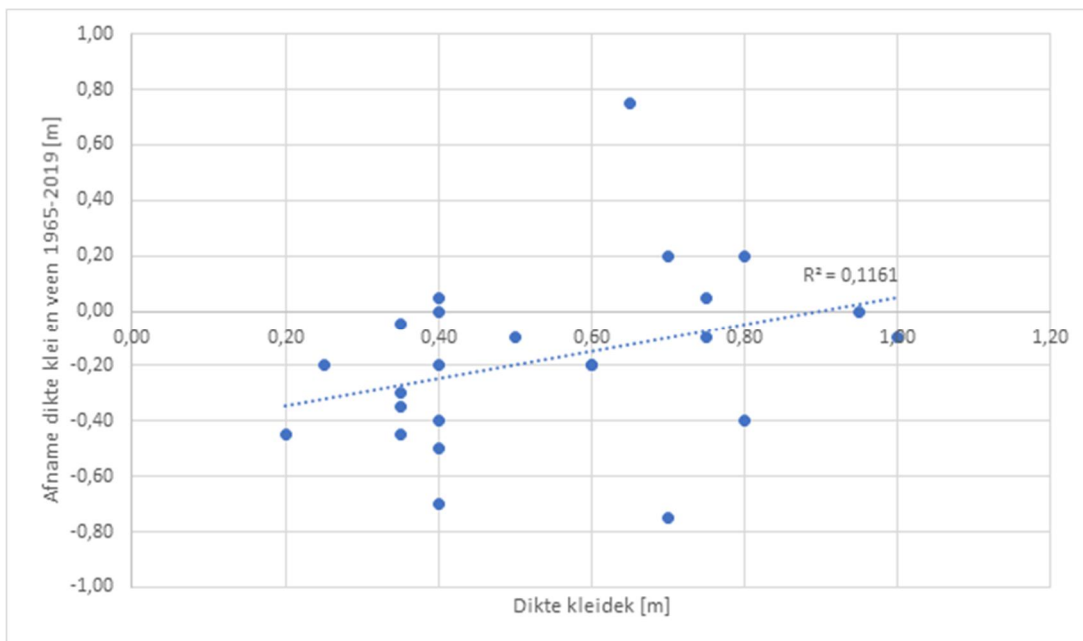


Fig. 4.11. Dikte kleidek in relatie tot verschil in dikte klei- en veenlagen 1965 – 2019.

Effect dikte kleidek op de veraarding van het veen

Om inzicht te krijgen in het eventuele effect van de dikte van het kleidek op de mate van veraarding van het huidige veenprofiel, is voor alle boringen de laagdikte van het zwak en niet-veraard veen van de eerste veenlaag onder het kleidek uitgezet tegen de dikte van het kleidek. Hierbij is de onderzijde van het niet-veraarde of zwak-veraarde veen als ondergrens van het meest kwetsbare veenpakket aangehouden. Dit resultaat is weergegeven in figuur 4.12.

Uit de figuur kan worden opgemaakt dat bij een kleidek kleiner of gelijk dan 40 cm zowel locaties zijn waar geen zwak tot niet-veraard veen meer voorkomt als locaties waarbij nog 1,90 m veen zwak veraard tot niet-veraard aanwezig is.

Op basis van figuur 4.12 blijkt dat slechts ca. 3% ($R^2 = 0,0359$) van de totale variatie in de dikte van het niet-veraarde en zwak veraarde veen verklaard kan worden door de verschillen in dikte van het kleidek. Er is dus geen lineaire relatie tussen enkel deze twee parameters.

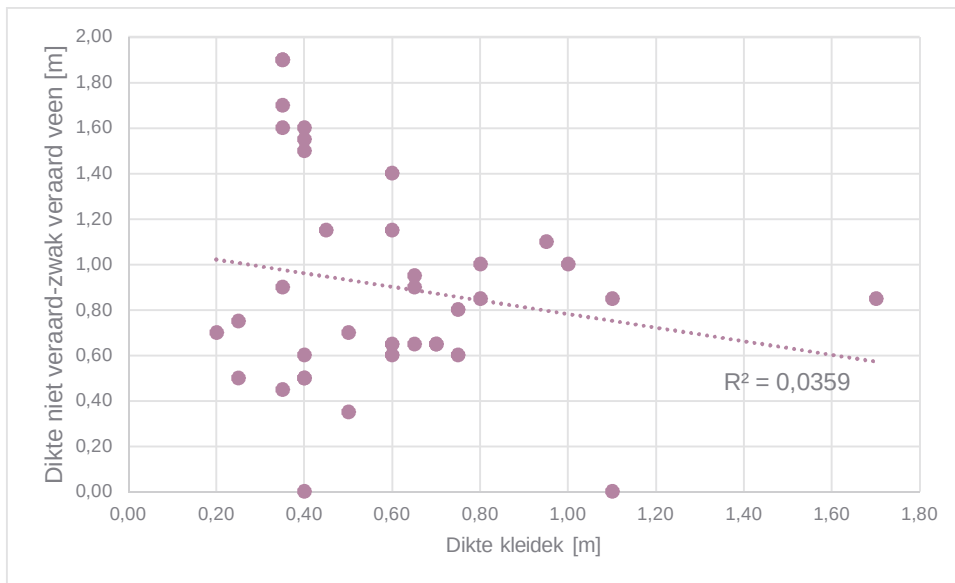


Fig. 4.12. Dikte zwak-, niet-veraard veen in eerste veenlaag ten opzichte van de dikte van het kleidek

In figuur 4.13 is het aandeel sterk veraard veen onder het kleidek (van de eerste veenlaag direct onder het kleidek) uitgezet tegen de dikte van het kleidek. Uit de figuur kan worden opgemaakt dat zowel bij profielen met een dunner kleidek als een dikker kleidek sprake is van een situatie dat het veen variërend van 0 tot 50 cm sterk veraard is.

Op basis van figuur 4.13 blijkt dat slechts ca. 1% ($R^2 = 0,0141$) van de totale variatie in de dikte van de laag sterk veraard veen onder het kleidek verklaard kan worden door de verschillen in dikte van het kleidek. Er is dus geen lineaire relatie tussen enkel deze twee parameters.

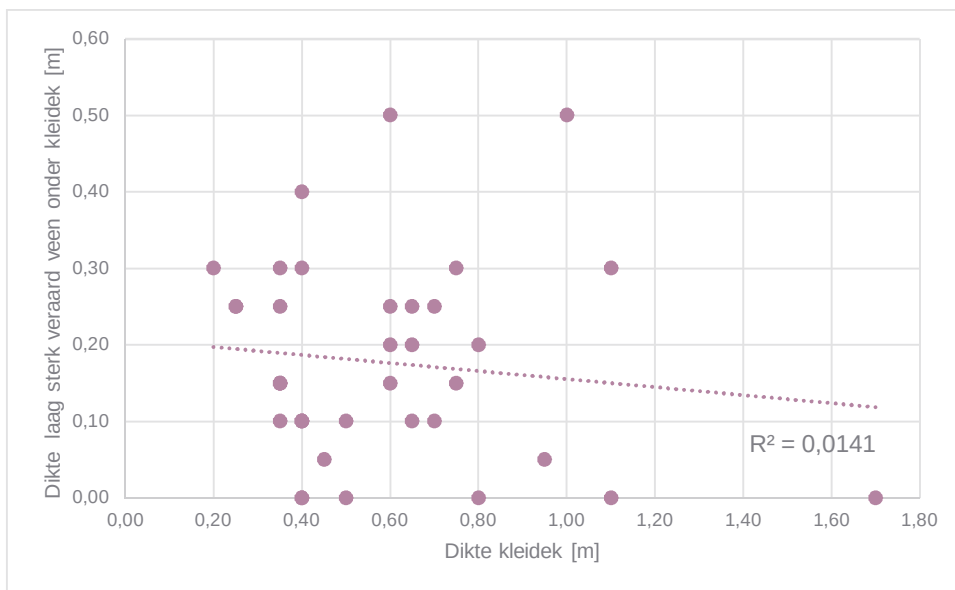


Fig. 4.13 Dikte laag sterk veraard veen onder kleidek ten opzichte van de dikte van het kleidek

4.6.2 Effect drooglegging op dikte van het veen en de veraarding

Om inzicht te krijgen in het effect van de drooglegging op de afname van de dikte van het veen en de veraarding van het veen is op de onderzoekslocaties de drooglegging in de zomer afgeleid op basis van het verschil tussen de gemeten maaiveldhoogtes bij de boorpunten en de zomerpeilen.

Effect drooglegging op verschil dikte veenlagen

In figuur 4.14 is de berekende drooglegging ter plaatse van de boorlocaties (verschil hoogtemeting met zomerpeil) uitgezet tegen de afgenomen laagdikte veen tussen 1965 en 2019. Uit figuur 4.14 is op te maken dat zowel bij een drooglegging kleiner of groter dan 60 cm het veen in dikte met vergelijkbare omvang is afgenomen. Op basis van figuur 4.14 blijkt dat slechts ca. 1% ($R^2 = 0,0109$) van de totale variatie in de afname van de veendikte tussen 1965 en 2019 op de beschouwde boorlocaties verklaard kan worden door de verschillen in drooglegging. Er is dus geen lineaire relatie tussen enkel deze twee parameters.

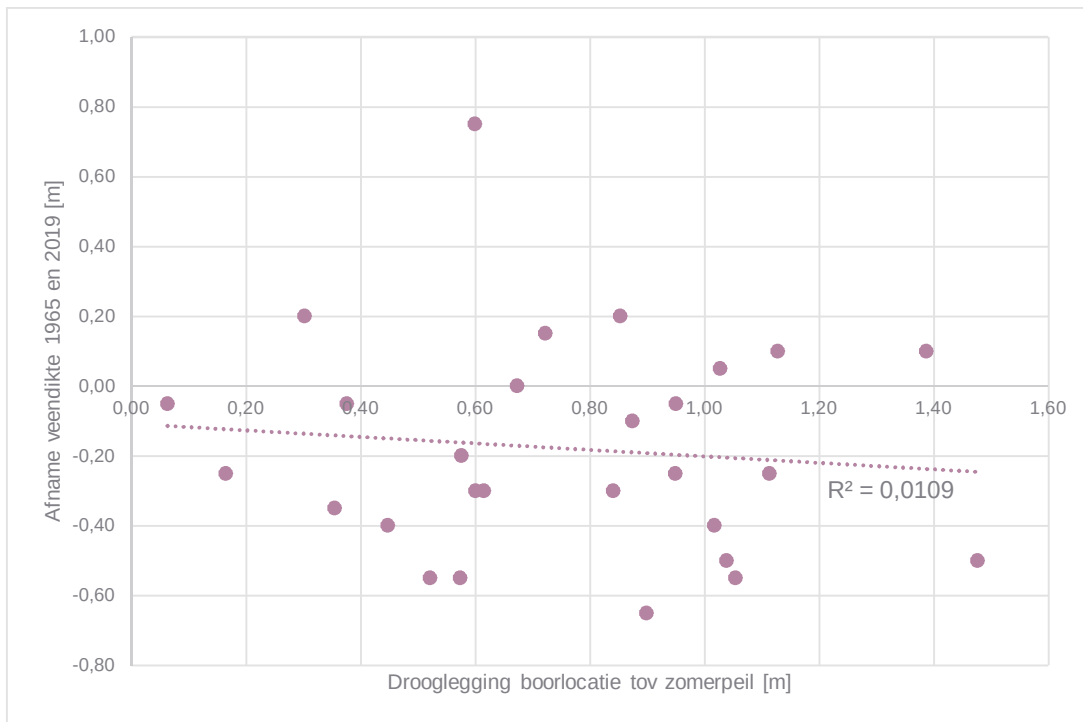


Fig. 4.14. Drooglegging zomer (verschil hoogte boring en zomerpeil) in relatie tot afgenomen dikte van de veenlagen 1965-2019.

In figuur 4.15 zijn dezelfde resultaten weergegeven echter zijn hier de positieve verschillen (toename veendikte 1965-2019) niet meegenomen. Hier blijkt dat evengoed slechts ca. 10% ($R^2 = 0,1033$) van de totale variatie in de afname van de veendikte tussen 1965 en 2019 op de beschouwde boorlocaties verklaard kan worden door de verschillen in drooglegging. Er is dus ook geen lineaire relatie tussen enkel deze twee parameters als alleen de negatieve waarden worden beschouwd.

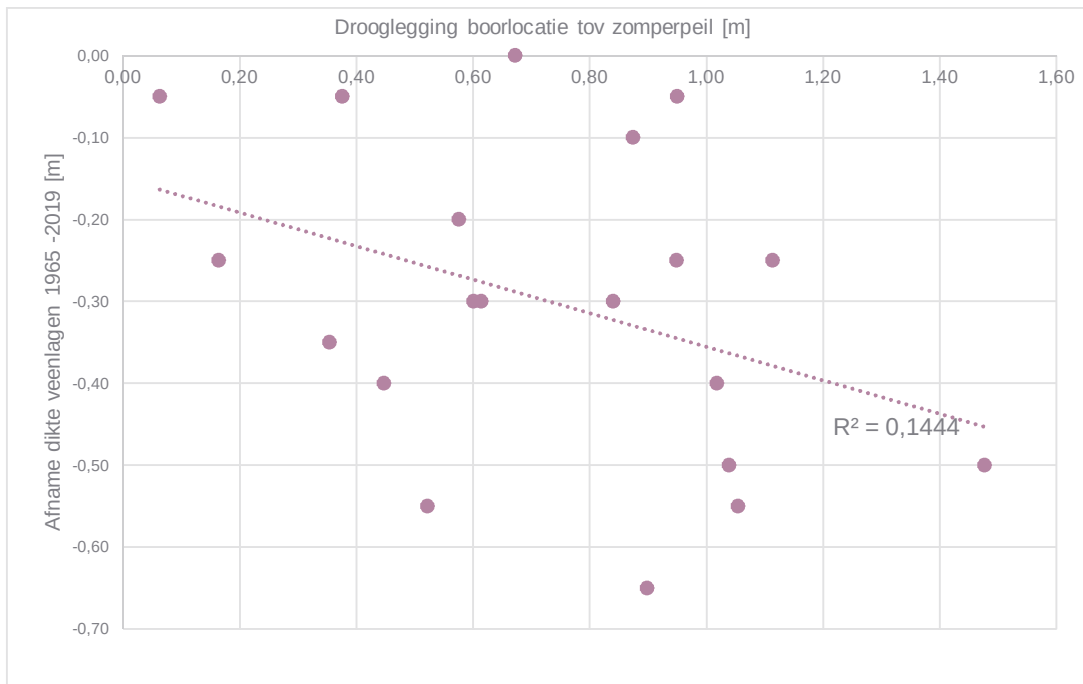


Fig. 4.15. Drooglegging zomer (verschil hoogte boring en zomerpeil) in relatie tot afgenomen dikte veenlagen 1965-2019 met alleen boringen met een afname van de dikte van de veenlagen.

In figuur 4.16 is de berekende drooglegging ter plaatse van de boorlocaties (verschil hoogtemeting met zomerpeil) uitgezet tegen het afgenomen laagdikte van het klei en veen tussen 1965 en 2019. Uit figuur 4.16 is op te maken dat zowel bij een drooglegging kleiner of groter dan 60 cm het klei en veen in dikte met vergelijkbare omvang is afgenomen.

Op basis van figuur 4.16 blijkt dat $< 1\%$ ($R^2 = 0,0043$) van de totale variatie in de afname van de klei- en veendikte tussen 1965 en 2019 op de beschouwde boorlocaties verklaard kan worden door de verschillen in drooglegging. Er is dus geen lineaire relatie tussen enkel deze twee parameters.

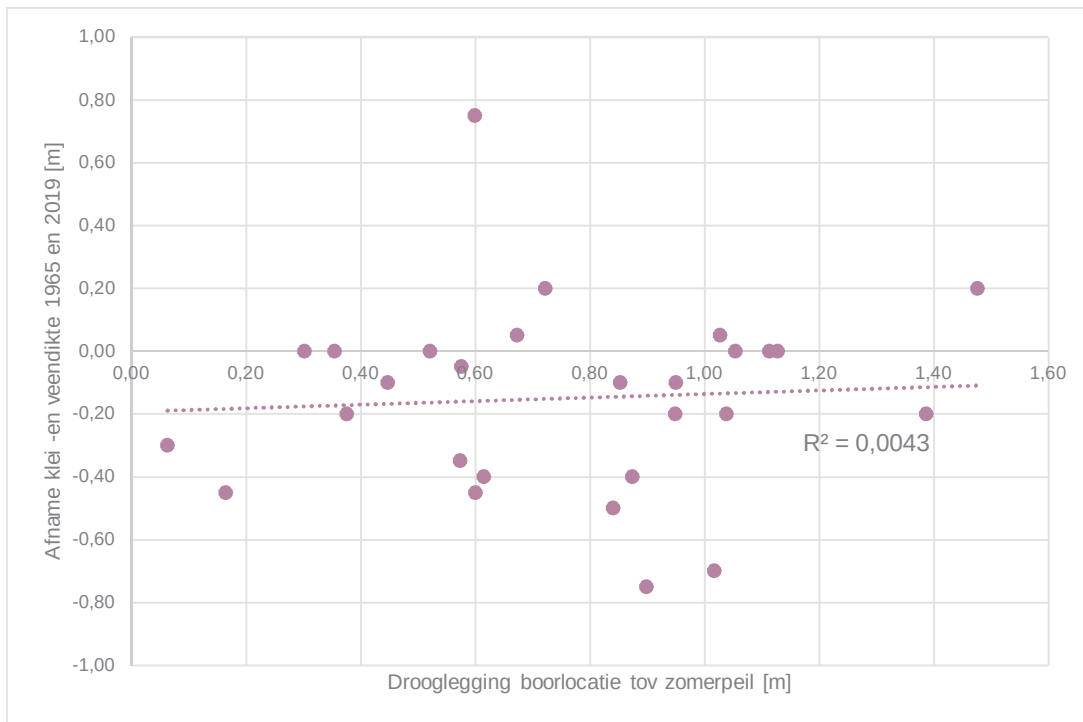


Fig. 4.16. Drooglegging zomer (verschil hoogte boring en zomerpeil) in relatie tot afgenomen dikte klei- en veenlagen 1965-2019.

Effect drooglegging op de veraarding van het veen

In figuur 4.17 is de laagdikte sterk veraard veen onder het kleidek (van de eerste veenlaag) uitgezet tegen de berekende drooglegging ter plaatse van de boorlocaties (verschil hoogtemeting met zomerpeil).

Op basis van figuur 4.17 blijkt dat slechts ca. 1% ($R^2 = 0,0121$) van de totale variatie in laagdikte van het sterk veraarde veen onder het kleidek (van de eerste veenlaag) op de beschouwde boorlocaties verklaard kan worden door de verschillen in drooglegging. Er is dus geen lineaire relatie tussen enkel deze twee parameters.

In figuur 4.18 is de laagdikte niet veraard en zwak veraard veen onder het kleidek (van de eerste veenlaag tot de onderzijde van het niet of zwak veraarde veen) uitgezet tegen de berekende drooglegging ter plaatse van de boorlocaties (verschil hoogtemeting met zomerpeil).

Op basis van figuur 4.18 blijkt dat slechts ca. 10% ($R^2 = 0,1043$) van de totale variatie in laagdikte van het niet-veraard en zwak veraard veen onder het kleidek op de beschouwde boorlocaties verklaard kan worden door de verschillen in drooglegging. Er is dus geen lineaire relatie tussen enkel deze twee parameters.

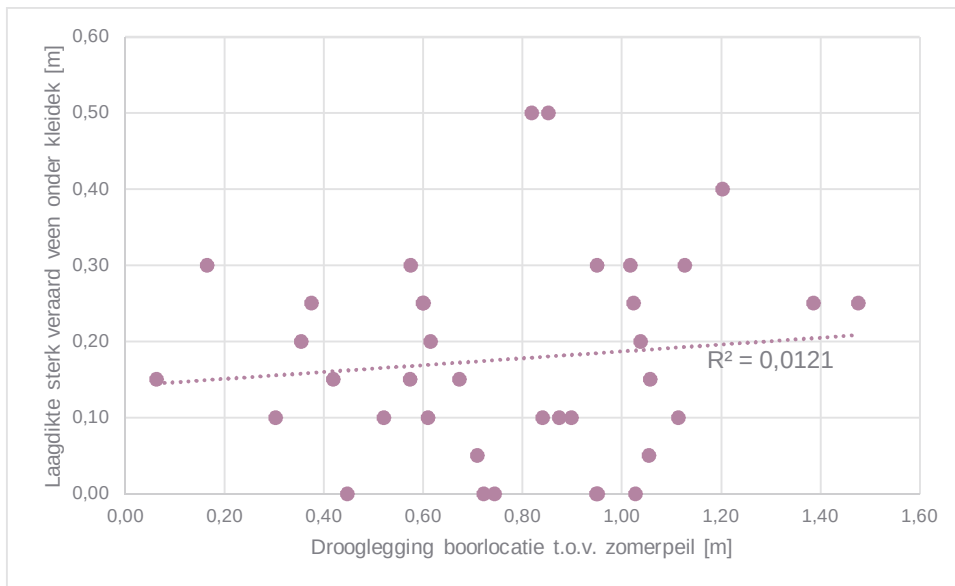


Fig. 4.17. Laagdikte sterk veraard veen in eerste veenlaag direct onder het kleidek ten opzichte van de drooglegging zomer (verschil hoogte boring en zomerpeil)

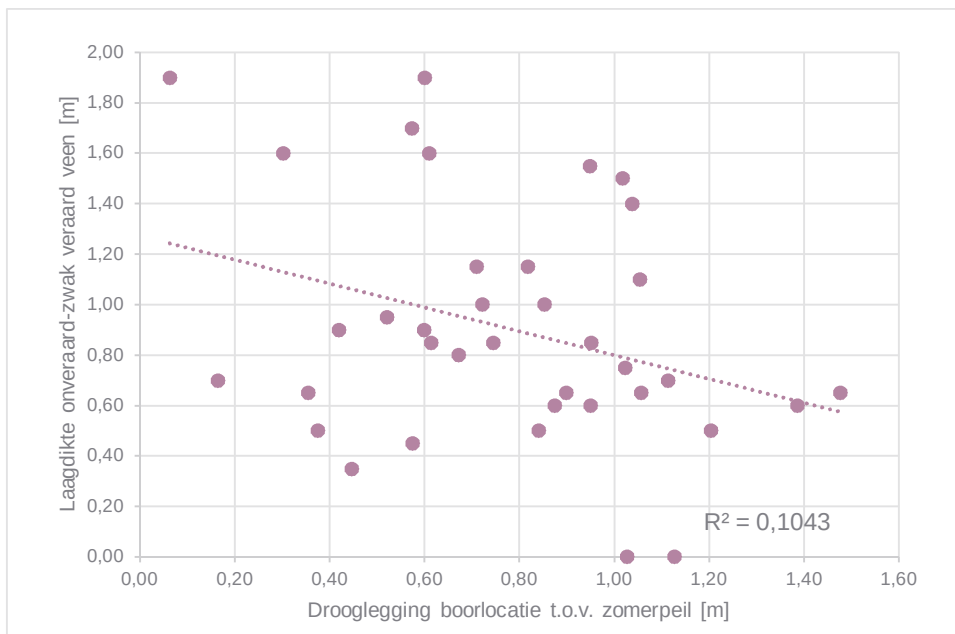


Fig. 4.18. Laagdikte niet veraard-zwak veraard veen in eerste veenlaag ten opzichte van de drooglegging zomer (verschil hoogte boring en zomerpeil)

4.6.3 Effect van wisselend grondgebruik (maisteelt)

Maisteelt en bodemdaling op veengronden worden vaak aan elkaar gerelateerd waarbij de maisteelt de bodemdaling mogelijk zou versnellen. Om dit voor het onderzoeksgebied te beschouwen zijn in figuur 4.19 de locaties met wisselend grondgebruik (boring 15, 17 en 23)

met een blauwe pijl weergegeven. Dit zijn locaties waar in de afgelopen 5 jaar minimaal één teeltseizoen mais is geteeld.

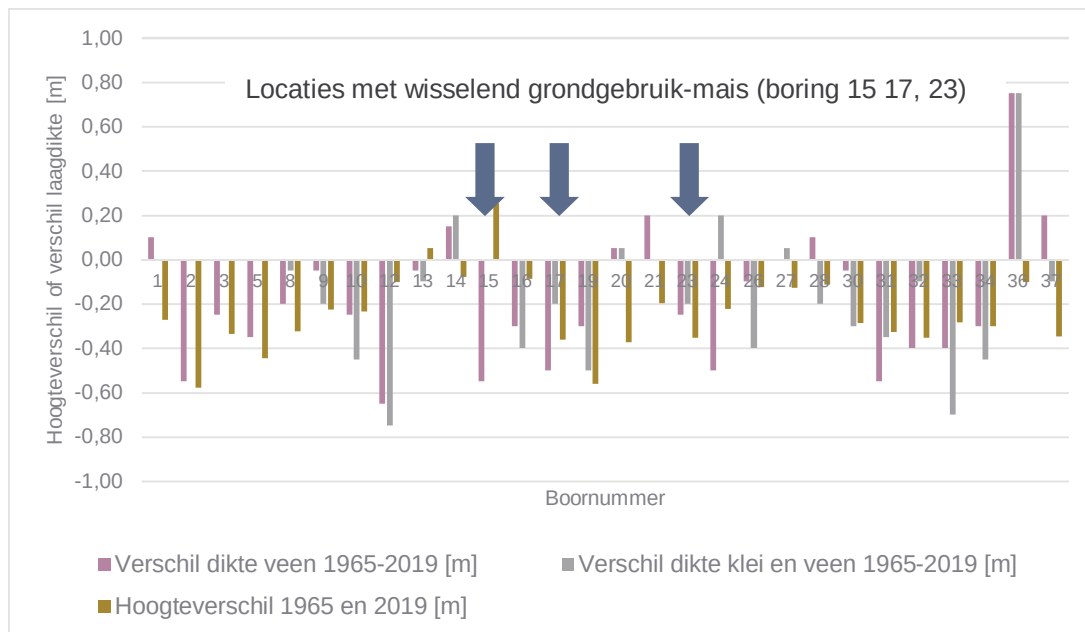


Fig. 4.19. Verschil dikte veen, verschil dikte veen en klei en berekend hoogteverschil 1965 – 2019 per boring en aanduiding van de locaties met wisselend grondgebruik-mais (boring 15, 17 en 23).

Uit figuur 4.19 is op te maken dat de verschillen in de afname van het veen, afname van het klei en veen en het berekende hoogteverschil tussen 1965 en 2019 niet significant afwijken voor de percelen met wisselend grondgebruik (mais) in vergelijking met de percelen met permanent grasland.

Om inzicht te krijgen in het effect van wisselend grondgebruik op de veraarding van het veen zijn de laagdiktes van het sterk veraarde veen en het niet-veraarde veen en zwak veraarde veen vergeleken met de percelen met permanent grasland. De resultaten zijn weergegeven in figuur 4.20 en figuur 4.21. Uit beide figuren is op te maken dat de veraarding van het veen overwegend vergelijkbaar is tussen percelen met wisselend grondgebruik (mais) als percelen met permanent grasland. Dit is mogelijk te verklaren doordat de bouwvoor bij de percelen met wisselend grondgebruik steeds uitsluitend in het kleidek is geweest en het veen niet door grondbewerking is beïnvloed.

Wel is bij twee locaties met een kleidek van 40 en 60 cm de sterk veraarde veenlaag dikker (40 tot 50 cm) in vergelijking met de percelen met permanent grasland (10 tot 30 cm).

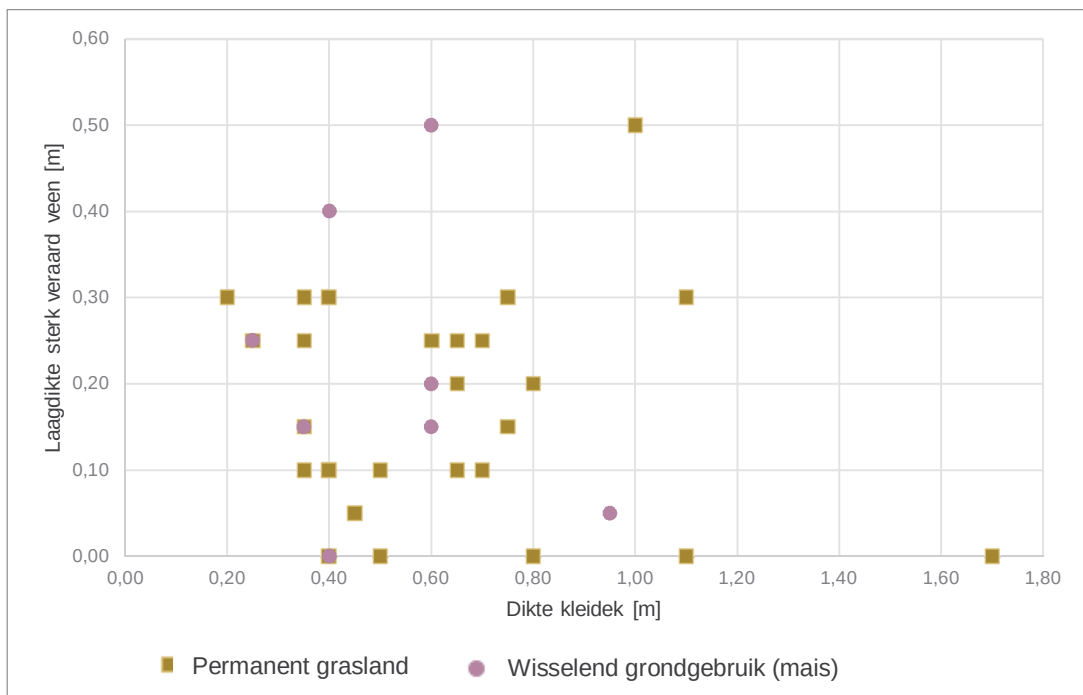


Fig. 4.20 Dikte laag sterk veraard veen onder kleidek ten opzichte van de dikte van het kleidek met onderscheid percelen wisselend grondgebruik (maïs) en permanent grasland

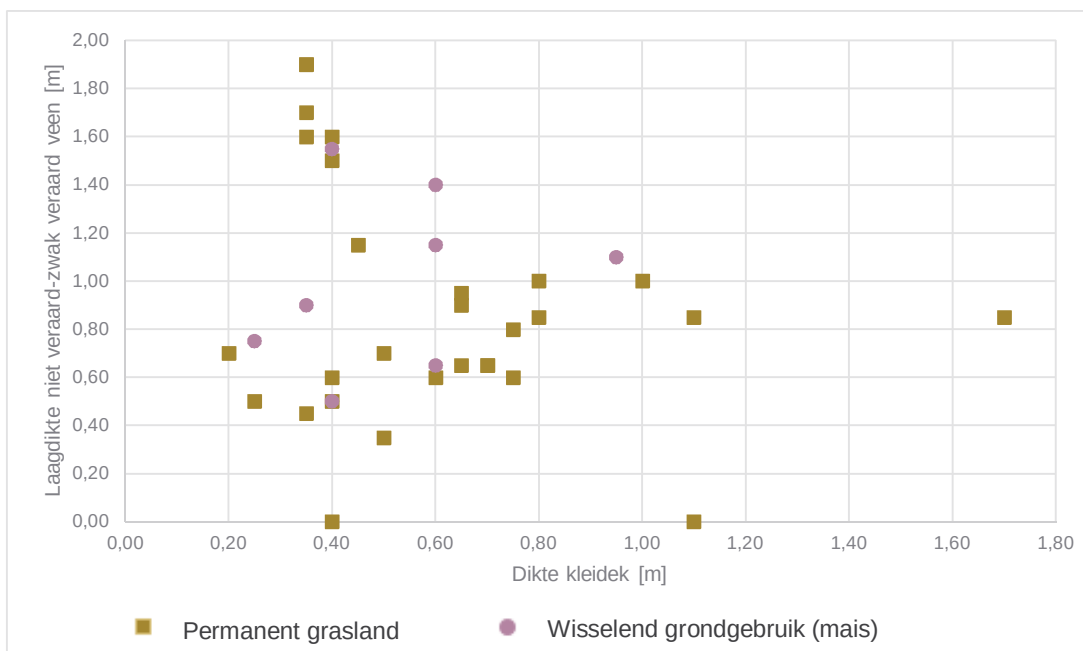


Fig. 4.21 Dikte laag niet veraard-zwak veraard veen ten opzichte van de dikte van het kleidek met onderscheid percelen wisselend grondgebruik (maïs) en permanent grasland

4.6.4 Effect van drainage

Een aantal onderzochte percelen zijn gedraineerd. Om inzicht te krijgen in het effect van drainage op de omvang van de bodemdaling zijn in figuur 4.22 de locaties met drainage (boring 1, 3, 5, 13, 17, 28, 36 en 37) met een groene pijl weergegeven. Uit figuur 4.22 is op te maken dat de verschillen in de afname van het veen, afname van het klei en veen en het berekende hoogteverschil tussen 1965 en 2019 niet significant afwijken voor de percelen mét drainage in vergelijking met de percelen zónder drainage. Duidelijk is dat de berekende hoogteverschillen en verschillen in laagdiktes voor gedraineerde percelen niet groter zijn (eerder kleiner) in vergelijking met de ongedraineerde percelen.

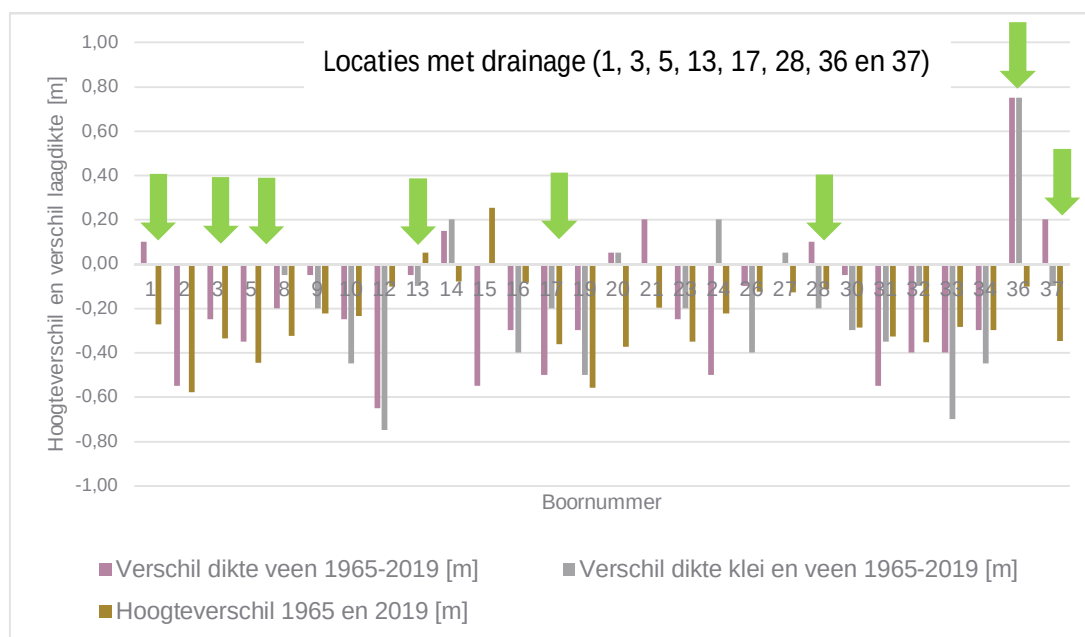


Fig. 4.22. Verschil dikte veen, verschil dikte veen en klei en berekend hoogteverschil 1965 - 2019 per boring en aanduiding van de locaties met drainage (boring 1, 3, 5, 13, 17, 28, 36 en 37)

Om inzicht te krijgen in het effect van drainage op de veraarding van het veen zijn de laagdiktes van het sterk veraarde veen en het niet-veraard veen en zwak veraarde veen vergeleken met de percelen zonder drainage. De resultaten zijn weergegeven in figuur 4.23 en figuur 4.24. Uit beide figuren is op te maken dat de veraarding van het veen overwegend vergelijkbaar is tussen percelen mét drainage als percelen zónder drainage.

Wel is bij twee locaties met een kleidek van 100 en 110 cm de sterk veraarde veenlaag dikker (30 tot 50 cm) in vergelijking met de percelen zonder drainage (0 tot 10 cm). Een mogelijke verklaring hiervoor is dat als gevolg van drainage het veen relatief meer in contact met zuurstof is geweest.

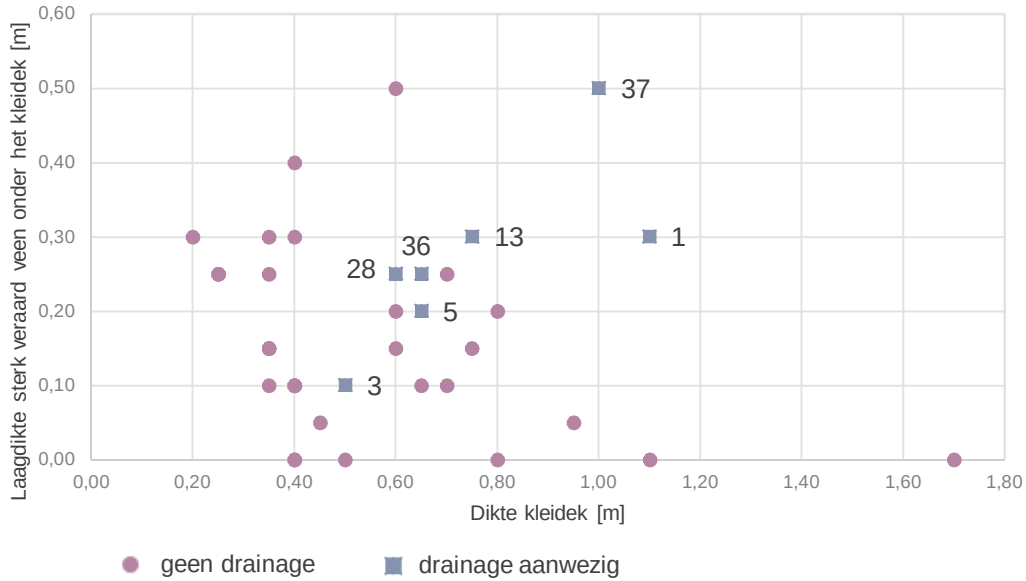


Fig. 4.23. Dikte laag sterk veraard veen onder kleidek ten opzichte van de dikte van het kleidek met onderscheid gedraineerde en ongedraineerde percelen

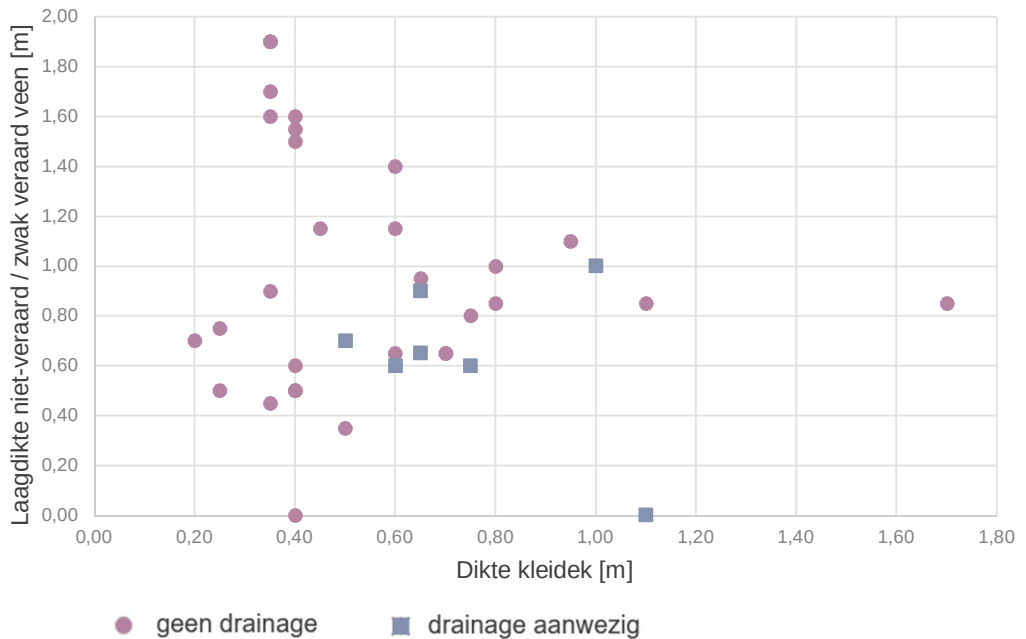


Fig. 4.24. Dikte laag niet veraard-zwak veraard veen onder kleidek ten opzichte van de dikte van het kleidek met onderscheid onderscheid gedraineerde en ongedraineerde percelen

4.6.5 Vergelijking resultaten natuur en bebouwd gebied met agrarische percelen

Twee boringen zijn in en nabij bebouwd gebied (boring 11 en 29) uitgevoerd en twee boringen in het natuurgebied de Potskar (boring 10 en 21). Het aantal punten is beperkt voor een goede vergelijking. De resultaten van deze paragraaf dienen daarom met deze kanttekening te worden beschouwd.

Omvang bodemdaling in de natuurgebieden en bebouwd gebied

Op basis van de resultaten boring 10 en 21 (zie onderstaande figuur) blijkt ter plaatse van boring 10 een vergelijkbare bodemdaling is opgetreden als ter plaatse van de agrarische percelen. Bij boring 21 zijn wisselende resultaten te zien; de veendikte is toegenomen, de klei- en veendikte is gelijk en het hoogteverschil is -20 centimeter.

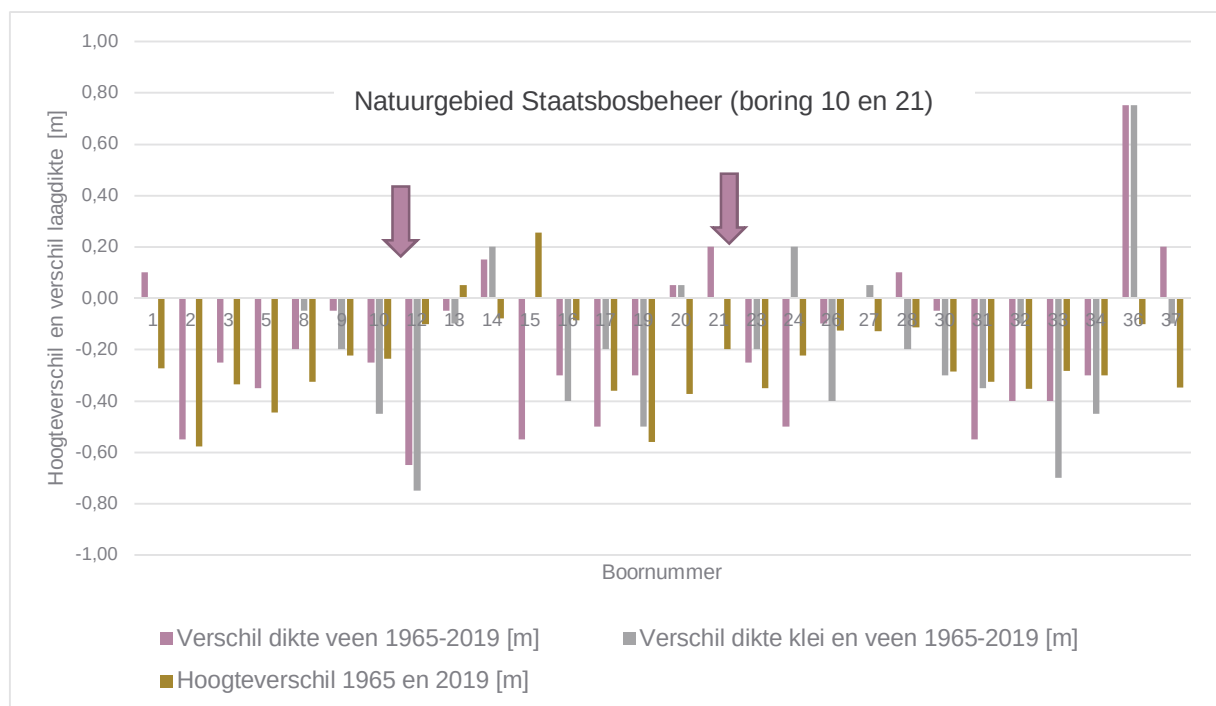


Fig. 4.25. Verschil dikte veen, verschil dikte veen en klei en berekend hoogteverschil 1965 - 2019 per boring en aanduiding van de locaties in natuurgebied de Potskar (boring 10 en 21).

De locaties van de boringen in het bebouwd gebied zijn vanwege de bereikbaarheid niet op de DINO-locaties uitgevoerd. Derhalve kan geen analyse worden gedaan naar de verschillen in veen en kleidikte en het hoogteverschil tussen 1965 en 2019.

Veraarding van het veen in natuurgebied en bebouwd gebied

Om inzicht te krijgen in eventuele verschillen in de veraarding van het veen in het natuurgebied en bebouwd gebied zijn de laagdiktes van het sterk veraarde veen en het niet-veraarde veen en zwak veraarde veen van de agrarische percelen vergeleken met de locaties in het natuurgebied (Potskar) en bebouwd gebied. De resultaten zijn weergegeven in figuur 4.26 en figuur 4.27.

Uit beide figuren is op te maken dat de veraarding van het veen in het natuurgebied overwegend vergelijkbaar is met de veraarding in de agrarische percelen. In het bebouwd gebied is onder het kleidek geen sterk veraard veen aangetroffen.

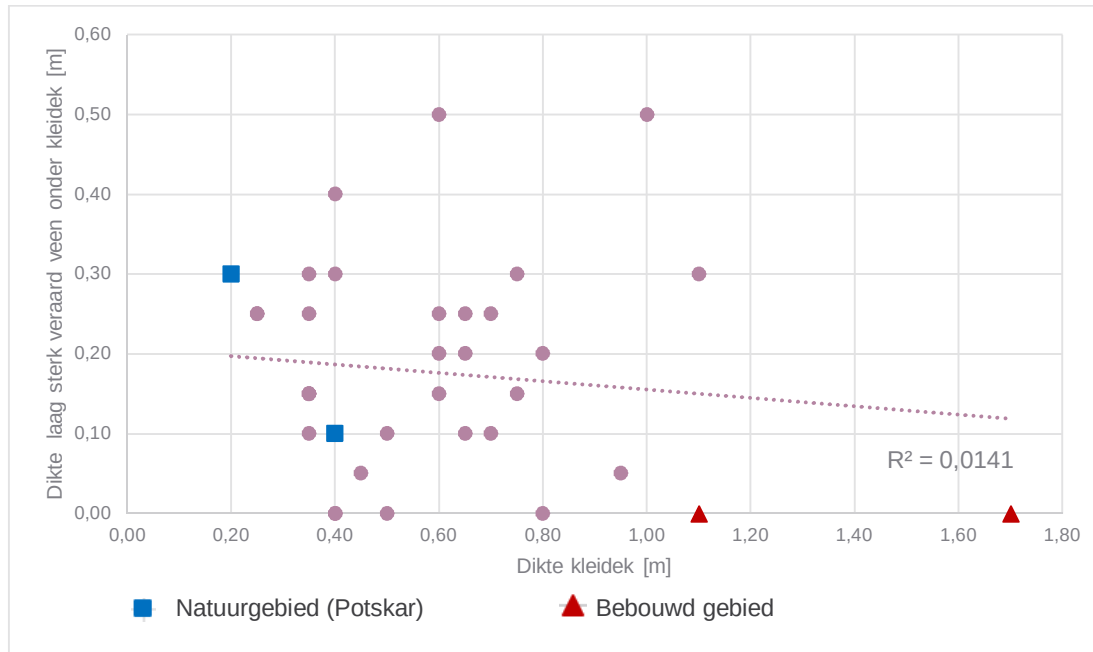


Fig. 4.26 Dikte laag sterk veraard veen onder kleidek ten opzichte van de dikte van het kleidek met aparte weergave van de locaties in natuurgebied en locaties in, en nabij, bebouwd gebied

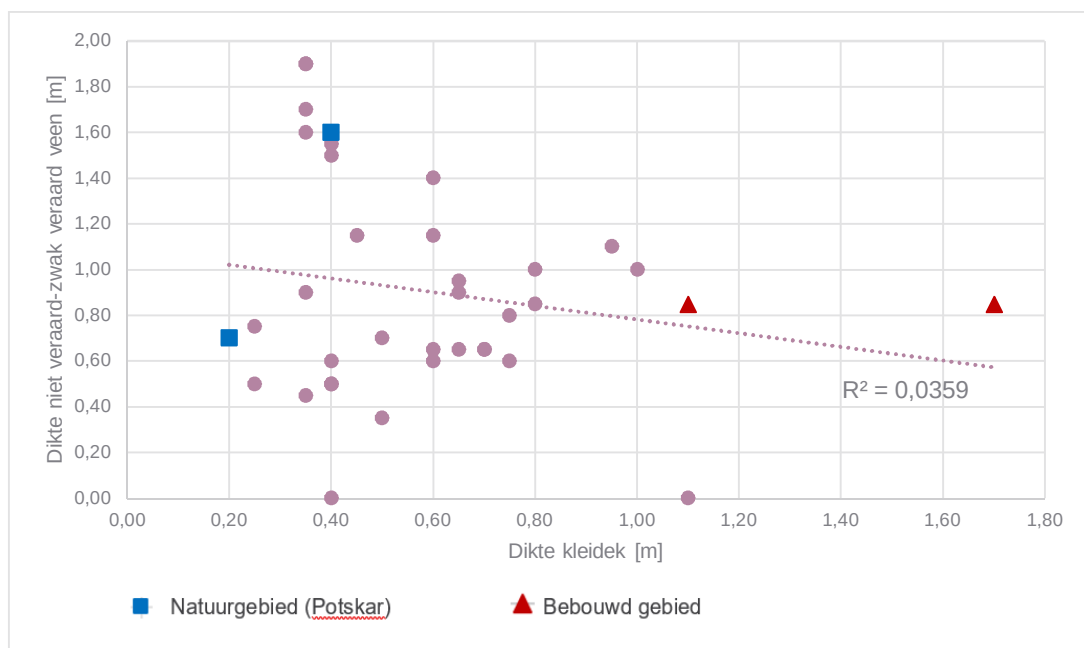


Fig. 4.27. Dikte zwak-, niet-veraard veen in eerste veenlaag ten opzichte van de dikte van het kleidek met aparte weergave van de locaties in natuurgebied en locaties in en nabij bebouwd gebied

4.7 Analyse van de mogelijke beïnvloeding van bodemdaling door veenoxidatie

Beïnvloeding van de grondwaterstand

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 (Hendriks, 1991).

Bij het merendeel van de boringen (34 van de 37) is sprake van de situatie dat de aanwezige zwak veraard veen en niet veraarde veenlagen (meest gevoelige lagen voor veenoxidatie) zich onder het grondwaterniveau bevinden (ten tijde van het veldonderzoek). Deze veenlagen zijn dus meestal met water verzadigd.

Bij drie van de 37 boringen (boring 25, 31 en 34) bevond de grondwaterstand zich in een zwak of niet veraarde veenlaag. Bij deze boringen is sprake van een laag veen van circa 15 tot 20 cm dat in contact kan komen met extra zuurstof. Dit zijn de meest kwetsbare profielen. Dit wil niet zeggen dat deze veenlagen altijd droog staan. Door de sponswerking van het veen en capillaire opstijging kunnen deze veenlagen water bevatten.

Met peilverhogingen kunnen grondwaterstanden worden verhogen, zodat een groter deel van het veenpakket langdurig met water verzadigd blijft en aerobe afbraak wordt voorkomen. De doorlatendheid van de klei- en veenlagen is overwegend als slecht tot zeer slecht beoordeeld (k-waarde: 0,02 tot 0,5 meter per dag). De verwachting is daarom dat als

gevolg van hogere waterpeilen de grondwaterstanden slechts uiterst beperkt zullen stijgen. Met veldproeven zou dit nader kunnen worden onderzocht.

In andere Friese veengebieden is eerder praktijkonderzoek gedaan naar het effect van hogere zomerpeilen op het afremmen van bodemdaling (Van Essen et al. 2011). In het onderzoek zijn zowel veengronden zonder kleidek als veengronden met kleidek onderzocht. De variatie in 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 horizontaal doorlatend veen, of wanneer water kan infiltreren via drains (Van Essen et al. 2011).

Op basis van de resultaten van het uitgevoerde veldonderzoek in Sneekerveer West is van 1965 tot 2019 circa 20 tot 40 cm (+/- 30 cm) bodemdaling opgetreden. Gemiddeld jaarlijks ruwweg 4 tot 7 mm (+/- 6 mm), waarbij verwacht wordt dat de eerste jaren na de peilverhoging de afname groter is geweest als gevolg van zetting. Circa 25 tot 50% van de totale daling wordt ruwweg toegekend aan zettingen door peilverlagingen.

Indien wordt aangenomen dat maximaal 50% van de bodemdaling wordt toegeschreven aan veenoxidatie dan bedraagt de bodemdaling die door veenoxidatie is opgetreden circa 2 tot 3,5 mm (-1 tot +6,5 mm) per jaar.

Wanneer de reductiefactoren op remming van bodemdaling uit de praktijkproeven (Van Essen et al 2011) van 10 tot 40% worden toegepast op Sneekerveer West, en wordt uitgegaan van een resterende bodemdaling van circa 2 tot 3,5 mm/jaar (+/- 6 mm), dan bedraagt de reductie van de bodemdaling door veenoxidatie door verhoging van het zomerpeil circa 0,2 tot 1,4 mm/jaar (-0,4 tot +2,6 mm). Uitgaande van deze waarden bedraagt de totale reductie van de bodemdaling door veenoxidatie circa 1 tot 7 cm (-2 tot +14 cm) in de komende 50 jaar.

Hierbij wordt opgemerkt dat er géén rekening is gehouden met het aandeel krimp van het veen, waardoor het aandeel oxidatie mogelijk kleiner is dan 50%. Ook is de verwachting dat vanwege de slechte doorlatendheid van het bodemprofiel, de mate waarin het veen in het gebied al sterk danwel matig veraard is, en lokaal vochtig is (ondanks langdurige droogte), de reductie van de bodemdaling door veenoxidatie door verhoging van het waterpeil in de bandbreedte eerder naar 1 cm in 50 jaar neigt dan 7 cm in 50 jaar. Uitgaande van een reductie van maximaal 4 cm (gemiddelde van 1 en 7 cm) in 50 jaar bedraagt de jaarlijkse gemiddelde remming van veenoxidatie door peilverhoging ruwweg maximaal 0,8 mm per jaar (-0,4 tot +2,6 mm).

Aanwezigheid en dikte van het kleidek

Bij alle boringen is een kleidek aangetroffen van minimaal 0,20 m dik (natuurgebied) en op de landbouwpercelen minimaal 0,25 m dik. Een kleidek op veen kan de aeratie van het onderliggende veen negatief beïnvloeden en daarmee de afbraak van het veen vertragen. Schothorst (1977) en Hendriks (1993) berekenden dat het maaiveld van een veenpakket zonder kleidek over een periode van 30 jaar 1,5 à 2 maal zo snel zou zakken ten gevolge van afbraak van het veen, als dat van een veenpakket met een kleidek van 30 à 40 cm. Dit

is voor een gedeelte het gevolg van een verminderde aeratie van het veen onder het kleidek (Hendriks, 1993).

De aanwezigheid van een kleidek heeft een grote invloed op de maaiveldddaling. Ten eerste doet het kleidek zelf niet, of in beperkte mate, mee aan de oxidatie van organische stof. Dit hangt in sterke mate samen met het organische stofgehalte van het kleidek. Daarbij geldt ook dat klei de oxidatie van organische stof beperkt (zie paragraaf 4.2). Vaak wordt gesteld dat een 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 niet 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. Bij een dikke afdeklaag die dieper reikt dan de GLG wordt de maaiveldddaling nihil (Rienks et al., 2004).

Met de resultaten van het veldonderzoek is geen statistische (lineaire) relatie gevonden tussen de dikte van het kleidek en de afname van de veendikte. Wel zijn tijdens de profielkuilen scheuren en wormengangen in het kleidek waargenomen. Via deze scheuren en wormengangen kan lucht (zuurstof) in het veen komen. Mede hierdoor is vermoedelijk zowel bij dikkere als dunnere kleidiktes sterk veraard veen onder het kleidek waargenomen. De scheuren en wormengangen in het kleidek zijn belangrijk voor de waterafvoer, het bodemleven en de beworteling.

Ook is voor een groot aantal boringen de structuur van de sterk veraarde veenlaag als matig vast tot vast beoordeeld. Dit geldt vooral voor de profielen met een relatief dikker kleidek. Op deze locaties is het veen als gevolg van zetting (door historische peilverlaging) samengedrukt. Naarmate het veen compacter is, wordt intrusie van zuurstof in het veen bemoeilijkt wat de afbraak afremt.

4.8 Analyse kritische dikte kleidek

Rienks et al. (2004) geven aan dat de bodemdaling bij een dikke afdeklaag (kleidek) op veengrond die tot de GLG reikt nihil is. Op basis van de resultaten van het veldonderzoek is geen statistische (lineaire) relatie gevonden tussen de dikte van het kleidek en de omvang van de bodemdaling en de mate waarin het veen is veraard. Ongeacht de dikte van het kleidek is onder het kleidek veelal sterk veraard veen aangetroffen. Er is op basis van de resultaten van het veldonderzoek derhalve geen kritische kleidikte aan te geven waarbij de bodemdaling door veenoxidatie nihil is.

5 Antwoorden en aanbevelingen

In dit hoofdstuk zijn de antwoorden op de onderzoeksvragen en de aanbevelingen beschreven.

De resultaten en waarnemingen uit het veldonderzoek zijn zowel statistisch beoordeeld, als feitelijk op basis van beschikbare bodemkundige en hydrologische kennis en ervaringen, afkomstig uit eerdere onderzoeken en literatuur. Voor de feitelijke beoordeling is tevens input geleverd door de heer Klaas Kooistra.

5.1 Antwoorden op de onderzoeksvragen

Wat is de omvang van de bodemdaling in het gebied Sneekermeer West in de afgelopen decennia (circa 50 jaar)?

Op basis van de verschillen tussen de maaiveldhoogtes van de DINO-boringen (1965) en gemeten maaiveldhoogtes (2019), de verschillen in laagdiktes van het veen en de laagdikte van het klei- en veenpakket (tot het zand) bedraagt de bodemdaling tussen 1965 en 2019 (periode van 54 jaar) ruwweg circa 20 tot 40 centimeter (+/- 30 cm). De gemiddelde jaarlijkse daling bedraagt in de periode 1965 en 2019 ca. 4 tot 7 mm (+/- 6 mm). Er is sprake van een vrij grote variatie in de omvang van de opgetreden bodemdaling. De resultaten geven een ruwe inschatting. Vanwege het ontbreken van meerjarige detailmetingen van maaiveldhoogtes of bodemdeformatie is de opgetreden bodemdaling niet nauwkeuriger bepaald.

De op basis van het veldonderzoek bepaalde bodemdaling is vergelijkbaar met de gegevens uit de literatuur (circa 2 tot 7 mm per jaar). De vrij grote variatie wordt, naast de onnauwkeurigheid van de gegevens, in ieder geval veroorzaakt door verschillen in dikte van het kleidek, het veenpakket, de dikte van het veen- en kleipakket, drooglegging, grondwaterstanden en (historische) bewerking van de percelen.

Agrariërs uit het gebied geven aan dat direct ná de peilverlagingen van de Ruilverkaveling Sneeker Oudvaart de dalingssnelheid het grootst was en daarna is afgenomen.

Wat zijn de oorzaken van deze bodemdaling?

De opgetreden bodemdaling is veroorzaakt door bodemdalingsprocessen zoals zetting, krimp en oxidatie van veen en bewerking van de percelen. De bodemdaling is deels veroorzaakt door zetting en klink van het veen als gevolg van historische peilverlagingen in het gebied en het landgebruik (belasting door landbouwmachines), en deels als gevolg van krimp en oxidatie van het veen. Hoogteverschillen tussen 1965 en 2019 kunnen ook zijn ontstaan door egalisatie van percelen en door grondbewerking.

Compacte veenlagen in het bodemprofiel duiden op zetting (samendrukking van het veenpakket). In het voorafgaande bureauonderzoek zijn indicatief zettingen van grofweg 10 tot 20 cm berekend als gevolg van peilverlagingen. Aangenomen is dat minimaal 50% van de opgetreden bodemdaling toe te schrijven is aan zetting en klink. De omvang van de opgetreden zetting hangt mede af van uitgangspunten die voor de

samendrukkingsparameters van het veen worden aangehouden. Ook door lokale verschillen in bodemopbouw (dikte van het veen- en kleipakket) en (historische) grondwaterstanden kunnen zettingen, als gevolg van eerdere peilverlagingen, lokaal verschillen.

De aangetroffen sterk veraarde veenlagen en afgenomen dikte van het veen duiden op krimp en oxidatie van veen. Ruwweg 50% van de bodemdaling is toe te schrijven aan veenoxidatie en krimp, dat komt dan neer op 10 tot 20 cm over ruim 50 jaar, dat is ruwweg 2 tot 4 mm per jaar. De exacte verdeling tussen deze processen is aan de hand van het veldonderzoek niet te bepalen.

Welke relaties zijn er aan te geven tussen de opgetreden bodemdaling en de bodemopbouw en bodemeigenschappen, het waterbeheer (drooglegging en drainage) en het grondverbruik?

Met de resultaten van het veldonderzoek zijn statistische analyses uitgevoerd om mogelijke correlatie tussen klei- en/of veendikten, drooglegging, maaiveldhoogte(verschillen) en mate van veraarding van het veen te vinden. De correlatie zegt iets over de eventuele lineaire relatie tussen twee gekozen variabelen. De maat waarin de sterkte van de correlatie wordt uitgedrukt is de correlatiecoëfficiënt (R). Het kwadraat van R (R^2) is gebruikt om aan te geven in welke mate de gemeten en waargenomen waarden passen bij de geschatte lineaire relatie (regressielijn).

Uit alle uitgevoerde statistische analyses is gebleken dat er géén lineaire relatie is tussen de variabelen. Deze conclusie komt overeen met resultaten uit eerdere onderzoeken en literatuur. Hieruit is gebleken dat de mate van bodemdaling door veenoxidatie afhankelijk is van een combinatie van meerdere (tijdsafhankelijke) factoren. Daarnaast draagt de grote variatie in de dikte van klei- en veenlagen in het gebied (heterogeniteit) en de variatie in hydrologische omstandigheden (zoals verschillende waterpeilen) en (historische) groundbewerking bij aan het ontbreken van een eenduidig en jaarrond, lineaire relatie binnen het onderzoeksgebied. Ook een relatie tussen grondverbruik in de vorm van maïsteelt, natuur of bebouwing en de mate van veraarding is in de betreffende onderzoekslocaties niet aangetoond.

Wel heeft het onderzoek feitelijke resultaten en waarnemingen opgeleverd. Op sommige onderzoekslocaties duiden deze wel op een bepaalde relatie tussen de mate van veraarding en andere (lokale) factoren:

- Op twee locaties met een kleidek van >100 cm én drainage is de sterk veraarde veenlaag dikker (30 tot 50 cm) dan in de percelen zónder drainage (0 tot 10 cm). Een mogelijke verklaring hiervoor is dat als gevolg van drainage het veen relatief meer in contact met zuurstof is geweest;
- In de profielkuilen zijn scheuren en wormengangen in het kleidek waargenomen. Via deze scheuren en wormengangen kan zuurstof in het veen komen. Mede hierdoor is vermoedelijk zowel bij dikkere als dunnere kleidiktes sterk veraard veen onder het kleidek waargenomen;
- In de matig veraarde en niet-veraarde veenlagen is lokaal (beperkt) lutum aangetroffen. Indien deze lagen onder invloed van zuurstof komen te staan, is de afbraak lager dan in lagen zónder lutum. De afname van de afbraaksnelheid door

de aanwezigheid van lutum is met het uitgevoerde onderzoek echter niet gekwantificeerd;

- Naarmate het veen compacter is, wordt aanvoer van zuurstof bemoeilijkt wat de afbraak van compacte veenlagen afremt in vergelijking tot veenlagen met een losse structuur. Bij een groot aantal boringen met een kleidek dikker dan 50 cm is de structuur van de sterk veraarde en matig veraarde veenlagen (de bovenste veenlagen) als matig vast tot vast beoordeeld. Op deze locaties wordt de afbraak afgeremd. De afname van de afbraaksnelheid door de mate van compactie van het veen is met het uitgevoerde onderzoek echter niet gekwantificeerd.

Hieruit is geconcludeerd dat ondanks een kleidek van 40 cm of meer, er toch enige mate van bodemdaling door veenoxidatie is opgetreden. Door scheuren en wormengangen in het kleidek dringt zuurstof door naar het veen onder het kleidek. Mede door de mate van veraarding van het veen, de aanwezigheid van lutum in het veen en de compactie van het veen, is de bodemdaling door veenoxidatie naar verwachting beperkt.

Hoe is het proces van bodemdaling door veenoxidatie te beïnvloeden?

Op basis van onderstaande bevindingen verwachten wij dat peilverhoging een beperkt effect zal hebben op de vertraging van de bodemdaling in het onderzoeksgebied.

- In het veld is waargenomen dat bij de huidige waterpeilen ook ná een lange droge periode de laagste grondwaterstanden (GLG) veelal bóven de meest kwetsbare (niet of zwak veraarde) veenlagen blijven;
- In het veld is waargenomen dat het veen bóven de grondwaterstand veelal tot aan de kleilaag vochtig blijft, en het veen in meer of mindere mate is veraard;
- Uit uitgevoerde vergelijkingen van maaiveldhoogtes en diktes van veen- en veen- plus kleilagen is afgeleid dat de bodemdaling, die de afgelopen 50 jaar is opgetreden, beperkt van omvang is (grofweg 20-40 cm) en veroorzaakt is door een combinatie van verschillende processen;
- Circa 10 tot 20 cm van bodemdaling over de laatste 50 jaar lijkt toe te kunnen worden geschreven aan veenoxidatie (ruwweg 2 tot 4 mm/jaar);
- Op basis van de matig tot slechte doorlatendheid van de klei- en veenlagen in het gebied wordt verwacht dat peilverhogingen maar beperkt effect zullen hebben op de grondwaterstand in de zomer.

Onze inschatting is dat het vertragend effect van hogere waterpeilen op het afremmen van de bodemdaling door veenoxidatie minder dan 1 mm/jaar zal zijn.

Is er een kritische dikte van het kleidek aan te geven waarboven het proces van veenoxidatie/bodemdaling niet of nauwelijks speelt?

Op basis van dit onderzoek kan geen kritische dikte van het kleidek worden aangegeven waarboven het proces van veenoxidatie niet of nauwelijks speelt. Bij profielen met een relatief dik kleidek (>0,60 m) zijn onder het kleidek sterk veraarde veenlagen aangetroffen. De mate van veraardig is van meer factoren afhankelijk dan alleen de kleidikte.

5.2 Aanbevelingen

Op basis van de resultaten en conclusies van het onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan.

1) *Monitoring grondwaterstanden*

Met dit onderzoek zijn slechts eenmalig de grondwaterstanden opgenomen in een relatief extreme periode (langdurig droge periode). De grondwaterstanden in dit rapport zijn gebaseerd op een momentopname. Ook bleek het bij het merendeel van de boringen lastig om de GLG goed in te schatten. Aanbevolen wordt om verspreid over het gebied enkele peilbuizen te plaatsen in de gebieden met naar verhouding relatief het meeste zwak- en niet-veraarde veen. De grondwaterstanden dienen voor een langere periode te worden gemonitord, zodat bijvoorbeeld ook de eventuele effecten van klimaatverandering zichtbaar worden gemaakt.

2) *Voorkomen verlaging van de toekomstige grondwaterstanden in de zomerperiode in het gebied door activiteiten in de omgeving of autonome ontwikkeling*

Sterk bepalend voor de toekomstige bodemdaling door veenoxidatie is de GLG. Voorkomen dient te worden dat deze in de toekomst (structureel) daalt, waardoor matig, zwak en niet-veraarde veenlagen droogvallen. Aanbevolen wordt om bij mogelijke toekomstige ontwikkelingen in de omgeving vooraf de effecten op de GLG te onderzoeken. Tevens wordt aanbevolen om de effecten van klimaatverandering op de GLG inzichtelijk te maken.

3) *Minimaliseer de grondbewerking, beperk de bewerkingsdiepte en belasting*

Aanbevolen wordt de grondbewerkingen op de percelen te minimaliseren en de diepte te beperken tot maximaal 10 centimeter boven het veen. Hiermee wordt voorkomen dat tijdelijk extra zuurstof de bodem in kan treden en versnelde afbraak van veen plaats kan vinden. Tevens wordt aanbevolen waar mogelijk de belasting op de percelen met een relatief dunner kleidek te minimaliseren zodat zettingen worden beperkt. Een voorbeeld is het gebruik maken van een sleepslang voor het uitrijden van drijfmest. Bovengenoemde maatregelen zijn veelal al de huidige landbouwpraktijk, waardoor dit naar verwachting geen of weinig inspanning vraagt.

4) *Onderzoek mogelijkheden voor maatwerk in de vorm van 'grondwatergestuurd' peilbeheer*

Met name voor de gebieden waar dicht onder het kleidek niet of zwak veraard veen voorkomt is het van belang het veen nat te houden, en niet bloot te stellen aan zuurstof of andere factoren die oxidatie kunnen versnellen. Daarnaast zijn er mogelijk andere overwegingen om uitdroging van het klei- en veenpakket te beperken, namelijk het verminderen van landbouwschade door droogte en muizen, of waar relevant verbetering van de omstandigheden voor weidevogels. Om deze redenen wordt aanbevolen onderzoek te doen naar mogelijkheden voor maatwerk in het peilbeheer, met differentiatie van peilen, zowel ruimtelijk als in de tijd (in tegenstelling tot het grootschalig instellen van vaste hogere peilen) en naar mogelijkheden voor alternatief landgebruik en -bewerking. Ten aanzien van het peilbeheer wordt geadviseerd om de peilen hoog te houden wanneer dit kan (zonder negatieve effecten op de landbouw) en laag als het moet (om wateroverlast te voorkomen).

Geraadpleegde bronnen

Akker, Jan van den; Hendriks, Rob; Delft, Bas van, 2017.

De organische veenbasis : afbraakprocessen in relatie tot hydrologie, Driebergen : VBNE, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren - 102

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-UR (Alterra-rapport 2556) Wageningen

Dodewaard, van, E. 1966. De bodemgesteldheid van het ruilverkavelingsgebied Boornbergum, Stichting voor Bodemkartering Wageningen, Bennekom

Hendriks, R.F.A., 1991. Afbraak en mineralisatie van veen : literatuuronderzoek, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Brouns, K. ; Verhoeven, J.T.A., 2013. Afbraak van veen in veenweidegebieden: effecten van zomerdroogte, verbrakking en landgebruik, Programmabureau Klimaat voor Ruimte, Utrecht,

Essen, Van E.A., J. van Berkum, A. Roelandse, 2011. Evaluatie effecten proeven met hogere zomerpeilen, Aequator Groen & Ruimte bv, Dronten

Akker, A.M. van den, 1969. De bodemgesteldheid van een complex gronden nabij Sijbrandabuursterszijl (gem. Rauwerderhem), Wageningen, Stiboka

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.

E. Stouthamer, H.J.A. Berendsen, J. Peeters & M.T.I.J. Bouman
Uitgave februari, Toelichting Bodemkaart Veengebieden provincie Utrecht, schaal 1:25.000, Uitgave februari 2008

Sanneke van Asselen, Gilles Erkens, Esther Stouthamer, Hessel A.G. Woolderink, Rebecca E.E. Geeraert c, Mariet M. Hefting, 2018. The relative contribution of peat compaction and oxidation to subsidence in built-up areas in the Rhine-Meuse delta, The Netherlands, Article in Science of The Total Environment 636:177-191, April 2018

Bijlage 1 Situatietekening onderzoekslocaties

Bijlage 2 Factsheets onderzoekslocaties

Bijlage 3 Grondwaterstanden

Bijlage 4 Resultaten profielkuilen

Bijlage 5 Laaggegevens boringen

Bijlage 6 Schematische weergave boringen veldonderzoek

Bijlage 7 Schematische weergave boringen veldonderzoek en
DINO-boringen