

50 jaar maaiveldddaling van veengrasland

Ruim vijf decennia (1968-2024) meten op 29 locaties

G. Bakema, R. Hessel, J.J.H. Van den Akker, H.T.L. Massop



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



50 jaar maaiveldddaling van veengrasland

Ruim vijf decennia (1968-2024) meten op 29 locaties

G. Bakema, R. Hessel, J.J.H. Van den Akker, H.T.L. Massop

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur, in het kader van Kennis Basis programma 34: Circulair and Climate Neutral Society, Project KB-34-002-028 (Peat areas in new circular and climate positive production systems).

Wageningen Environmental Research
Wageningen, maart 2025

Gereviewd door:
Martin Knotters, functie (organisatie)

Akkoord voor publicatie:
Mirjam Hack-ten Broeke, team bodem, water en landgebruik

Rapport 3420
ISSN 1566-7197

Een van de meest gevreesde gevolgen van diep ontwateren van veengronden is het toenemen van de maaiveldddaling. Gedurende 50 jaar zijn op 29 locaties in Nederland de daling van het maaiveld en de daling van de diverse bodemlagen met behulp van zakplaten gemeten. In dit onderzoek is de focus gelegd op de langjarige irreversibele bodemdaling. Dit betekent dat alleen de dataset met de voorjaarsmetingen is geanalyseerd. De gemiddelde maaiveldddalingssnelheid van alle locaties over de periode 1970-2020 bedraagt 7 mm/jaar. Er is een grote spreiding rond dit gemiddelde: zo wordt in Hoenkoop slecht 2 mm/jaar gemeten en aan de andere kant in Spannenburg en Assendelft meer dan 17 mm/jaar. Er is een duidelijk relatie tussen het gemeten slootpeil en de maaiveldddalingssnelheid. Opvallend is dat ook bij hoge slootpeilen (< 30 cm -mv) nog aanzienlijke maaiveldddalingen worden gemeten. Door een vergelijking te maken van de bijdrage van de diverse bodemlagen aan de maaiveldddaling wordt duidelijk dat ca. 2/3 van de daling plaatsvindt in de lagen waar zuurstof kan doordringen. In die lagen zijn oxidatie en gedeeltelijk krimp de belangrijkste processen. In de lagen die altijd verzadigd zijn, treedt nog altijd 1/3 van de maaiveldddaling op, deels veroorzaakt door consolidatie en deels door kruip.

One of the most feared consequences of deeper drainage of peat soils is the increase in surface level subsidence. Over a period of 50 years, the land subsidence and soil layer profile were measured using subsidence plates at 29 locations in the Netherlands. In this study, the focus was on long-term irreversible land subsidence. This means that only the dataset with the spring measurements has been analyzed. The average surface level subsidence rate of all locations over 1970-2020 is 7 mm/year. There is a large spread around this average, for example, only 2 mm/year is measured in Hoenkoop and on the other hand more than 17 mm/year in Spannenburg and Assendelft. There is a clear relationship between the measured ditch level and the surface level subsidence rate. It is striking that even at high ditch levels (< 30 cm bls), significant surface level subsidence is still measured. By comparing the contribution of the various soil layers to the subsidence of the surface, it becomes clear that about 2/3 of the subsidence takes place in the layers where oxygen can penetrate (< 80 cm bls). In those layers, oxidation and partial shrinkage are the most important processes. In the layers that are always saturated 1/3 of the ground level subsidence still occurs. Partly caused by consolidation and partly by creep.

Trefwoorden: Bodemdaling, veenoxidatie, waterbeheer, maaiveldsdaling, zakplaatjes

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/687528> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2025 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een kwaliteitsmanagementsysteem volgens de ISO 9001. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd volgens de norm ISO 14001. Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3420 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Veenweidegebied rond Aldeboarn (Fr.) (Guido Bakema)

Inhoud

Verantwoording	5
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
1.1 Aanleiding	13
1.2 Doel van het langlopende onderzoek	14
1.3 Leeswijzer	15
2 Veenlandschappen voor de peilverlaging	16
2.1 Ontginningsgeschiedenis	16
2.2 Topografie voor 1960	18
2.3 Bodemdalingsmetingen van voor 1960	19
3 Meetlocaties	21
3.1 Inleiding	21
3.2 Bleskensgraaf	23
3.3 Polder Hoenkoop	25
3.4 Zegvelderbroek (Zegveld)	27
3.5 Assendelft	30
3.6 Oldemarkt en Spannenburg	32
3.7 Oldelamer	37
4 Geohydrologie	39
4.1 Inleiding	39
4.2 Bleskensgraaf	39
4.3 Hoenkoop (Lopikerwaard)	41
4.4 Zegveld	43
4.5 Assendelft	46
4.6 Oldemarkt	48
4.7 Spannenburg	50
4.8 Polder Oldelamer	52
5 Meetmethode	55
5.1 Bodembeweging en bodemdaling	55
5.2 Metingen	55
5.3 Grondwaterstanden en slootpeilen	57
5.4 Meetfrequentie	57
6 Data en data-analyse	59
6.1 Exploratieve analyse	59
6.1.1 Bleskensgraaf	61
6.1.2 Hoenkoop	64
6.1.3 Zegveld	67
6.1.4 Assendelft	80
6.1.5 Oldemarkt	82
6.1.6 Spannenburg	85
6.1.7 Oldelamer	87

6.2	Statistische analyse	89
6.2.1	Bodembeweging	89
6.2.2	Maaiveldalingssnelheid	90
6.2.3	Bodemdalingsprocessen	91
7	Resultaten en discussie	93
7.1	Betrouwbaarheid data	93
7.2	Maaiveldalingssnelheid	94
7.2.1	Gemiddelde maaiveldalingssnelheid	94
7.2.2	Factoren van invloed op maaiveldalingssnelheid	96
7.2.3	Maaiveldalingssnelheid in de tijd	100
7.2.4	Bodemdalingsprocessen	105
8	Conclusies en aanbevelingen	107
8.1	Conclusies	107
8.2	Aanbevelingen	109
	Literatuur	111

Verantwoording

Rapport: 3420

Projectnummer: 5200047890 KB-programma 34 Circular and Climate Neutral Society,
Project KB-34-002-028 (Peat areas in new circular and climate positive production systems).

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Onderzoeker

naam: Martin Knotters

datum: 27-02-2025

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Mirjam Hack-ten Broeke

datum: 28-2-2025

Woord vooraf

In het kader van een project uit de jaren zeventig van de vorige eeuw 'Zakking van veengronden door diepe ontwatering' is op zeven locaties in Nederland de daling van het maaiveld en op zeven verschillende niveaus in het bodemprofiel gemeten. De eerste metingen dateren uit 1969 en betreffen locaties met aanmerkelijke verlaging van hoge polderpeilen. Het aantal meetpunten en het aantal locaties zijn vanaf het begin van de jaren zeventig uitgebreid.

Aan dit onderzoek hebben meerdere generaties onderzoekers gewerkt. Het verzamelen van de meetgegevens over een dergelijke lange periode is uitgevoerd onder directe verantwoordelijkheid van achtereenvolgens de heren C.J. Schothorst, L. Havinga, D. Hettinga, W.B. Verhaegh, J. Beuving, O. Boersma, M. Pleijter, J. van Kleef, W.J.M. de Groot, H.T.L. Massop en P. Gerritsen.

De basis van dit rapport is gelegd in 2001 door J. Beuving en J.J.H. van den Akker. In 2025 is door G. Bakema, R. Hessel, H.T.L. Massop en J.J.H. van den Akker de dataset geactualiseerd, een nieuwe analyse gemaakt en een nieuw rapport geschreven.

Samenvatting

In de jaren zestig van de vorige eeuw dreigde de veehouderij in het veenweidegebied in financiële moeilijkheden te komen. Het structureel ontbreken van de mogelijkheid om de veehouderij te intensiveren, was de hoofdoorzaak. De stijgende arbeidskosten werden in de landbouw opgevangen door te mechaniseren en te intensiveren. De hoge gebruiksintensiteit van het grasland stelt echter op deze moeilijk bewerkbare gronden hogere eisen aan de draagkracht. Dit maakte het wenselijk om het grasland te exploiteren onder vrijwel alle weersomstandigheden. Een diepere ontwatering werd noodzakelijk geacht.

Een van de meest gevreesde gevolgen van dieper ontwateren, was het toenemen van de maaiveld daling bij veengrond. In het kader van het eind jaren zestig gestarte project 'Zakking van veengronden door diepe ontwatering' is op zeven locaties in Nederland zakking van het maaiveld gemeten en ook de zakking van zeven verschillende niveaus in het bodemprofiel met behulp van zakplaten. De eerste metingen dateren uit 1969 en betreffen locaties met aanmerkelijke verlaging van hoge polderpeilen (Assendelft, Bleskensgraaf, Hoenkoop, Oldelamer en Zegveld). Het aantal meetpunten en het aantal locaties zijn vanaf het begin van de jaren zeventig uitgebreid (Spannenburg en Oldemarkt en Zegveld). In totaal is er op 29 locaties gemeten, met meetperiodes van 10 tot 45 jaar. De locatie Zegveld is de enige waar in 2025 nog wordt gemeten. Wel zijn er in het kader van het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV) op een aantal nieuwe locaties zakplaatjes geïnstalleerd.

In dit onderzoek is de focus gelegd op de langjarige irreversibele bodemdaling. Dit betekent dat alleen de dataset met de voorjaarsmetingen is geanalyseerd. De daling van het maaiveld en de zakplaatjes wordt geanalyseerd door te kijken naar de jaar-op-jaar veranderingen van de maaiveld- en de zakplaatjeshoogtes, i.e. de dalingsnelheid. In dit onderzoek zijn de meetdata met name gebruikt om een vergelijking te maken tussen de diverse locaties.

De belangrijkste conclusies zijn:

Meetmethode is betrouwbaar over een langere periode

Het meten van het maaiveld met behulp van acht waterpassingen per locatie is een eenvoudige methode die weinig foutgevoelig is. De omrekening van waterpasgegevens naar NAP-hoogte vindt plaats met behulp van een vast punt dat echter op een aantal locaties minder stabiel bleek te zijn. De zakplaatjes die op diverse dieptes zijn geplaatst, geven een betrouwbaar beeld van de bijdrage van de diverse bodemlagen aan de maaiveld daling. Wel zijn er bij de metingen van de zakplaatjes meer onregelmatigheden te zien dan bij de waterpasmetingen en zijn ze op een aantal locaties vervangen.

Dataverwerking consistent over lange periode

De metingen werden in het begin van de meetserie handmatig genoteerd en vastgelegd in documenten. Later werden deze overgezet in spreadsheets en daarna werden ze weer overgezet in spreadsheets met een ander format. Dit maakt het systeem kwetsbaar voor fouten. Een visuele beoordeling en een statistische vergelijking van de meetreeksen (Pearson-analyse) geven aan dat er geen vreemde sprongen in de meetreeksen zitten en dat de dataverwerking, ondanks de zeer lange meetperiode, betrouwbaar lijkt.

Omstandigheden wijzigen in 50 jaar

Vijftig jaar is een zeer lange meetperiode en maakt het mogelijk langjarige trends te ontdekken. Aan de andere kant zijn lange meetperiodes ook lastig, omdat het vrijwel onmogelijk is de omstandigheden te fixeren. In die periode zijn de klimatologische omstandigheden gewijzigd, waardoor er hogere bodemtemperaturen zijn en er meer neerslag in herfst en winter is. Maar nog belangrijker is dat er op de diverse locaties ingrepen zijn gedaan. Deze onzekerheid over de omstandigheden en de invloed daarvan op de maaiveld daling betekent dat er enige mate van terughoudendheid moet zijn voor het trekken van conclusies over oorzaak en gevolg van de maaiveld daling.

Maaivelddalingssnelheid over 1970-2020 gemiddelde 7 mm/jaar

De gemiddelde maaivelddalingssnelheid van alle locaties over de periode 1970-2020 bedraagt 7 mm/jaar. Er is een grote spreiding rond dit gemiddelde; zo wordt in Hoenkoop slecht 2 mm/jaar gemeten en aan de andere kant in Spannenburg en Assendelft meer dan 17 mm/jaar. Historisch onderzoek geeft aan dat er de afgelopen eeuwen ook voordat de ontwatering in Nederland eind jaren zestig sterk werd verlaagd al een permanente bodemdaling was tussen de 1,3 en 2,0 mm/jaar. Dit betekent dat oxidatie- en consolidatieprocessen in het veen altijd aanwezig zijn geweest ondanks de hoge grondwaterstanden de afgelopen eeuwen.

Maaivelddalingssnelheid vermindert de laatste twee decennia

De maaivelddalingssnelheden zoals gemeten per decennium laten zien dat de daling afneemt van ca. 9 mm/jaar in de jaren zeventig naar ca. 5 mm/j in de periode 2010-2020. De afname wordt niet veroorzaakt door de vermindering van de drooglegging. Deze blijkt echter voor de meeste locaties niet sterk veranderd. De afname in maaivelddaling moet meer gezocht worden in de toename van de veraarding van het veen in de bovenste 50 cm zoals recente boringen laten zien. Wellicht speelt ook mee dat het veen in de winter meer wordt vernat doordat er in die periode meer neerslag valt dan in vergelijking met de jaren zeventig. Aan de andere kant zou de verhoging van de bodemtemperaturen juist voor een versnelling van het oxidatieproces moeten leiden.

Verskil in maaivelddalingssnelheid sterk bepaald door grondwaterstand (slootpeil)

Er is een duidelijke relatie tussen het gemeten slootpeil en de maaivelddalingssnelheid wanneer de diverse meetlocaties worden vergeleken. Opvallend is dat ook bij hoge slootpeilen (< 30 cm -mv) (met name) in Zegveld nog een aanzienlijke maaivelddaling wordt gemeten. Gemiddeld is de daling van het maaiveld 1,3% ($\pm 0,2\%$) van het verschil tussen het slootpeil en het maaiveld. Een vergelijking tussen locaties met en zonder kleidek (< 40 cm) laat geen duidelijk verschil zien in de relatie tussen slootpeil en maaivelddalingssnelheid.

Maaivelddalingssnelheid mogelijk ook beïnvloed door veentype

In het onderzoek zijn zowel eutrofe, mesotrofe als oligotrofe venen meegenomen. Het algemene beeld geeft aan dat bij toename van de trofiegraad ook de maaivelddalingssnelheid toeneemt. Dit wordt deels onderschreven door recent onderzoek waarin het belang van de botanische samenstelling van veengebieden bij het voorspellen van afbraak- en maaivelddalingssnelheden wordt benadrukt.

Maaivelddaling 2/3 door oxidatie en 1/3 compactie bepaald

Door een vergelijking te maken van de bijdrage van de diverse bodemlagen aan de maaivelddaling wordt duidelijk dat ca. 2/3 van de daling plaatsvindt in de lagen waar zuurstof kan doordringen. In die lagen zijn oxidatie en gedeeltelijk krimp de belangrijkste processen. In de lagen die altijd verzadigd zijn, treedt nog altijd 1/3 van de maaivelddaling op, deels veroorzaakt door consolidatie en deels door kruip. Mogelijk dat in het verzadigde deel ook nog anoxische veenafbraak plaatsvindt, maar dit is moeilijk aan te tonen zonder aanvullend lokaal bodemkundig onderzoek.

Aanvullend onderzoek wenselijk

In dit rapport zijn de meetdata met name gebruikt om een vergelijking te maken tussen de diverse locaties. Het zou interessant zijn om een detailanalyse te maken van de individuele locatie om een nog beter beeld te krijgen van de onderliggende processen. De volgende vervolgonderzoeken zouden daarnaast interessant kunnen zijn.

Invloed hoge winterpeilen op maaivelddaling

Het huidige onderzoek naar het beperken van maaivelddaling wordt sterk gericht op het verhogen van de grondwaterstanden in de zomer. Echter, op basis van eerder onderzoek zijn ook hoge winterpeilen erg belangrijk om het in de zomer ingedroogde veen weer voldoende mogelijkheid te geven te vernatten in de winter. Nader onderzoek naar de invloed van vernatting van veen in de winter op de permanente maaivelddaling is wenselijk.

Invloed veentype en veendikte op maaivelddaling

In dit onderzoek wordt een verband gezien tussen maaivelddaling en veentype. Waarschijnlijk speelt de trofiegraad hier een rol in. Dit wordt deels bevestigd door recent wetenschappelijk onderzoek. Voor het inschatten/berekenen van toekomstige bodemdaling is het belangrijk om dit verder uit te zoeken, omdat nu in bodemdalingsmodellen veelal één oxidatiesnelheid voor alle veentypes wordt gebruikt.

Herijking Van den Akker-relaties

In dit onderzoek is een breed pallet aan locaties onderzocht waarmee een relatie tussen slootpeil en maaivelddaling wordt berekend die beperkt vergelijkbaar is met de Van den Akker-relaties. Belangrijk verschil is dat de data in dit onderzoek geen duidelijk verschil vinden tussen locaties met en zonder kleidek (< 40 cm). Mogelijk zijn de bovenste lagen de afgelopen decennia zodanig van structuur veranderd (o.a. veraarding) dat er nu andere relaties zijn tussen deklaag en bodemdaling. Omdat de Van den Akker-relaties in vrijwel alle bodemdalingsmodellen worden gebruikt, is herijking van die relatie, mede op basis van de data uit dit onderzoek, wenselijk.

Maaivelddaling bij hoge grondwaterstanden in de zomer

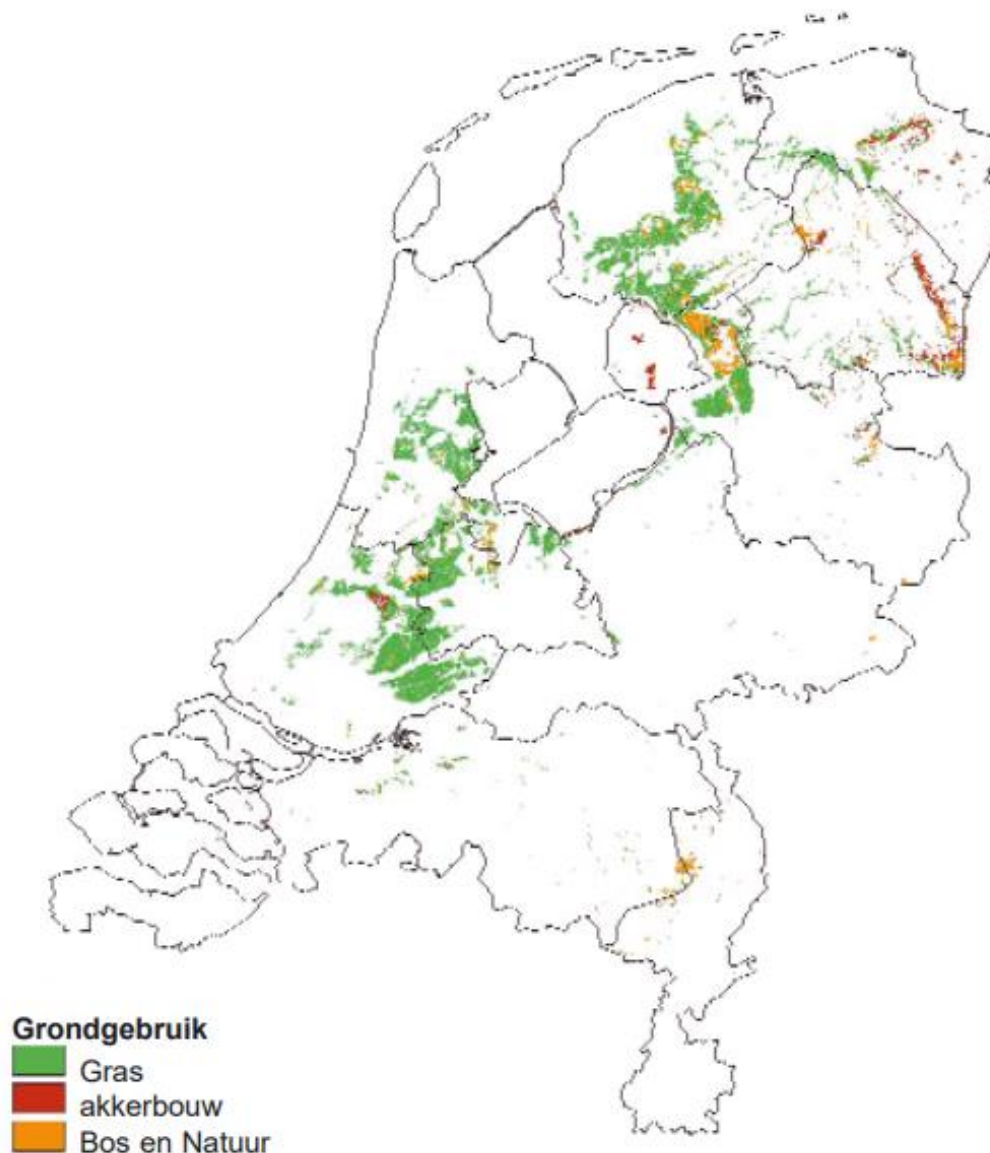
Op de locatie Zegveld is er een aantal locaties met een hoog slootpeil (< 30 cm). Ook bij deze slootpeilen treedt nog aanzienlijke maaivelddaling op. Mogelijk wordt dit veroorzaakt doordat grondwaterstanden in de zomer diep uitzakken. Dit geeft aan dat ook bij hoge grondwaterstanden het proces van bodemdaling nog steeds continueert en dat het volledig stoppen van het proces onmogelijk lijkt. Dit moet ook meegenomen worden in de overwegingen of het zinvol is om de grondwaterstanden extreem te verhogen (< 20 cm -mv), ook vanwege het sterk nadelige effect op de methaanemissie.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Tot aan het eind van de jaren vijftig van de vorige eeuw waren de belangen in het veenweidegebied (Figuur 1) verdeeld in vaarbedrijven, rijbedrijven of de combinaties van varen en rijden binnen één bedrijf. De ene boer moest voldoende water in de sloot hebben om te kunnen varen en de andere voldoende drooglegging om te kunnen rijden. Bij de opstreckende verkaveling waren afgelegen percelen alleen varend te bereiken. Aanvragen voor ruilverkavelingen door gemeente- en polderbesturen en landbouworganisaties om te komen tot een betere ontsluiting en bemaling dateerden van voor 1945. In de jaren zestig dreigde de veehouderij in het veenweidegebied in financiële moeilijkheden te geraken door het niet kunnen aanpassen van de productieomstandigheden. Het structureel ontbreken van de mogelijkheid om de veehouderij te intensiveren, was de hoofdoorzaak. De stijgende arbeidskosten werden in de landbouw opgevangen door te mechaniseren en te intensiveren. De hoge gebruiksintensiteit van het grasland stelt echter op deze moeilijk bewerkbare gronden hogere eisen aan de draagkracht van de zodelaag om te kunnen weiden en rijden (Beuving en Van Den Akker, 1996). De uitbreiding van de veestapel bij de zwaardere stikstofbemesting en noodzakelijke mechanisatie maakten het nodig dat het grasland is te exploiteren onder vrijwel alle weersomstandigheden. Een diepere ontwatering werd noodzakelijk geacht.

Een van de meest gevreesde gevolgen van dieper ontwateren was bij veengrond het toenemen van de maaivelddaling (Schothorst, 1967). Hierdoor kunnen polders met inzigging in de loop van de tijd veranderen in kwelgebieden of de kwel in polders versterken. Op palen gefundeerde gebouwen en infrastructuur blijven op hoogte en komen hoger ten opzichte van hun omgeving te liggen. De verbinding met niet of slechter gefundeerde delen van de bebouwing of infrastructuur wordt daarbij verbroken. Door de voortdurende peilverlagingen en daarmee samenhangende verlagingen van de grondwaterstand klinkt de grond rondom de funderingspalen in en gaat aan de palen hangen (negatieve kleef), waardoor overbelasting dreigt. Een groot gevaar bij houten funderingspalen en -constructies is dat deze boven het grondwaterpeil komen te liggen en gaan rotten. Door de maaivelddalingen en vertering van het veen verandert het landschap. Flora en fauna passen zich hierop aan en daarbij verdwijnen elementen die mogelijk nergens worden behouden. Bij de vertering van veen ontstaan broeikasgassen zoals CO₂ en NO₂ en komt het CH₄, dat in het veen bij anaërobe processen is ontstaan, vrij. De CO₂-productie door afbraak van veen in Nederland is ongeveer 2-3% van de jaarlijkse CO₂-emissie van Nederland (Chan en Van den Akker, 2022).



Figuur 1 De veenweidegebieden in Nederland (groen) (Rienks en Gerritsen, 2005).

1.2 Doel van het langlopende onderzoek

Het brede spectrum aan problemen die oxidatie en maaiveldddaling met zich meebrengen, is van belang voor alle niveaus van publiek bestuur. Waterbeheerders, natuurbeheerders en beheerders en eigenaren van gebouwen, infrastructuur en grond hebben een zeer direct belang bij een goede, vooral kwantitatieve inschatting van het probleem. Het doel van dit onderzoek is:

- Een basis voor verdere onderzoek naar maaiveldddaling en een database waarmee modellen voor de berekening van maaiveldddaling en/of afbraak van veen kunnen worden getoetst;
- Het controleren en beoordelen van de tijdreeksen van 50 jaar maaiveldddaling;
- Het bepalen van de belangrijkste trends ten aanzien van maaiveldddaling en de bijdragen van diverse processen hieraan.

1.3 Leeswijzer

Het rapport is opgebouwd uit een viertal delen. Het eerste deel geeft een algemene beschrijving van bodemdaling door de eeuwen heen en de metingen die gedaan zijn (hoofdstuk 2). Het tweede deel geeft een beschrijving van de zeven objecten en de diverse meetlocaties. Hierbij wordt gekeken naar de topografisch en landbouwkundige situatie van voor het plaatsen van de zakplaatjes (hoofdstuk 3) en de bodemopbouw, diepe ondergrond en de geohydrologische situatie (hoofdstuk 4). Het derde deel bestaat uit een beschrijving van de meetmethode (hoofdstuk 5) en de wijze waarop de data zijn beoordeeld en geanalyseerd. Ten slotte worden de data geanalyseerd in het vierde deel (hoofdstuk 7) en worden conclusies getrokken (hoofdstuk 8). (De onderliggende data zijn ook als apart DOI opgeslagen: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14960800>.)

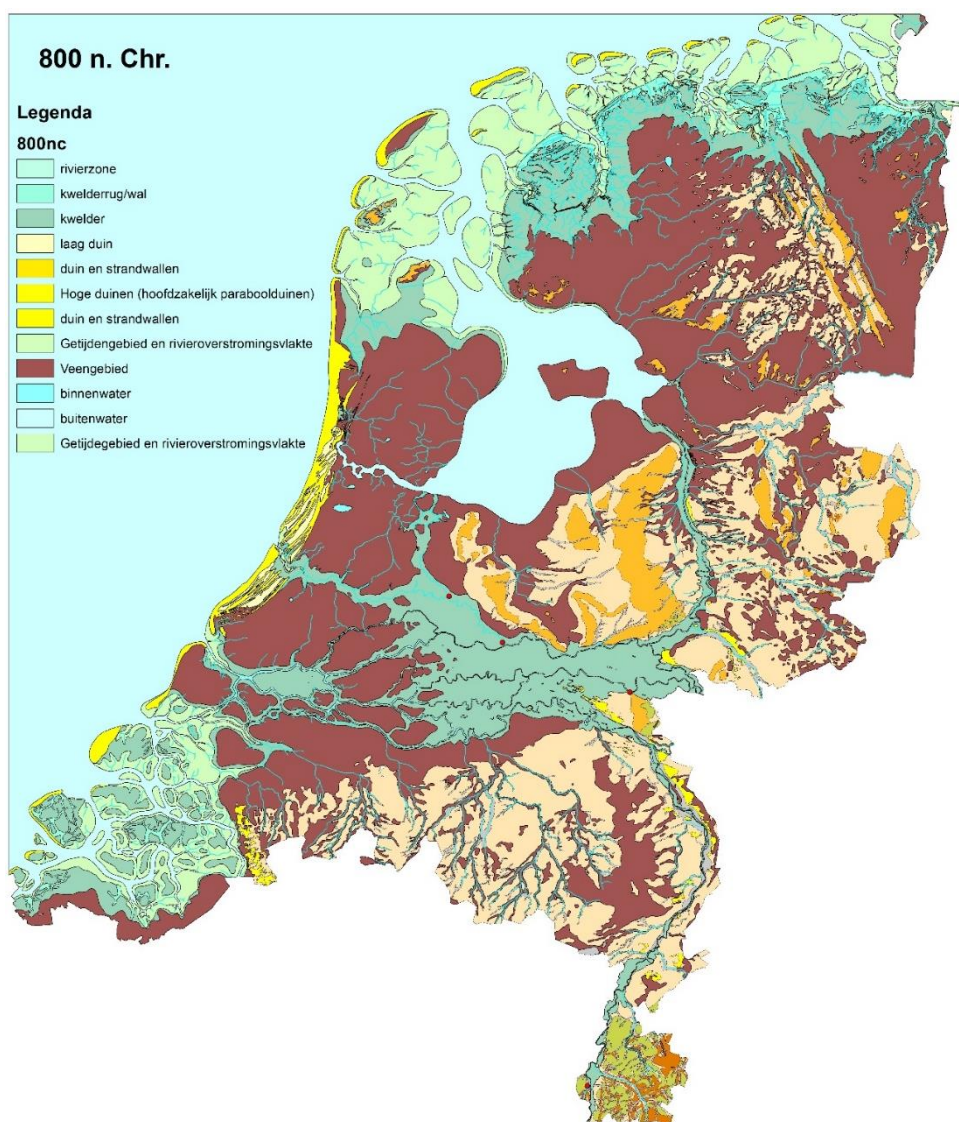
2 Veenlandschappen voor de peilverlaging

2.1 Ontginningsgeschiedenis

Maaiveldddaling van veengronden begon direct na het ontginnen en ontwateren van het veen ca. 1000 jaar geleden. Maaiveldddaling door de peilverlaging vanaf eind jaren zestig moet dan ook in haar historische context worden beschouwd. In dit hoofdstuk staat een beschrijving van de ontginningsgeschiedenis en het waterbeheer en landgebruik van voor de jaren zestig.

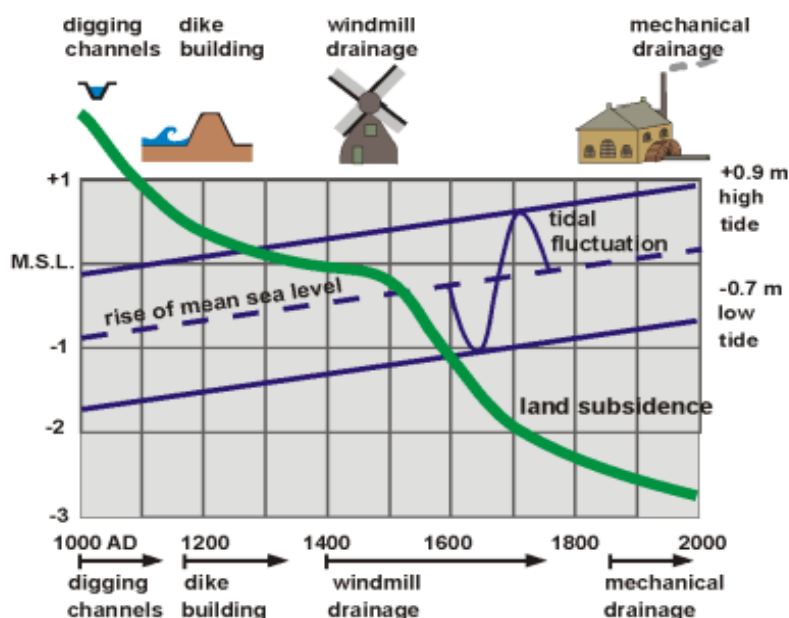
Westelijk veenweidegebied

Het achter de strandwallen gelegen veengebied strekte zich in oostelijke richting uit tot aan het Gooi en de Utrechtse Heuvelrug (Borger, 1977). Het landschap bestond uit oeverwallen, kommen, kleiafzettingen op bosveen, eutrofe en mesotrofe veenvlakten en oligotrofe veenruggen (De Bont, 1991). In Figuur 2 is de veenverspreiding in 800 na Christus weergegeven.



Figuur 2 Paleogeografische kaart van Nederland voor 800 na Christus met veenbedekking (Deltares/TNO 2022).

In de negende eeuw was bewoning op het veen vanaf de kust tot de Utrechtse Heuvelrug weer mogelijk. Grotere en kleinere veenstromen hebben bij de ontginning een belangrijke functie gehad voor de afwatering en de ontsluiting. Vanaf de hoogste gedeelten – de strandwallen langs de kustlijn, zandopduikingen (donken) en stroomruggen en oeverwallen van de rivieren – begonnen de ontginning en de verkaveling. Tegen het einde van de tiende eeuw werden dijken aangelegd langs de Lek, de Linge, de Waal en de Merwede (Fockema Andreae, 1950). Daarna beginnen in de elfde eeuw de systematische ontginningen vanaf de hogere gedeelten in het veen. De klei-op-veengronden werden in de loop van de twaalfde eeuw ontgonnen. Gezagdragers sloten met groepen ontginners overeenkomsten, 'cope' (Van der Linden, 1981) genaamd, waarbij een stuk 'Wildernis' alsnog als niet ontgonnen land werd uitgegeven. Zij vormden een waterstaatkundige eenheid met dijkjes en in de Lopikerwaard is Hoenkoop nog aan het toponiem 'cope' te herkennen. De patronen van dergelijke nederzettingen zijn strookvormig en rechthoekig. De ontginningsdiepte van de kavels bedraagt ca. 1250 m met een breedte van ca. 114 m. Van de cope-ontginningen is in delen van de Alblasserwaard weinig te herkennen. De verkaveling is hier opstrekkend zonder de voor cope-ontginningen kenmerkende eindgrens. Tegen het einde van de dertiende eeuw werden kleine partiële bedijkingen samengevoegd en in een groter verband beheerd. De Graafstroom is gegraven in het verlengde van de bovenstroom van de Alblas. Dit valt nog af te lezen op de topografische kaart. De lintbebouwing langs de gehele Graafstroom tussen Alblasserdam en Ottoland geeft aan dat dit een ontginningsbasis is geweest in de Alblasserwaard.



Figuur 3 Schets van de continue daling van het maaiveld en stijging van de zeespiegel gedurende de afgelopen 1000 jaar; lag 1000 jaar geleden het maaiveld nog gemiddeld 2.5 m boven het zeeniveau, momenteel ligt het land 2.5 m onder het zeeniveau (Berendsen, 2000).

De bij de ontginning in het ontwateringsysteem opgenomen veenstromen werden in de twaalfde tot veertiende eeuw afgedamd, de nu nog meest voor zich sprekende namen zijn de Amstel, de Rotte en de Alblas. Naast de waterkering is ook de waterlozing een oud vraagstuk. Door 'inklinking' van bedijkte veengronden door krimp, oxidatie en klink als gevolg van ontwateren en door het stijgen van de buitenwaterstanden werd de lozing op de rivieren steeds moeilijker (Figuur 3). Op de ontgonnen veengronden werd aanvankelijk veel koren verbouwd. In de veertiende eeuw neemt de wateroverlast steeds meer toe en werd het bouwland in grasland omgezet (Steur, 1978).

Sinds de ontginning is het cultuurlandschap in de veenweidegebieden nauwelijks veranderd. Volgens Van Doorn (1940) worden na de afdamming van de Hollandse IJssel in 1285 de waterschappen (hoogheemraadschappen) wel belangrijker, maar de polders ontwikkelen zich met de komst van de molens rond 1490. De komst van molens hangt ongetwijfeld samen met de grote vraag naar turf als brandstof. Vrijwel al het oligotroof veenmosveen en het daaronder of daarnaast gelegen mesotroof zeggeveen zijn

geheel of gedeeltelijk afgegraven voor turfwinning. Hieruit zijn, naast de vele plassen en de latere droogmakerijen op de naar het westen hellende ondergrond, ook moerige gronden en zandgronden ontstaan (Gottschalk, 1956). Het slibrijk eutroof bosveen en de klei op (bos)veengronden zijn niet geschikt voor brandstof en zijn als bovenveen blijven liggen. Deze vormen de huidige veenweidegebieden. Om de ontwatering te verbeteren, zijn weteringen gegraven en sloten verbreed. In 1546 is in het Zegveldbroek de Slimmenwetering gegraven, nodig voor het verbeteren van de molenbemaling vanaf 1534 op de Grecht.

Veengebieden in Overijssel en Friesland

In de dunbevolkte gebieden in Friesland en Overijssel is de ontwikkeling minder snel verlopen. Pas in de twaalfde en dertiende eeuw nam de bevolking in deze streken toe. Bij de ontginning van de laag gelegen veengebieden diende een waterloop veelal als uitgangsbasis. Het veen bestond voor een groot gedeelte uit veenmosveen of zeggeveen door het ontbreken van riviertjes met voedselrijk water. Het bovenste veen (veenmosveen) werd afgegraven en als brandstof gebruikt. Na het ontdekken van de manier om veen onder water te winnen, werd omstreeks 1400 veen een handelsartikel. Veengebieden werden via waterwegen ontsloten en veel van het veenmosveen en een deel van het zeggeveen werd als turf afgevoerd. Na de stormvloed van 1775 en 1776 kwam abrupt een einde aan de turfwinning in de kop van Overijssel. Veel verveners zetten hun natte vervening voort in Friesland. Het land dat in de middeleeuwen tot grasland was ontgonnen, werd voor de turfwinning op de schop genomen. De verveningen zijn tot 1819 vrij geweest. Grote gebieden zijn eerst uitgeveend en als woest moerassig land achtergebleven. Na het droogleggen van de plassen kon de vervening op grote schaal worden voortgezet. Later is men met inpolderen en ontginnen begonnen. De oudste bedijkingen in dit gebied dateren waarschijnlijk uit de dertiende eeuw (Rienks en Walther, 1954). De dijken ten westen van Kuinre en noordelijk langs de Linde dateren uit deze periode. Het gebied ten oosten van Kuinre en ten zuiden van de Linde bleef nog onbedijkt boezemland.

2.2 Topografie voor 1960

De topografie in het verleden is van invloed geweest op zakkingsprocessen, omdat de bereikbaarheid, de gebruiksintensiteit en de peilbeheersing nauw met elkaar samenhangen. De dorpen en/of belangrijke lintbebouwingen waren voor 1940 ontsloten door verharde wegen over dijken en kaden aan te leggen. Enkele dwarsverbindingen waren her en der tot stand gekomen. In de veengebieden werd transport van en naar de bedrijven en binnen de bedrijven vrijwel overal over water uitgevoerd. Een groot areaal landbouwgrond bleef tot in de vijftiger jaren alleen bereikbaar te voet of met de boot. Om met de boot te kunnen varen, werden hoge slootpeilen gehandhaafd en beweegbare bruggen in stand gehouden. De vaarsloten werden bevaarbaar gehouden door in het najaar met de baggerbeugel de bagger te verwijderen.

De polderpeilen van vrijwel al het veengrasland worden begin zestiger jaren te hoog bevonden voor de dan geldende eisen van landbouwkundig gebruik. Daarnaast waren veel gemalen te oud en hadden ze onvoldoende capaciteit om het teveel aan water tijdig af te voeren. Het grasland kwam in het Lagebroek bij Zegveld de laatste 100 jaar nauwelijks boven het slootpeil uit (Beuving en Van den Akker, 1996). In andere veenweidegebieden is de situatie niet anders geweest. Op particulier initiatief werden molentjes geplaatst om het land wat droger te houden. Op de topografische kaart (blad 31D, 1957), worden alleen al in het Noorder Lagebroek dertien windmolens geteld. In de polders rond Assendelft stonden zoveel molentjes dat het de bijnaam kreeg van 'de polder met de duizend molens'. Soms werd alleen een greppel onderbemalen of werd van een of meerdere percelen het polderpeil in perceel sloten tot 0,20 m verlaagd door onder te bemalen.

Bij de hoge slootpeilen zakte het veen ook. Voor de peilbeheersing werd soms na moeizaam overleg een peilverlaging van 1 cm per twee jaar aangehouden. Wanneer de maaiveld daling binnen een peilniveau grote verschillen vertoonde, ontstonden over de peil aanpassingen tussen de belanghebbenden meningsverschillen. Grote oppervlakten lagen in één peilvak waarin de hoger gelegen gronden meer water in de sloot moesten houden om te kunnen varen en lageregelegen gronden waren niet te gebruiken wanneer deze nauwelijks boven het slootpeil uitkwamen. Tot in de vijftiger jaren was het gebruikelijk de zomerpeilen 0,20 m hoger af te stellen dan de winterpeilen. Tijdens de hooibouw werden de greppels in lage poldergedeelten afgedamd om het water vanuit de sloot van het land te houden. Het tot 0,20 m lager bemalen met molentjes leidde soms tot maaiveld daling onder het polderpeil van laaggelegen poldergedeelten.

2.3 Bodemdalingsmetingen van voor 1960

Bodemdaling is een proces dat al eeuwen gaande is (Figuur 3) en waarvan globaal bekend is hoe die zich heeft ontwikkeld (Erkens et al., 2016; Van Asselen et al., 2018). Metingen aan bodemdaling van voor 1960 zijn beperkt. Schothorst (1977) heeft op basis van data in de Zegvelderpolder onderzocht hoe de bodemdaling zich vanaf 1870 heeft ontwikkeld. Delen van de analyse van Schothorst zijn hier integraal (cursief) weergegeven.

De laagveengronden in de oude polders van West-Nederland werden ontgonnen in een periode tussen de 9^e en 14^e eeuw. Onder invloed van ontwatering en landbouw begon het veen te dalen. Eerder moet de hoogte van het bodem(veen)oppervlak gelijk aan of iets boven de gemiddelde zeespiegel zijn geweest. Bij eb kon dan overtollig water worden afgevoerd door middel van sluizen in zee of in rivieren. Dit systeem van lozing was mogelijk tot het begin van de 16^e eeuw, toen het oppervlak zo ver was gezakt dat overtollig water kunstmatig moest worden afgevoerd door middel van windmolens. Dit bleef zo tot ongeveer 1870, toen stoomgemalen de windmolens begonnen te vervangen. Hoewel er door de eeuwen heen alleen ondiepe drainage werd toegepast, zakte het maaiveld toch tot ca. -2 m NAP over een periode van 8-10 eeuwen.

Vanwege de lage ligging van deze veengronden worden ze voornamelijk gebruikt als weiland. Nadat stoomgemalen vanaf 1870 het waterpeil in de winter begonnen te regelen, werd het proces van bodemdaling versneld. Details van dit proces kunnen worden gevolgd uit de gegevens van de polder Zegveldbroek ten westen van Utrecht. De bodem bestaat daar uit 7 m eutroof bosrietveen. In 1873 werd een stoomgemaal gebouwd en in gebruik genomen. Op dat moment was het waterpeil in de polder 1,60 m en het landoppervlak 1,50 m onder gemiddeld zeeniveau. Volgens de beschikbare gegevens is het waterpeil sindsdien herhaaldelijk gedaald. Dit leidde tot bodemdaling, zoals te zien is in Figuur 4. In de periode 1877-1965 daalde het waterpeil in de polder met 0,5 m. In dezelfde periode zakte het oppervlak evenveel. De bodemdaling bedroeg 6 mm per jaar ondanks de zeer ondiepe drainage van slechts 0,10- 0,20 m onder het oppervlak.

Voordat drainage in de winter mogelijk werd gemaakt door een stoomgemaal, bedroeg de totale bodemdaling in het verleden ten minste 1,50 m, ervan uitgaande dat de beginhoogte gelijk was aan of iets boven zeeniveau lag. Volgens historische bronnen werd de polder Zegveldbroek drooggelegd rond 1000 na Chr. De bodemdaling gedurende de daaropvolgende negen eeuwen bedroeg dus 1.7 mm per jaar. Na de invoering van waterbeheersing in de winter versnelde de bodemdaling van 1.7 naar 6 mm per jaar.

Belangrijke conclusie uit de analyse van Schothorst is dat de bodemdaling ook voor de grootschalige ingrepen eind jaren zestig al behoorlijk is versterkt door eerdere ingrepen in het watersysteem.

Waarschijnlijk zullen die ingrepen per gebied hebben gevarieerd en daarmee ook variatie in bodemdalingssnelheden hebben opgeleverd. Een andere constatering is de sterke invloed van een verlaagd winterpeil op de bodemdaling. Dit komt doordat het in de zomer door krimp sterk verdroogde veen onvoldoende werd vernat in de daarop volgende winter waardoor de krimp permanent werd.

Schothorst (1977) rapporteert ook nog over een experiment uit 1952 waarbij de waterstand 40 cm is verlaagd. Opvallend aan die resultaten is de snelle bodemdaling in de eerste paar jaar nadat de peilen zijn verlaagd, vermoedelijk veroorzaakt door de sterke krimp van het ontwaterde veen.

Meer gedetailleerde gegevens zijn verkregen van een proefveld dat in 1952 is aangelegd voor waterbeheersing in de polder Zegveldbroek. Door middel van een intensief systeem van drainage met een onderlinge afstand van 5 m werden grondwaterstandniveaus variërend van 0,30 tot 0,70 m onder het oppervlak gehandhaafd. Na afloop van het experiment in 1962 was het gemiddelde waterpeil in de sloten 2,60 m onder gemiddeld zeeniveau (O.D.). Het slootwaterpeil vóór 1952 was 2,20 m - O.D. of 0,30 m onder het oppervlak. De daling van het slootwaterpeil met 0,40 m over een periode van 20 jaar resulteerde in een totale maaiveldddaling van 23,5 cm. In de eerste twee jaar verliep de bodemdaling zeer snel, 44% van het totaal voor de periode van 20 jaar. Daarna na dit af tot 7 mm per jaar, wat gelijk is aan de bodemdaling van de hele polder.

TABLE I

Elevations of peat surface and ditchwater level during the past century in the polder Zegveldderbroek, with mean sea level as reference point

	Elevation below mean sea level (m — O.D.) *		
	soil surface	ditchwater level	
1877	—1.50	—1.60	lowered to: —1.68
1907		—1.68	—1.71
1925		—1.86	—1.94
1943	—1.80	—1.94	1 cm per 2 years
1965	—2.05	—2.10	—2.35
1969 **	—2.10	—2.35	—2.85
1975 **	—2.20	—2.85	

* O.D. = Ordnance Datum.

** concerns experimental fields for drainage.

Figuur 4 Verandering maaiveldhoogte en slootpeil 1877-1975 Zegveldderbroek (Schothorst, 1977).

3 Meetlocaties

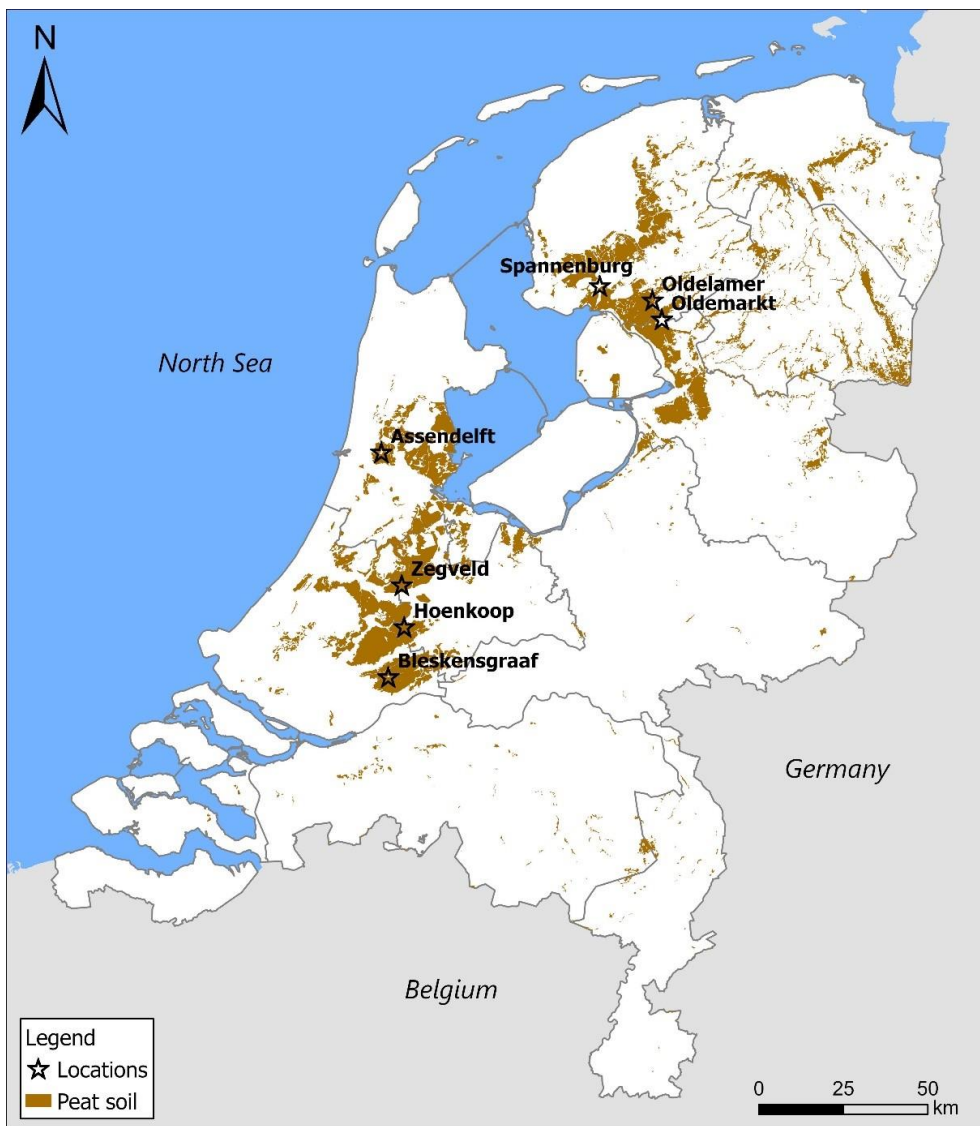
3.1 Inleiding

Vijf objecten (Assendelft, Bleskensgraaf, Hoenkoop, Oldelamer en Zegveld) zijn als proefveld opgezet om de invloed van peilverlaging op de productieomstandigheden te bestuderen. Onder productieomstandigheden worden niet alleen grasgroei, maar ook de mogelijkheden voor rijden en weiden en de lengte van de gebruiksperiode verstaan. In de jaren zeventig zijn de objecten Spannenburg en Oldemarkt aan het onderzoek toegevoegd. Deze hadden in eerste instantie tot doel het bestuderen van verdrogingverschijnselen door peilverlaging en hoe deze door groundbewerking konden worden bestreden. In totaal zijn er 29 locaties ingericht.

Figuur 5 geeft de verdeling van de locaties van de proefobjecten over het veenweidegebied weer. Tussen haakjes staan de jaren waarin de waarnemingen zijn begonnen. Van zuid naar noord zijn het (onderstreept de naamgeving die in dit rapport wordt gebruikt):

- In de Alblasserwaard de polder **Bleskensgraaf** met drie plekken op drie percelen vanaf 1969 en 1972 tot aan 2015 (meetperiode 45 jaar);
- In de Lopikerwaard de polder **Hoenkoop** met drie plekken op drie percelen vanaf 1969 en 1972 tot aan 2015 (meetperiode 45 jaar);
- Tussen Nieuwkoop en **Zegveld** de polder Zegvelderbroek met zeven plekken op zes percelen vanaf 1969, 1972, 1974 en 1976; na de aanleg van infiltratiedrains in 2004, 2005 en 2008 uitgebreid met vijf locaties; een aantal locaties wordt ook in 2024 nog gemeten (meetperiode 45 tot 55 jaar);
- Bij **Assendelft** in de Buitenkaaik (Zuiderpolder) twee plekken op twee percelen vanaf 1975 tot aan 2018 (meetperiode 33 jaar);
- Bij **Spannenburg** in de polder De Twaalf Voeten twee plekken op één perceel vanaf 1978 tot aan 1998 (meetperiode 20 jaar);
- Bij **Oldemarkt** in Het Markerbroek drie plekken op één perceel vanaf 1977 tot aan 1984 (meetperiode 7 jaar);
- Bij Wolvega in de polder **Oldelamer** twee plekken op twee percelen vanaf 1992 tot aan 2004 (meetperiode 12 jaar).

De verschillende locaties zijn kort beschreven op basis van gegevens die bekend zijn ten aanzien van de locatie, landgebruik en polderpeilen. De polderpeilen zijn de afgelopen decennia jaar sterk gedaald (Tabel 1) met een gemiddelde van 12 mm over de gehele meetperiode. De meetperiode beslaat ook gedeeltelijk de periode voor 1969 en geeft aan dat ook daarvoor al aanzienlijke verlagingen van het polderpeil zijn doorgevoerd. Bij de verdere analyse zijn niet de polderpeilen gebruikt, maar de metingen van slootpeilen op de locaties.



Figuur 5 Zeven polders met proefplekken verspreid over het veenweidegebied in West- en Noord-Nederland waar de daling van het maaiveld gedurende vijf decennia is gemeten.

Tabel 1 Verlaging van de polderpeilen de afgelopen 80-50 jaar.

Locatie	Meetperiode	Verlaging polderpeil (cm)	Verlaging polderpeil (mm/jaar)
Bleskensgraaf	1964-2017	33	6
Hoenkoop	1952-2017	80	12
Assendelft	1949-2017	80	11
Zegveld	1937-2017	88	11
Oldemarkt	1957-2018	45	7
Spannenburg	1969-2018	49	25
Oldelamer	1951-2017	70	10
Gemiddeld			12

3.2 Bleskensgraaf

Polder Bleskensgraaf ligt ter weerszijden van de Graafstroom bij het dorp Bleskensgraaf in de Alblasserwaard. De opstreckende kavels aan de noordzijde waren ca. 1800 m lang en al eeuwenlang in gebruik bij boeren die aan de Graafstroom woonden. De kavels reikten tot de kade langs een water met de naam 'Grote of Achterwaterschap'. Later werd een verharde ontsluiting achter de boerderijen aangebracht. De topografische kaart van 1934 (kaartblad 38W) geeft in dit gebied een Voor- en een Achterwetering aan. De Voorwetering ligt vrijwel langs de verharde weg en de Achterwetering ca. 300 m landinwaarts. De weteringen zijn gegraven voor een betere ontwatering en hebben ongetwijfeld dienst gedaan als vaarwater. Op de kaart worden over de Achterwetering vaste bruggen aangegeven. Varen tot aan de boerderij was mogelijk door het kruisen van het vaarwater en de weg door een zogeheten heul. In de 'Ruilverkaveling Alblasserwaard' (1965/1987) is de ontsluiting van dit gebied verbeterd door een verharde weg dwars door de kavels met insteekwegen aan te leggen. Langs deze wegen zijn sloten gegraven waarin de perceelssloten uitstromen. Sindsdien zijn de polderpeilen bijgehouden welke in 54 jaar 0,29 m naar beneden zijn bijgesteld, zoals weergegeven:

1964	polderpeil 1,92 m -NAP
1969	vlakke percelen, maaiveld ca. 1,60 m -NAP
1972	polderpeil 1,99 m -NAP
1992	zomerpeil 2,03 m -NAP, winterpeil 2,20 m -NAP
1998	zomerpeil 2,15 m -NAP, winterpeil 2,25 m -NAP (plan)
2018	zomerpeil 2.21 m - NAP, winterpeil 2.31 m - NAP

In 1969 is op een bedrijf van 40 ha een proefveld aangelegd om de invloed van dieper ontwateren op de bedrijfsvoering te bestuderen (Figuur 7) (Schothorst en Hettinga, 1972). Naast maaiveldhoogtemetingen worden in 1969 op twee percelen met peilverlaging zakplaten in het profiel aangebracht om de zakking van lagen in het profiel te meten.

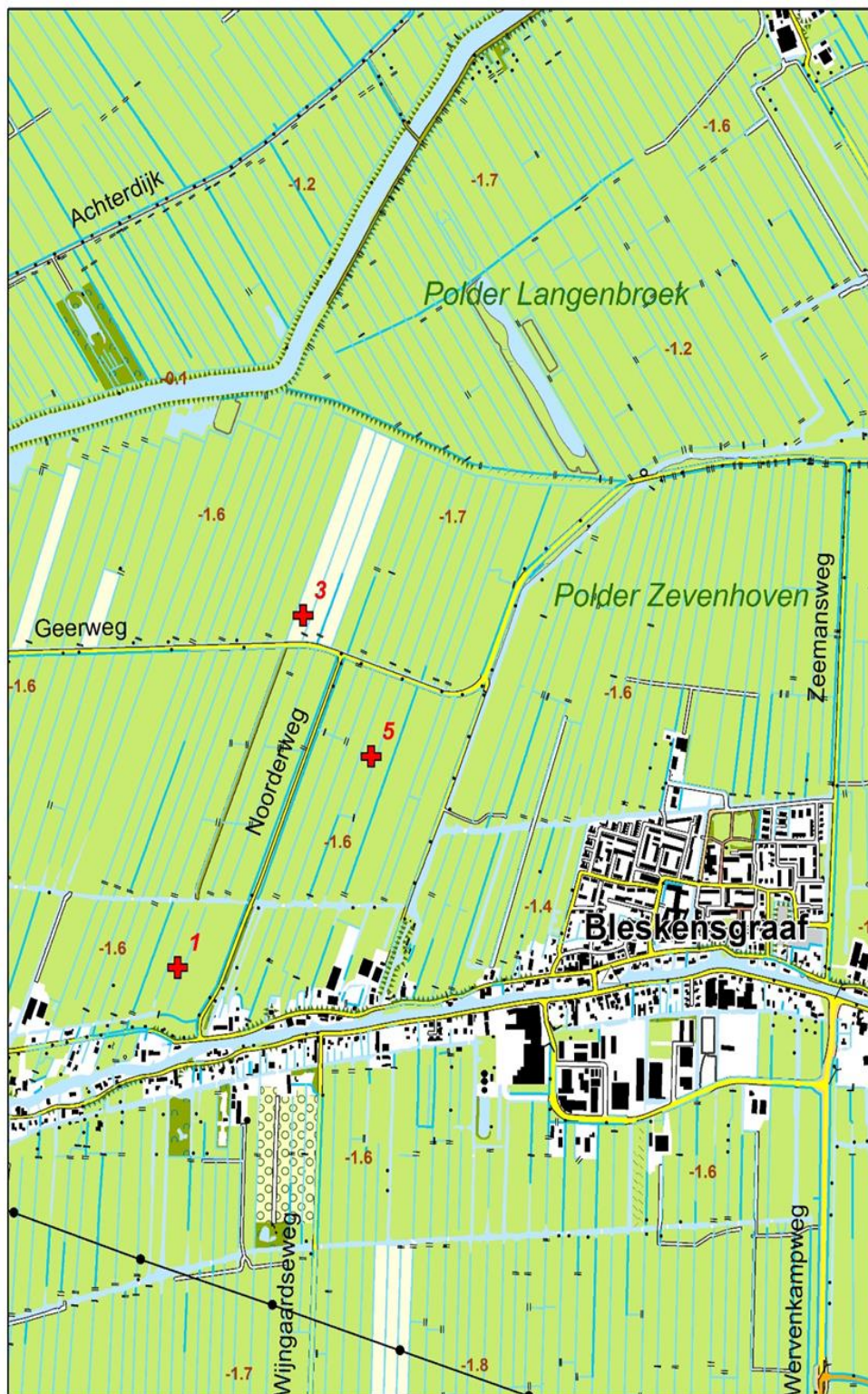
- **Plek 1** ligt op een perceel in een aaneengesloten gedeelte van 6,5 ha dat winter en zomer wordt onderbemalen tot 1,00 m -mv. Vanaf 1998 lijkt dit te zijn losgelaten en liggen de sloten op polderpeil.
- **Plek 3** ligt op een gedeelte van 9,5 ha dat winter en zomer wordt onderbemalen tot 0,40 m -mv. Een sloot met polderpeil kruist de percelen op het laatste gedeelte, gemeten is op een aaneengesloten gedeelte van 4,0 ha.
- **Plek 5** werd in 1972 toegevoegd; een proefplek met polderpeil (0,40 m. -mv) op een perceel van 1,5 ha buiten het proefveld aan de metingen toegevoegd. Tabel 2 geeft een overzicht van de meetlocaties, aantal zakplaatjes en meetperiode.



Figuur 6 Meetlocatie Bleskensgraaf rond 1960 (topotijdreis.nl).

Tabel 2 Meetlocaties Alblasserwaard (Bleskensgraaf).

Naam	nummer	Aantal zakplaatjes	Begin metingen	Einde metingen	x-coor	y-coor
Bleskensgraaf	5	7	1973	2015	112560.0	432090.0
Bleskensgraaf	1	7	1970	2011	112020.0	431550.0
Bleskensgraaf	3	7	1970	2014	112370.0	432450.0



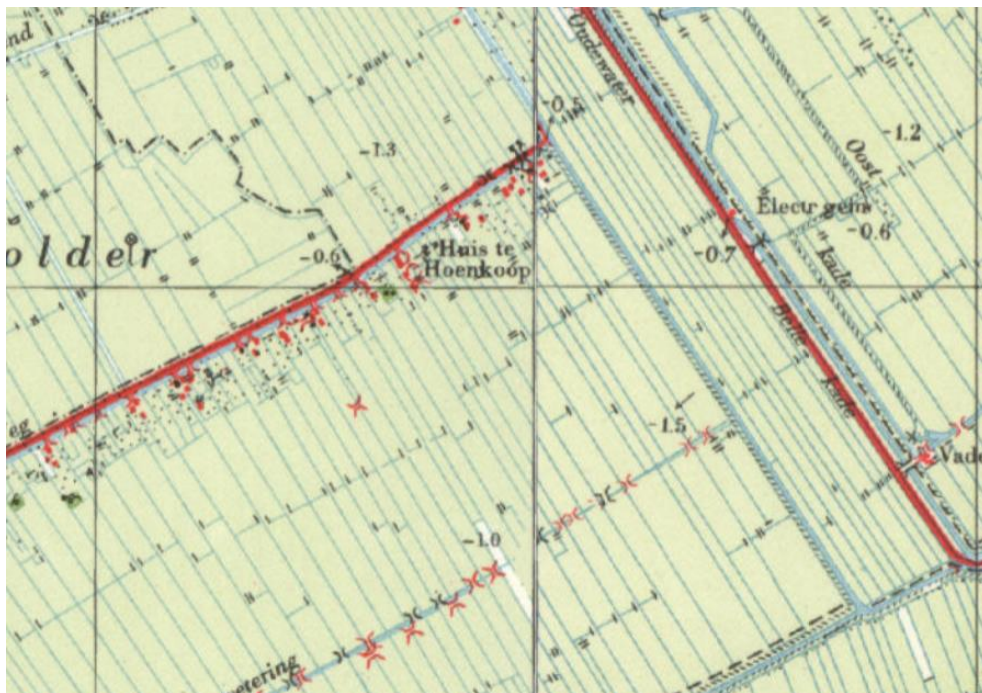
Figuur 7 Meetlocaties Bleskensgraaf, locatie 1, 3 en 5.

3.3 Polder Hoenkoop

In de polder Hoenkoop, topografische kaart (kaartblad 38 O & W, 1934), liggen de opstreckende kavels tussen de lintbebouwing (aan de Hoenkoopsebuurtweg) van Hoenkoop en de Benschopper Molenvliet (Figuur 8).

De Achterwetering snijdt de kavels doormidden in voor en achter deze wetering. Landbouwkundig komt de polder Hoenkoop sterk overeen met de polder Bleskensgraaf. De bebouwing staat op de kavels en de 'Voorwetering' ligt aan de verharde weg. Op de kaart worden ook hier over de Achterwetering vaste bruggen aangegeven. De kavelsloten, direct bereikbaar vanaf de bedrijfsgebouwen, zijn belangrijk geweest als vaarwater. De peilbeheersing in de polder is voor en tijdens het onderzoek als volgt samen te vatten:

1952	zomerpeil 1,78 m -NAP
1964	zomerpeil 1,90 m -NAP, winterpeil 2,10 m -NAP
1969	vlakke percelen, maaiveld ca. 1,60 m -NAP
1973	zomerpeil 1,95 m -NAP, winterpeil 2,15 m -NAP
1990	zomerpeil 2,10 m -NAP, winterpeil 2,20 m -NAP
1996	zomerpeil 2,10 m -NAP, winterpeil 2,15 m -NAP
1997	zomerpeil 2,15 m -NAP, winterpeil 2,20 m -NAP
2017	Plek B en D: zomerpeil 2,5 m -NAP en winterpeil 2.6 m -NAP; Plek E: zomerpeil 2.22 m -NAP en winterpeil 2.32 m -NAP



Figuur 8 Meetlocatie Hoenkoop rond 1960 (Topotijdreis.nl).

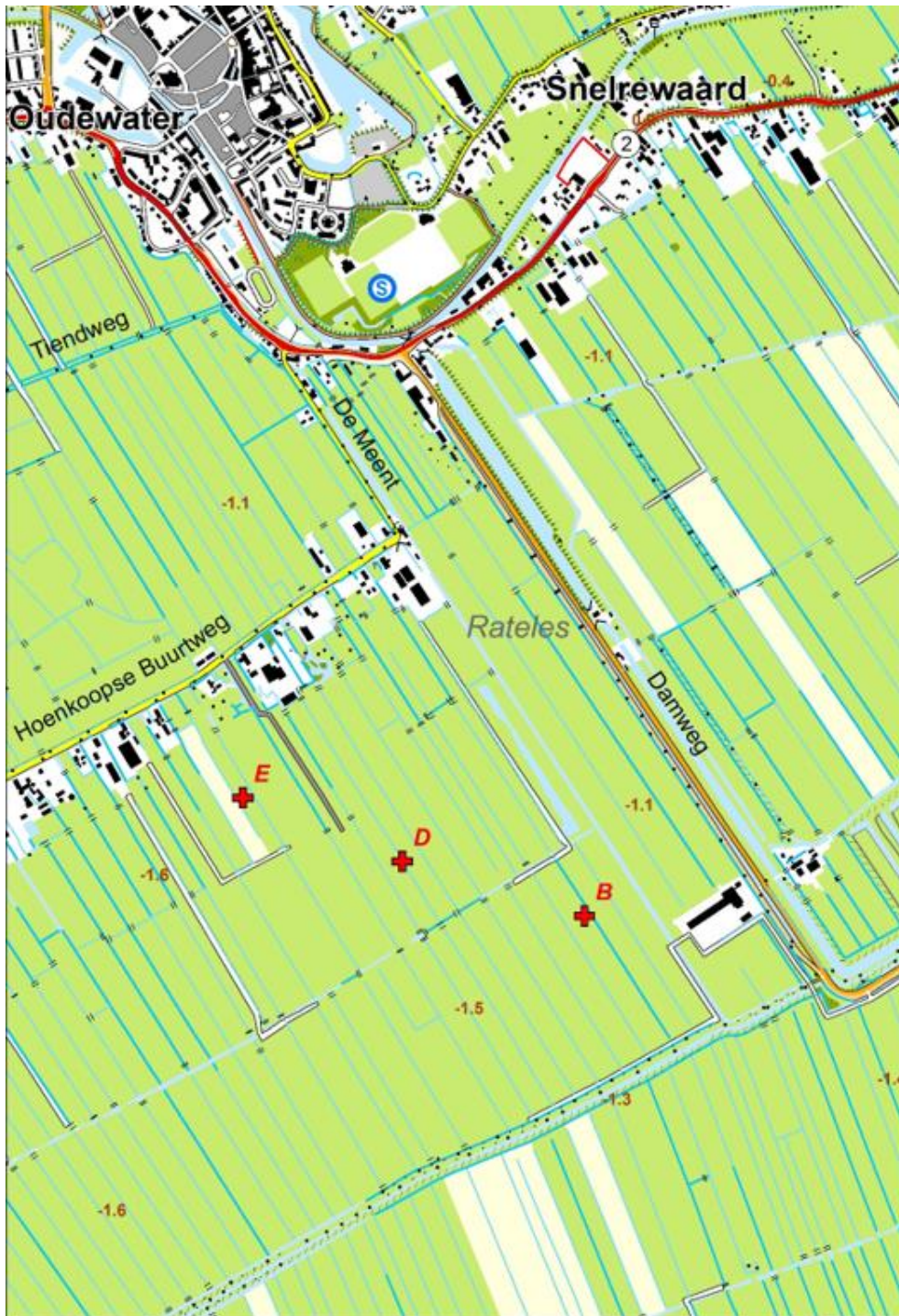
Door de Studiegroep Lopikerwaard, de subgroep 'Bodem en Water', is in deze polder in 1968 bij vier boeren een aaneengesloten proefveld van 60 ha aangelegd met peilverlaging door sloten onder te bemalen (Figuur 9). Achter de bedrijfsgebouwen een blok van 15 ha (A) met een constant peil van 0,70 m -mv.

- **Blok D.** Een blok van 20 ha (D) met een zomerpeil van 0,40- en een winterpeil van 1,00 m -mv.
- **Blok B.** Voorbij de Achterwetering een blok van 10 ha (B) met een constant peil van 1,00 m -mv en een blok van 15 ha (C) met een zomerpeil van 0,40- en een winterpeil van 1,00 m -mv. Binnen de blokken B & D is op een perceel een proefplek met zakplaten ingericht en vanaf 1969 zijn de hoogten van maaiveld en zakplaten in het profiel gemeten.
- **Blok E.** In 1973 zijn de metingen uitgebreid met een proefplek E op een perceel van 1,5 ha met een polderpeil van 0,40 m -mv buiten het proefveld.

Tabel 3 geeft een overzicht van de meetlocaties, aantal zakplaatjes en meetperiode.

Tabel 3 Meetlocaties polder Hoenkoop.

Naam	nummer	Aantal zakplaatjes	Begin metingen	Einde metingen	x-coor	y-coor
Hoenkoop	B	7	1969	2015	120427.0	446512.0
Hoenkoop	D	7	1969	2015	120030.0	446630.0
Hoenkoop	E	7	1973	2008	119680.0	446770.0



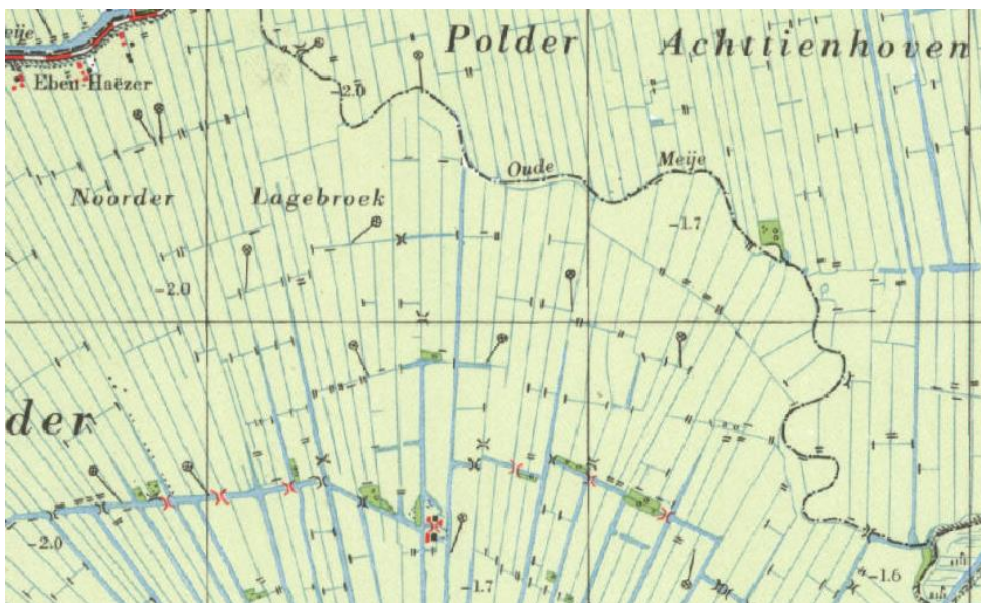
Figuur 9 Meetlocaties Lopikerwaard (Polder Hoenkoop), locaties B, D en E.

3.4 Zegvelderbroek (Zegveld)

Voor het Zegvelderbroek is de inrichting in kavels en de bereikbaarheid van de percelen via dammen aangegeven op de topografische kaart 1:25.000 (blad 31 D, 1957). Op het kaartblad is waar te nemen dat de opstreckende kavels in deze polder in gebruik zijn bij de boeren in Lagebroek. De opstreckende kavels worden doorsneden door een brede wetering en brede sloten vanaf het gehucht Lagebroek tot de Oude Meije en ontsluiten het gebied. In ruilverkavelingsverband is de ontsluiting verbeterd door langs een eeuwen geleden afgedamd deel van het riviertje 'de Meije' een verharde weg aan te leggen en hier boerderijen naar toe te verplaatsen.

De Proefboerderij in het Lagebroek, thans Coöperatie Kennis Transfer Centrum (KTC) Zegveld, heeft hier in 1966 een nieuwe start gemaakt. In dit laaggelegen gedeelte van de polder is in 1969 een onderzoek gestart naar het effect van peilverlaging op de bedrijfsvoering. De peilbeheersing in de polder voor en tijdens het onderzoek is als volgt samen te vatten:

1937	zomerpeil 1,90 m -NAP
	winterpeil 2,00 m - NAP
1964	polderpeil gaat van 2,12- naar 2,70 m -NAP (ruilverkaveling)
1967	holle percelen, maaiveld in het voorjaar gem. 2,03 m -NAP
1969	polderpeil wordt verhoogd van 2,70- naar 2,40 m -NAP
1972	polderpeil 2,44 m - NAP
1992	polderpeil 2,52 m - NAP
2017	zomerpeil 2.78 m - NAP en winterpeil 2.88 m -NAP



Figuur 10 Meetlocatie Zegveld rond 1960 (Topotijdreis.nl).

De kavel van 29 ha is in lengterichting van noord naar zuid en overdwars van oost naar west opgedeeld, aan de westzijde ontstaan twee blokken met weinig of geen toemaakdek en aan de oostzijde twee blokken met duidelijk meer toemaakdek. Diagonaal wordt vanaf 1969 het polderpeil van ca. 0,30 m -mv onderbemalen tot 0,70 m -mv. Tabel 4 geeft een overzicht van de meetlocaties, aantal zakplaatjes en meetperiode.

Er is op Zegveld geëxperimenteerd met infiltratiedrains en drukdrains (Hoving et al., 2023). In 2003 zijn op de percelen 2, 3, 11 en 13 infiltratiedrains aangelegd met een kettinggraver, in de breedte van het perceel, met afstanden van 4, 8 en 12 m en een deel referentie (bij de oude zakplaatjeslocaties op 13 en 3). Bij de percelen 2 en 11 zijn nieuwe referentiemeetpunten aangelegd bij gedeelten zonder infiltratiedrains. De eerste jaren functioneerden de drains goed, maar na verloop van tijd werden de prestaties minder. Enerzijds waren de slootpeilen bij percelen 2 en 3 te laag (ca. 55 cm -mv) en anderzijds bleek het gebruiken van een kettinggraver te leiden tot veel fijn materiaal, waardoor de drains verstopt raakten. Ook bleken de vele

draineinden in de sloot erg kwetsbaar bij het baggeren en sloten. Na 2007 is er weinig onderhoud aan de drains gepleegd omdat de conclusie was dat de drains sleufloos moesten worden aangelegd. De infiltratiedrains hebben op deze vier percelen daardoor slecht gefunctioneerd.

In 2016 zijn op perceel 16 en 13, 14, 15 infiltratiedrains aangelegd, die vervolgens zijn opgedeeld in een deel OWD, referentie (drains afgekoppeld) en drukdrain (Hoving et al., 2023).

Er zijn nog veel meer acties geweest, zoals graslandvernieuwing, opbrengen van bagger, rondleggen van percelen en graven of dichtgooien van sloten. In het onderstaande is weergegeven wat er globaal bekend is van de diverse locaties; voor meer details zie Beuving en Van den Akker (1996) en Hoving et al. (2023).

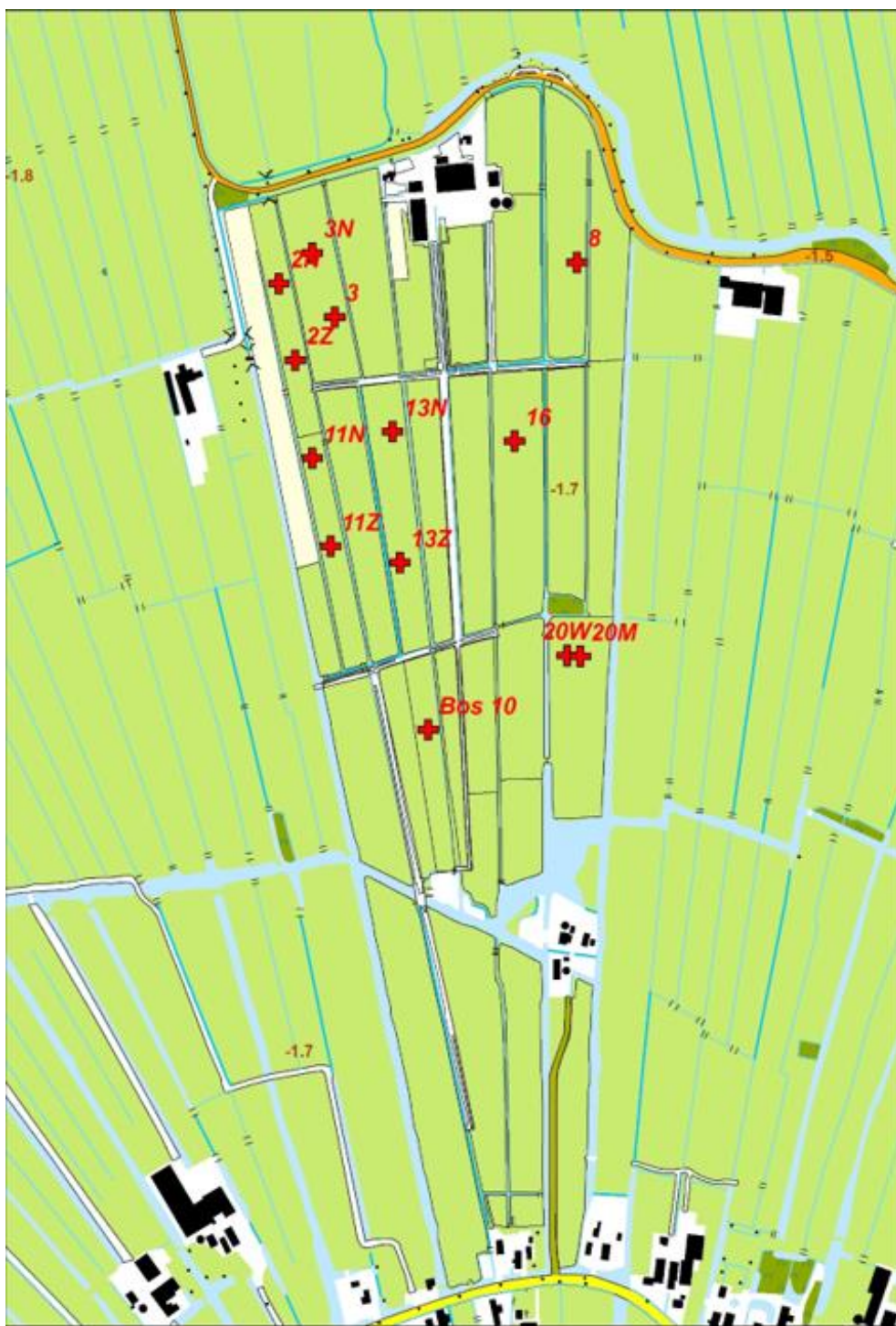
- **Plek 2.** Perceel is rondgelegd in 2016 en opnieuw ingezaaid. Geen grond aangevoerd van elders, maar van de kant afgeschraapt. Meetpunt 2Z ligt midden tussen twee infiltratiedrains met onderlinge afstand van 4 m. Meetpunt 2N is een referentiepunt, dus zonder infiltratiedrains.
- **Plek 3.** Op de westelijke helft van de proefboerderij met weinig of geen toemaakdek wordt in 1969 op het onderbemalen gedeelte voor de eerste dwarssloot een proefplek midden op perceel 3 ingericht. Perceel is rondgelegd in 2017 en opnieuw ingezaaid. 3Z ligt midden tussen twee infiltratiedrains met een onderlinge afstand van 4 m.
- **Plek 8.** In 1976 wordt een zesde opstelling op perceel 8 ingericht, een perceel met polderpeil en toemaakdek voor de eerste dwarssloot. Met twee pompen wordt het polderpeil onderbemalen tot 2,85 m - NAP. Dit niveau van onderbemalen wordt regelmatig bijgesteld aan de hand van de gemeten maaiveldhoogten op de proefplekken. Bij polderpeil heeft plek 13 op de westelijke helft van de proefboerderij in 1972 een drooglegging van 0,25 m en plek 8 op de oosthelft in 1976 van 0,20 m. (Beuving en Van den Akker, 1996). Noordelijk deel is in 2015 opnieuw ingezaaid en beperkt rondgelegd. Sloot tussen 8 en 9 is in 2017 doorgetrokken en uitkomende grond verwerkt in perceel 9. In 2019 is het perceel gedraineerd.
- **Plek 11.** Er is een verschil in slootpeil, het noordelijke deel heeft aan de oostkant een laag peil en de rest van het perceel een hoog peil. Het noordelijke deel van het perceel is rondgelegd en hoorde vroeger bij perceel 2. Locatie 11Z ligt midden tussen twee infiltratiedrains; 11N is een referentiepunt, zonder infiltratiedrains.
- **Plek 13.** In 1972 wordt op de westelijke helft van de proefboerderij plek 13 ingericht. Tussen 1967 en 1973 heeft zich bij polderpeil een hoogteverlies voorgedaan van ongeveer 0,13 m. Op de oostelijke helft met meer toemaakdek hebben de percelen op het middengedeelte in 1967 een maaiveldhoogte van 1,90 tot 2,10 m - NAP. Het gedeelte voorbij de eerste dwarssloot wordt vanaf 1969 onderbemalen. Perceel is in 2016 in de lengte gedraineerd, noordelijk deel drukdrains, middendeel referentie en zuidelijk deel infiltratiedrains.
- **Plek 16.** Midden op een perceel 16 wordt één proefplek, en op het meest zuidelijke perceel 20 worden twee proefplekken met zakplaten ingericht (plek 16, plek 20 midden en plek 20 west). Het perceel is in 2012 opnieuw ingezaaid. In de jaren 90 van de vorige eeuw is dit perceel extreem rondgelegd (zie kaarten periode 1966-2003), dit is later niet vlakgemaakt. Het perceel is in 2016 in de lengte gedraineerd, noordelijk deel drukdrains, middendeel referentie en zuidelijk deel infiltratiedrains. In dit perceel ligt een kwelplek bij een locatie waar een extreme daling is gemeten.
- **Plek 20.** Perceel 20 ligt tussen twee slootpeilen, nl. aan de oostzijde de kavelsloot met polderpeil en aan de westzijde de onderbemalen sloot tussen perceel 19 en 20. Hier heeft een baggerdepot gestaan (2014-2015, waarna de bagger is verwerkt over perceel 20, ingezaaid voorjaar 2016. Ook is een sloot gegraven door het perceel.
- **Plek Bos10.**

Tabel 4 Meetlocaties Zegveld (Zegvelderbroek).

Naam	Nummer	Aantal zakplaatjes	Begin metingen	Einde metingen ¹	x-coor	y-coor
Zegveld	2 noord	3	2004	2024	117217.4	461326.4
Zegveld	2 zuid	1	2004	2015	117238.3	461227.2
Zegveld	3 zuid	3	2004	2024	117289.4	461283.0
Zegveld	3 midden	7	1970	2010	117260.6	461365.8
Zegveld	3 noord	3	2009	2015	117260.6	461365.8

¹ Een aantal locaties wordt ook na 2024 nog bemeten.

Naam	Nummer	Aantal zakplaatjes	Begin metingen	Einde metingen ¹	x-coor	y-coor
Zegveld	8 midden	7	1976	2024	117602.0	461353.7
Zegveld	11 noord	1	2004	2018	117260.6	461100.6
Zegveld	11 zuid	3	2004	2024	117284.1	460986.9
Zegveld	13 noord	7	1973	2024	117364.4	461135.0
Zegveld	13 zuid	3	2004	2024	117373.7	460965.8
Zegveld	16 midden	7	1970	2024	117521.4	461122.7
Zegveld	20 west	7	1970	2024	117589.6	460846.0
Zegveld	20 oost	7	1970	2024	117606.4	460844.8
Zegveld	Bos10	4	1974	2002	117410.0	460750.0



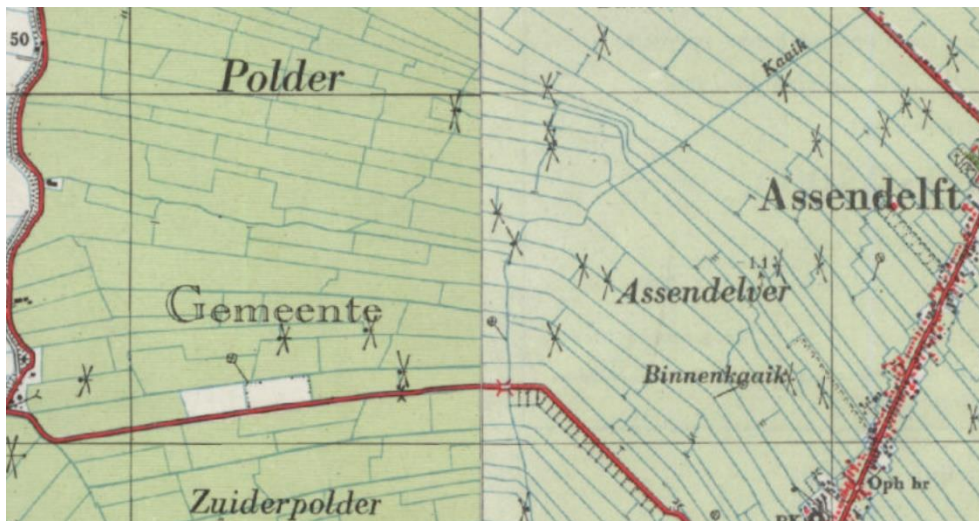
Figuur 11 Meetlocatie Zegveld (Zegvelderbroek).

3.5 Assendelft

Het Assendelverveld ligt tussen de lintbebouwing in Assendelft en de Wijkermeerpolder oostelijk van Beverwijk (Figuur 12). De grond was vooral in gebruik bij de boeren uit Assendelft. Het betreft hier slechts ten dele een opstreckende verkaveling. Via de vaarverbinding 'De Kaaik', dwars op kavelsloten, waren de percelen voorbij De Kaaik eeuwenlang met recht van overpad of per boot te bereiken.

In de Ruilverkaveling Assendelft (1969/1982) is De Kaaik gedeeltelijk verlegd en is langs dit water een verharde weg gerealiseerd. Naar deze weg zijn vanuit de lintbebouwingen drie boerderijen verplaatst. Het polderpeil is drastisch verlaagd, daarnaast is in 1975 op één van deze bedrijven een praktijkproef gerealiseerd en is het peil in een sloot verlaagd tot 1,00 m – mv. door deze onder te bemalen. De instelling van het polderpeil voor en na de ruilverkaveling en de maaiveldhoogte bij het starten van het onderzoek wordt onder weergegeven:

1949	zomerpeil 1,50 m -NAP (maaiveld ca. 1,40 m -NAP)
1972	winterpeil 1,60 m -NAP, na peilverlaging 2,20 m - NAP
1975	maaiveld na grondbewerking 1,60 m -NAP
1976	polderpeil 2,22 m - NAP
1992	polderpeil 2,12 m -NAP (maaiveld ca. 1,82 m -NAP)
2017	Streefpeil 1 2.35 m -NAP en Streefpeil 2 2.25 m -NAP beide met een bovengrens +5 cm en een ondergrens -5 cm.



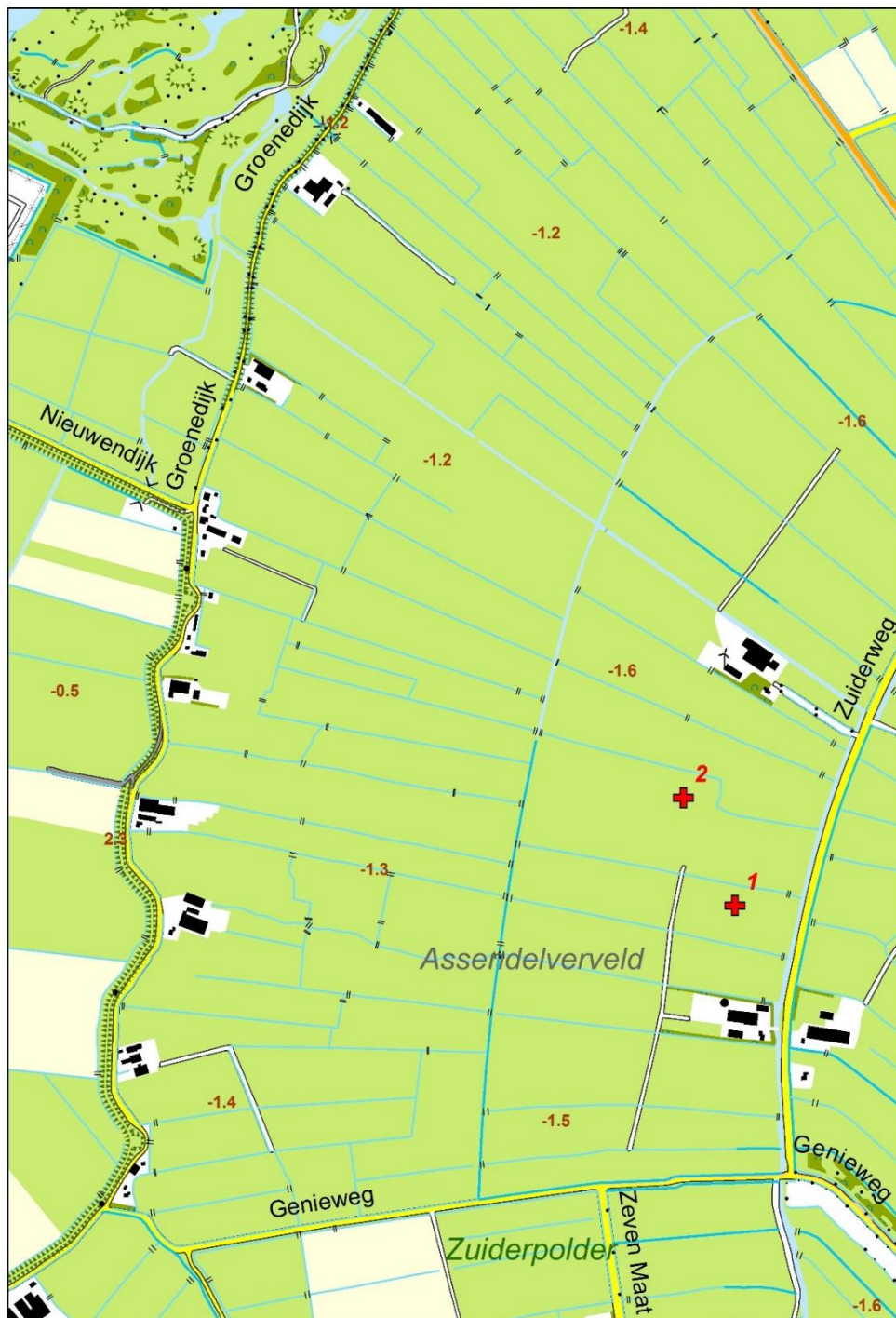
Figuur 12 Meetlocatie Assendelft rond 1960 (Topotijdreis.nl).

Op twee plekken is vanaf 1975 de zakking gemeten.

- **Plek 1.** Het zijn brede percelen, die met onderbemaling (plek 1) ligt vlak en is om de 10 m op 0,80 m -mv gedraineerd.
- **Plek 2.** Het andere perceel (plek 2) ligt op akkertjes en is om de 20 m begreppeld. Het perceel ligt rondom in sloten met polderpeil. Tabel 5 geeft een overzicht van de meetlocaties, aantal zakplaatjes en meetperiode.

Tabel 5 Meetlocaties Assendelft (Zuiderpolder).

Naam	nummer	Aantal zakplaatjes	Begin metingen	Einde metingen	x-coor	y-coor
Assendelft	1	7	1975	2018	109980.0	498750.0
Assendelft	2	7	1975	2018	109870.0	498980.0



Figuur 13 Meetlocatie Assendelft, locatie 1 en 2.

Oldemarkt:

1957	zomerpeil 0,65 m -NAP, winterpeil 1,00 m -NAP
1968	zomerpeil 0,80 m -NAP, winterpeil 1,45 m -NAP
1978	maaveld na grondbewerking 0,46 m -NAP
1978	zomerpeil 1,20 m - NAP
1997	zomerpeil 1,00 m -NAP, winterpeil 1,45 m - NAP
2018	zomerpeil 1,00 m - NAP, winterpeil 1.45 m -NAP

Spannenburg:

1926	bedijkt
1969	zomerpeil 0,75 m -NAP
1978	maaiveld na grondbewerking 0,56 m -NAP
1978	peil 1,48 m - NAP
1998	peil 1,98 m - NAP
2018	peil 2.0 m -NAP



Figuur 14 Meetlocatie Oldemarkt rond 1960 (Topotijdreis.nl).

In Oldemarkt ligt het maaiveld na spitfreen 0,05 m hoger, gedurende de zes jaar onderzoek blijft dit verschil ten opzichte van proefplekken na alleen ploegen. Om het effect van ontwatering en grondbewerking vast te stellen, zijn in april 1978 zakplaten in het profiel aangebracht bij Oldemarkt op:

- **plek B** bewerkt met de spitfrees tot 0,40 m -mv;
- **plek C** met een ploegdiepte 0,30 m;
- **plek E** 5 jaar na ploegen en opnieuw inzaaien in 1973.

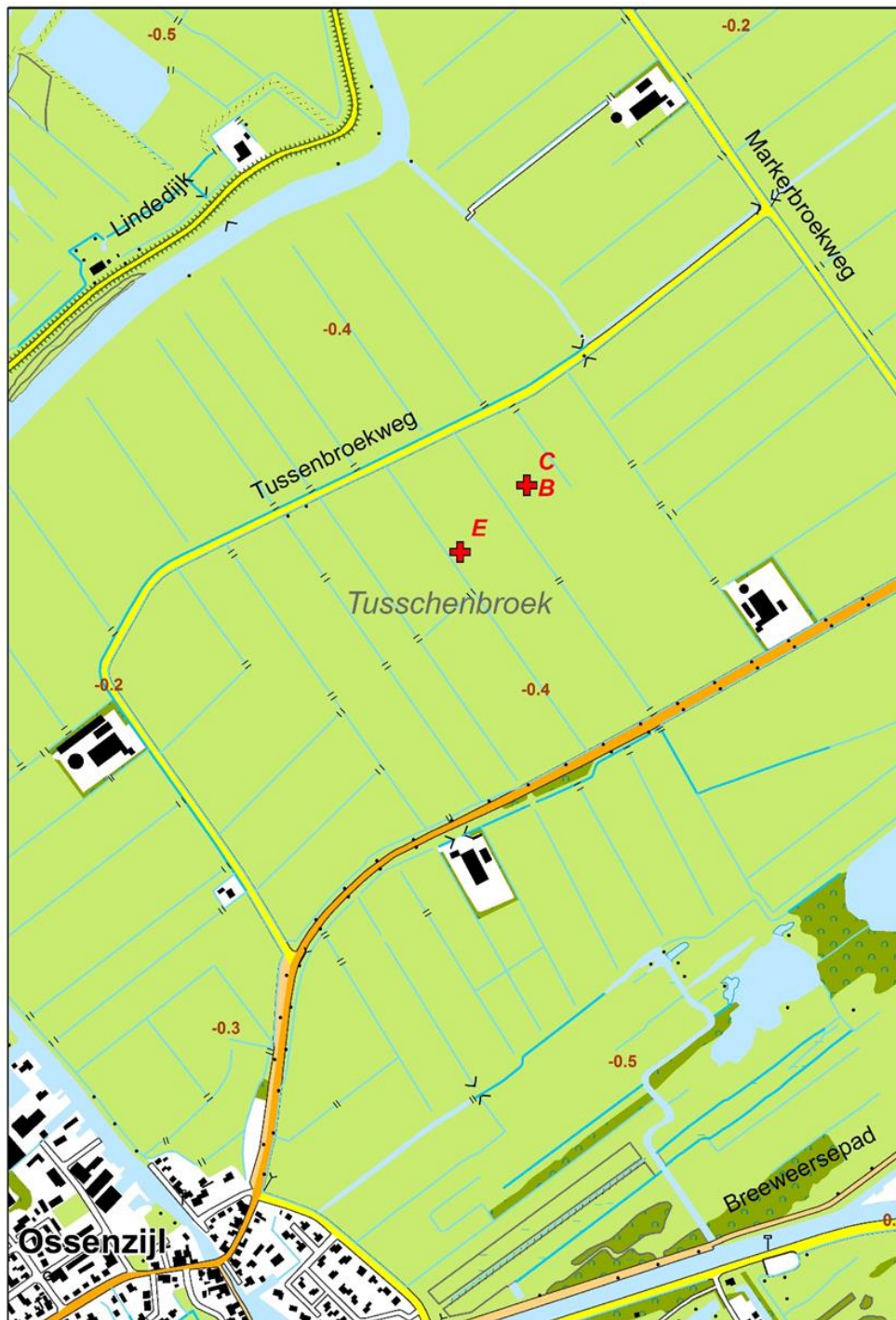
Het perceel in Spannenburg is in de herfst van 1977 bewerkt op:

- **plek B** door tot 0,60 m -mv te spitfreen;
- **plek D** door 0,20 m diep te ploegen en tijdens het ploegen het veen in de open voor te woelen met een scherpe woeler tot 0,60 m -mv.

Tabel 6 geeft een overzicht van de meetlocaties, aantal zakplaatjes en meetperiode voor Oldemarkt. Tabel 7 geeft een overzicht van de meetlocaties, aantal zakplaatjes en meetperiode voor Spannenburg.

Tabel 6 Meetlocaties Oldemarkt (het Markerbroek).

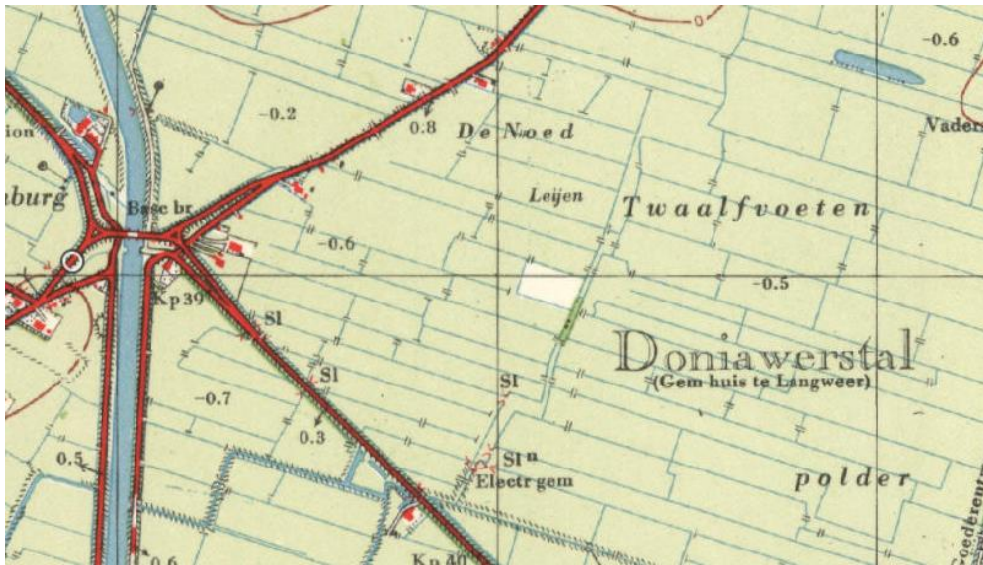
Naam	nummer	Aantal zakplaatjes	Begin metingen	Einde metingen	x-coor	y-coor
Oldemarkt	B	7	1978	1984	191.400	537.000
Oldemarkt	C	7	1978	1984	191.400	537.000
Oldemarkt	E	7	1978	1984	191.300	536.900



Figuur 15 Meetlocatie Oldemarkt (het Markerbroek) (B, C en E).

Tabel 7 Meetlocaties Spannenburg (De Twaalf Voeten).

Naam	nummer	Aantal zakplaatjes	Begin metingen	Einde metingen	x-coor	y-coor
Spannenburg	B	7	1978	1998	176.950	547.030
Spannenburg	D	7	1978	1998	176.940	547.010



Figuur 16 Meetlocatie Spannenburg rond 1960 (Topotijdreis.nl).



Figuur 17 Meetlocatie Spannenburg (De Twaalf voeten).

3.7 Oldelamer

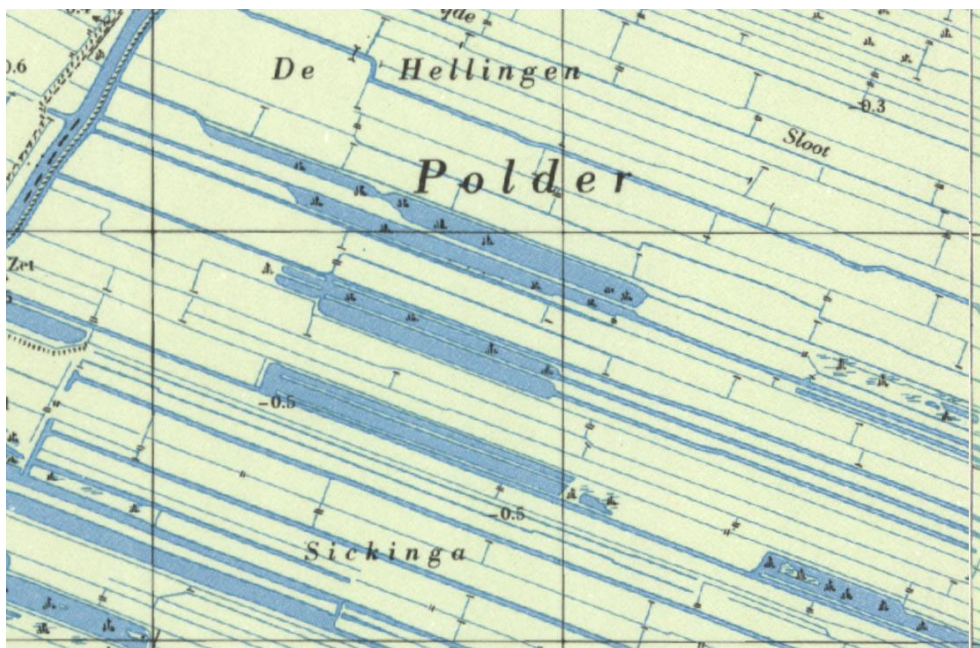
De Polder Oldelamer is een veenpolder met opstreckende kavels en smalle percelen tot 4000 m (Figuur 18). De ontsluiting is tot aan het midden van de jaren zestig slecht en omdat de sloten zich hier niet voor lenen, behoort varen zelfs niet tot de mogelijkheden. Tijdens de ruilverkaveling zijn de ontsluiting en de ontwatering sterk verbeterd. In 1970 zijn bedrijven naar de polder verplaatst en vooral daarna is de bedrijfsvoering geïntensiveerd. Door de toenmalige Landinrichtingsdienst is in 1967 een onderzoek gestart naar de invloed van peilverlaging waar ook het ICW (thans onderdeel van WENR) in het begin aan heeft deelgenomen. Plek 1 ligt op het vrij vlakke perceel 1 waar bij de aanleg alleen laagten werden opgevuld. Plek 2 ligt op perceel 2 en bij de aanleg in 1967 zijn slotjes gedempt en bij het egaliseren is het perceel rond gelegd. De ronde ligging is in 1992 nog aanwezig. Het peilbeheer voor en tijdens het onderzoek en de gemiddelde hoogte van het maaiveld van de twee percelen bij de 1^e & 2^e start van het onderzoek wordt hierop aansluitend weergegeven:

1951	polderpeil 0,90 m -NAP
1967	polderpeil 1,27 m -NAP
1967	maaiveld gemiddeld 0,57 m -NAP
	zomerpeil 1,90 m -NAP, winterpeil 2,20 m - NAP
1992	maaiveld gemiddeld 1,10 m -NAP
1998	polderpeil 2,05 m - NAP (gemeten)
2017	Plek 1 vast peil 2.0 m -NAP
2017	Plek 2 winterpeil 1.60 m - NAP en zomerpeil 1.3 m -NAP

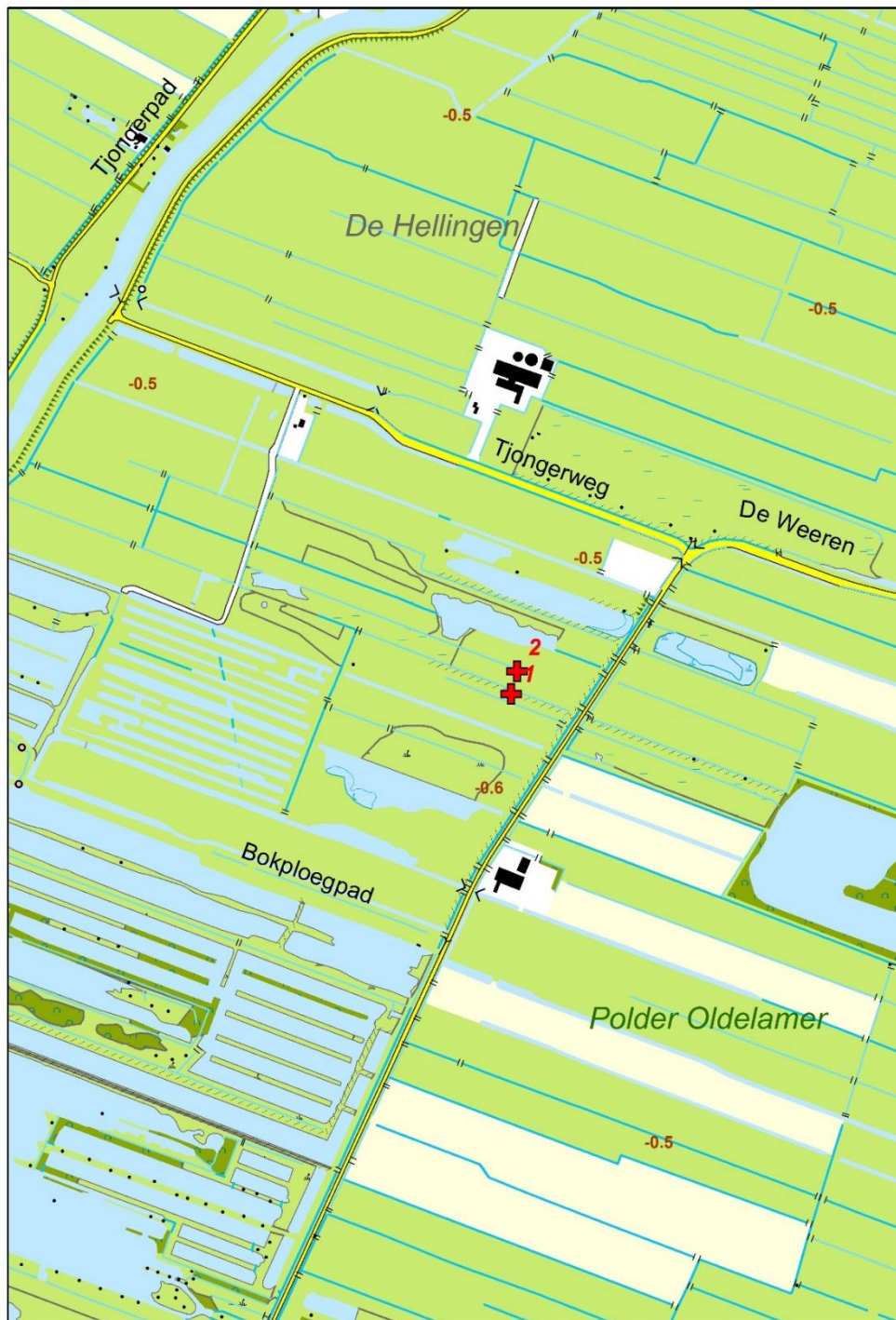
In 1992 zijn op twee percelen uit dit onderzoek zakplaten in het profiel aangebracht. In herfst 1999 wordt duidelijk dat de eigenaar de sloot tussen de twee percelen probeert te dempen met plantaardig, weinig materiaal om zo tot perceelvergroting te komen. Beide percelen zijn inmiddels gedraineerd. Tabel 8 geeft een overzicht van de meetlocaties, aantal zakplaatjes en meetperiode.

Tabel 8 Meetlocaties Oldelamer.

Naam	nummer	Aantal zakplaatjes	Begin metingen	Einde metingen	x-coor	y-coor
Oldelamer	1	7	1992	2004	188550.0	543580.0
Oldelamer	3	7	1992	2004	188560.0	543620.0



Figuur 18 Meetlocatie Oldelamer rond 1960 (Topotijdreis.nl).



Figuur 19 Meetlocatie Oldelamer.

4 Geohydrologie

4.1 Inleiding

De bodemdaling op een specifieke locatie is afhankelijk van de bodemopbouw, zowel ondiep (tot 1,2 m) als diep tot aan het veelal Pleistocene zand. De bovenste 1,2 m is sterk afhankelijk van diverse bodemprocessen en zal in de loop van de tijd sterk variëren. In dit rapport geven we de bodemopbouw weer zoals die was ten tijde van de start van de diverse proeven. Voor de diepere ondergrond worden de data ontleend aan GeoTOP en is het tijdstip van de boring minder relevant.

Naast de bodemopbouw wordt bodemdaling bepaald door de grondwaterspanning over het profiel. In dit rapport wordt het langjarige verloop in een dichtbijgelegen peilbuis met een filter in het Pleistocene zand vergeleken met de op de locatie gemeten grondwaterstanden en slootpeilen. Hiermee wordt inzicht verkregen in de kwel-/wegzijingssituatie en of deze over de jaren varieert.

4.2 Bleskensgraaf

Bodemopbouw

In 1955 bestond de ondiepe bodem op de locatie Bleskensgraaf uit een laag van ca. 30 cm klei op veen, met daaronder een veenlaag van 6,5 tot 8 m (Tabel 9). Binnen dit veenpakket kunnen kleihoudend veen en enige kleilagen voorkomen (Schothorst en Hettinga, 1972).

Tabel 9 Profielbeschrijving van de locatie Bleskensgraaf (Bron: Schothorst en Hettinga, 1972).

Diepte M -mv	Bodemkundige grondsoort
0,00-0,30	Klei op veen
0,30-±6,50/8,00	(Bos)Veen

Een meer recentere bodemkartering uit 1990 op ca. 1,3 km van de locatie laat hetzelfde beeld zien (Tabel 10). De bodem op deze locatie bestaat uit een laag kleilig veen van 23 cm op verschillende lagen veen. Het bodemtype is weideveengrond op bosveen.

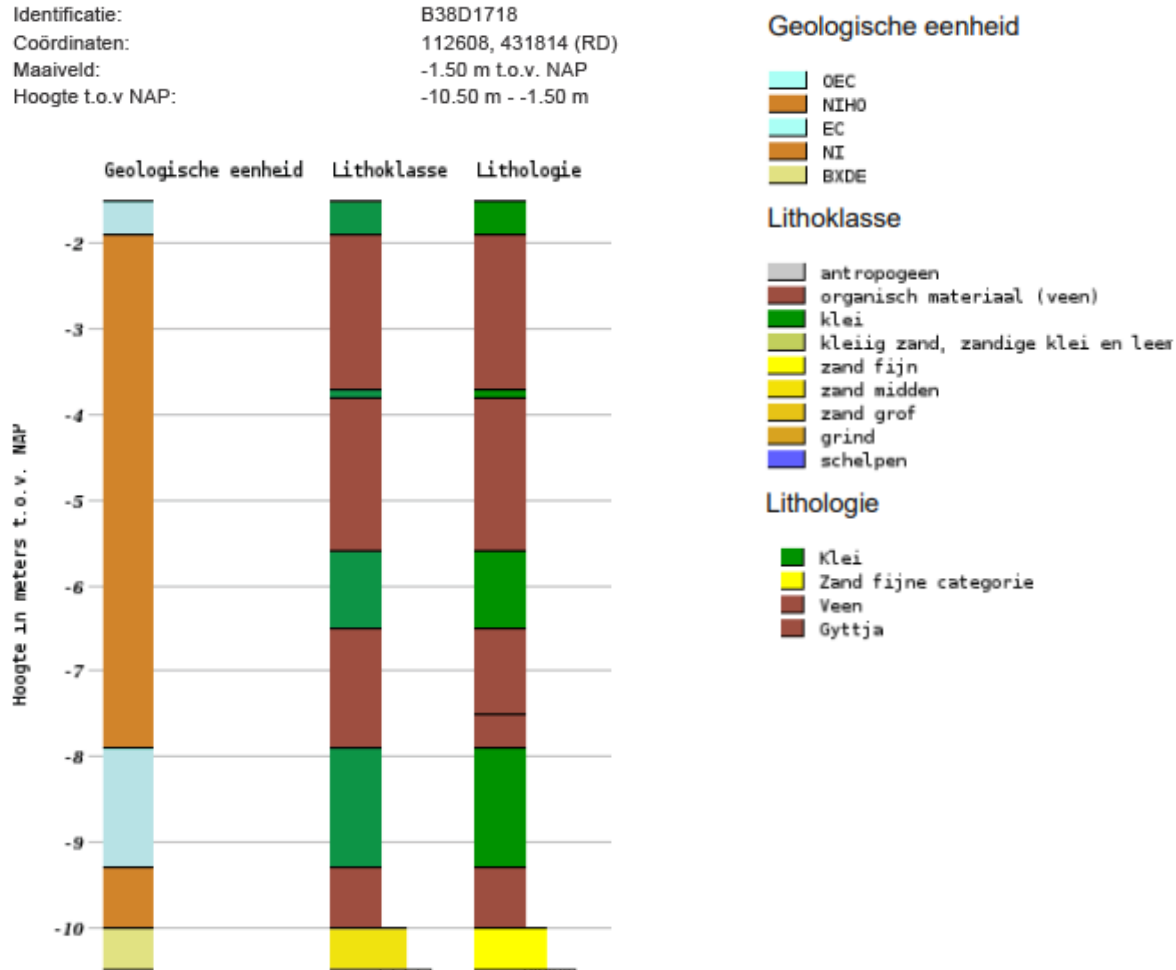
Tabel 10 Profielbeschrijving van de grond (Bron: BROLOKET-boring op 115153.000 (x), 430878.000 (y) in 1990).

Diepte M -mv	Horizont	Bodemkundige grondsoort
0,00-0,23	AHg	Kleilig Veen
0,23-0,43	Cu	Veen
0,43-0,63	Cu	Veen
0,63-3,60	Cr	Veen

Diepere ondergrond

De dikte van de Holocene deklaag in Bleskensgraaf bedraagt ca. 8,5 m (Figuur 20). Dit profiel ligt precies in het midden van meetpunten 1, 3 en 5 van deze locatie. De deklaag van 8,5 m bestaat uit een afwisseling van (voornamelijk) veen en klei.

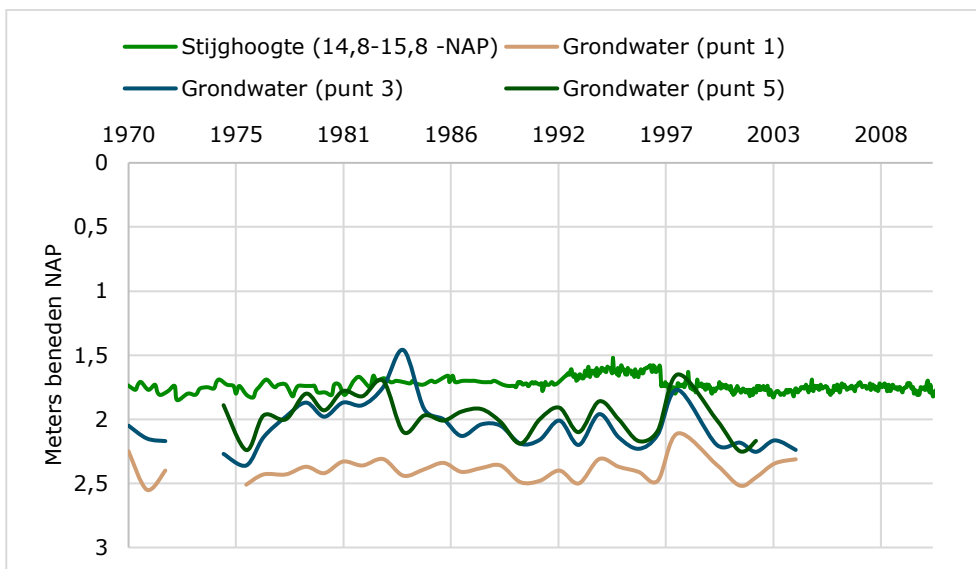
Identificatie: B38D1718
 Coördinaten: 112608, 431814 (RD)
 Maaiveld: -1.50 m t.o.v. NAP
 Hoogte t.o.v. NAP: -10.50 m - -1.50 m



Figuur 20 Dikte en samenstelling Holocene deklaag in Bleskensgraaf (Bron: GEOTOP, boring B38D1718).

Geohydrologie

Figuur 21 geeft de gemeten grondwaterstanden weer voor de meetpunten 1, 3 en 5 van de locatie Bleskensgraaf. Daarnaast is ook de stijghoogte zoals gemeten bij peilbuis B38D0321 weergegeven. Deze peilbuis meet op een diepte van 14,8-15,8 m onder NAP en is gelegen op ca. 0,5 km van de meetlocaties. De stijghoogte op deze diepte is relatief constant, fluctuerend tussen de 1,6 en 1,8 m onder NAP. De gemeten grondwaterstanden zijn over de gemeten periode vrijwel altijd lager en schommelen rond de 2,5 m onder NAP voor meetpunt 1 en 2 m onder NAP voor meetpunten 3 en 5. Dit maakt dat de polder een duidelijk kwelgebied is.



Figuur 21 Vergelijking tussen de gemeten grondwaterstanden (meetpunt 1, 3 en 5) in Bleskensgraaf en de stijghoogte zoals gemeten op 14,8-15,8 meter onder NAP (Bron: Grondwaterstanden in Beeld, buis B38D0321).

4.3 Hoenkoop (Lopikerwaard)

Bodemopbouw

In 1968 bestond de ondiepe bodem op de locatie Hoenkoop uit een laag van ongeveer 40 cm venige zware klei met daaronder verschillende lagen veen en venige klei (Tabel 11).

Tabel 11 Profielbeschrijving van de locatie Hoenkoop (Bron: Schothorst, 1969).

Diepte M -mv	Bodemkundige grondsoort
0,00-0,40	Venige zware klei
0,40-0,80	Zwartbruin, verweerd slibhoudend veen
0,80-1,50	Bruin bosveen met veel hout
1,50-1,90	Slappe venige klei

Meer recentere bodemkarteringen (2003 en 2010) op tientallen meters van meetpunten B en D van deze locatie laten hetzelfde beeld zien (Tabel 12 en Tabel 13). De bodem op de locatie Hoenkoop bestaat uit een laag van ca. 30 cm kleilig veen/matige zware klei met daaronder een laag veen. Het bodemtype is weideveengrond.

Tabel 12 Profielbeschrijving van de grond (Bron: BROLOKET boring op 120427.000 (x), 446512.000 (y) genomen in 2003).

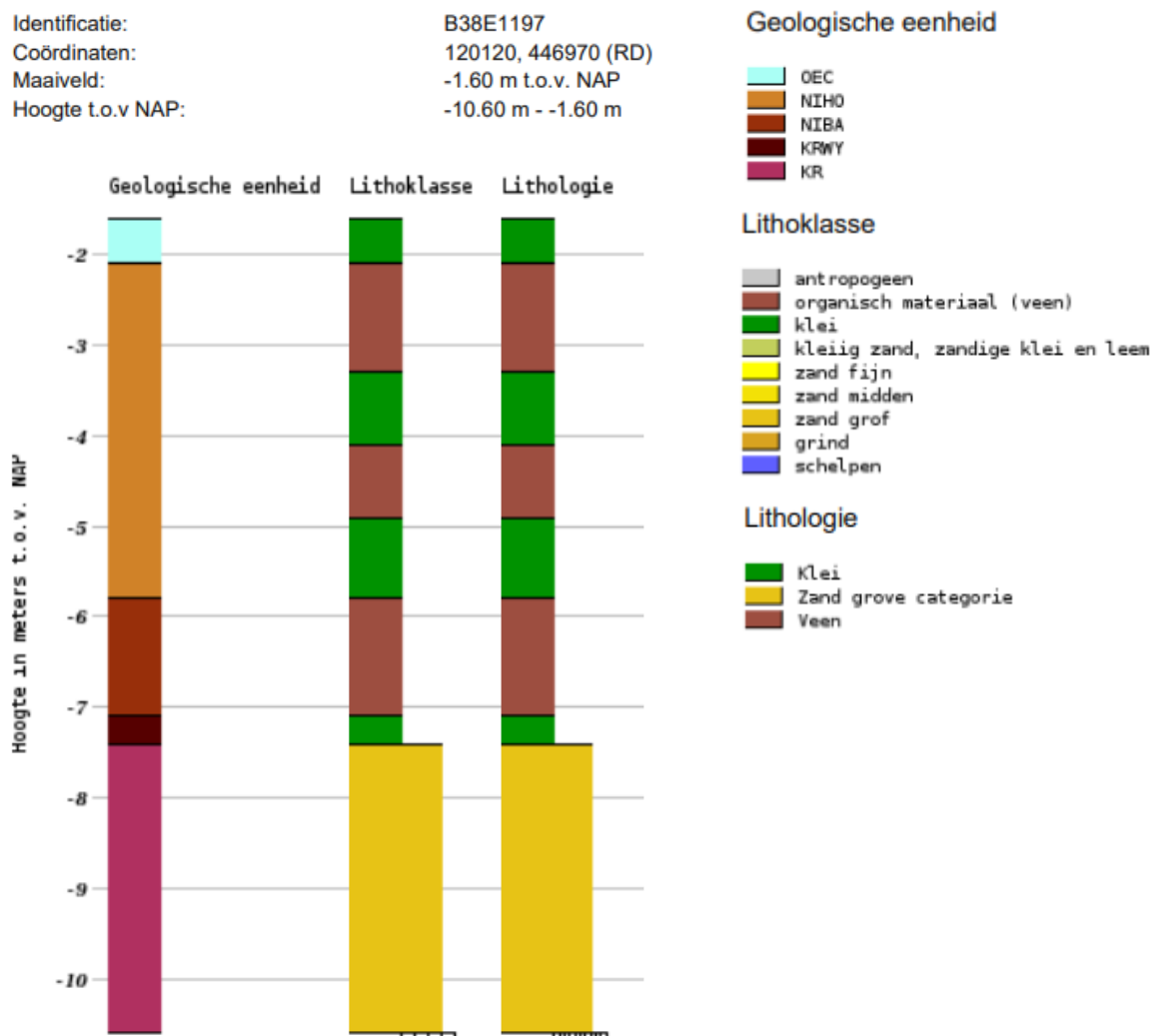
Diepte	Horizont	Bodemkundige grondsoort
M -mv		
0,00-0,20	Aa	Kleilig veen
0,20-0,35	Cw	Matig zware klei
0,35-0,5	Cg	Veen
0,5-0,7	Cu	Veen
0,7-1,15	Cr	Veen

Tabel 13 Profielbeschrijving van de grond (Bron: BROLOKET boring op 120102.000 (x), 446547.000 (y) genomen in 2010).

Diepte M -mv	Horizont	Bodemkundige grondsoort
0,00-0,25	Ahg	Matig zware klei
0,25-0,35	ACg	Matig zware klei
0,35-0,7	Cw	Veen
0,7-2,20	Cr	Veen

Diepere ondergrond

De dikte van de Holocene deklaag in Hoenkoop is ca. 6 m (Figuur 22). Dit profiel ligt precies in het midden van meetpunten B en D van deze locatie. De deklaag bestaat uit een afwisseling van veen en klei.

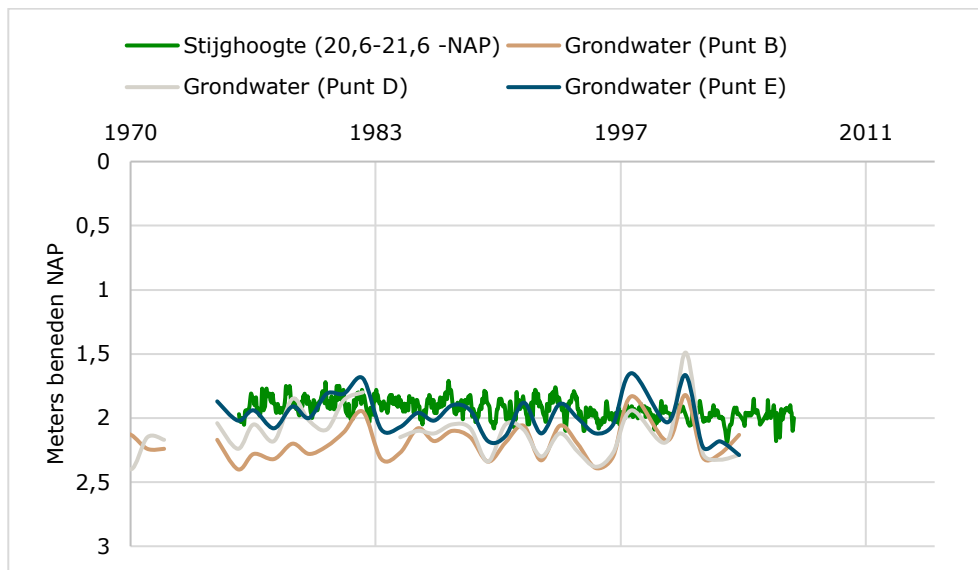


Figuur 22 Dikte en samenstelling Holocene deklaag in Hoenkoop (Bron: GEOTOP, boring B38E1197).

Geohydrologie

In Figuur 23 zijn de gemeten grondwaterstanden weergegeven voor de locatie Hoenkoop (meetlocatie B, D en E). Daarnaast is ook de stijghoogte zoals gemeten bij peilbuis B38B0084 weergegeven. Deze peilbuis meet op een diepte van 20,6-21,6 m onder NAP. De stijghoogte op deze diepte is licht aflopend, startend op 1,85 m onder NAP in april 1976 tot 2,11 m onder NAP in april 2007. De peilbuis bevindt zich op ca. 2 km van de meetlocaties. Op basis van het LHM kan worden geconcludeerd dat op de locatie zelf de stijghoogte van

het diepere grondwater 5 à 10 cm hoger is. De grondwaterstanden voor meetpunten B en D zijn vrijwel over de gemeten periode lager en schommelen sinds de jaren negentig rond de 2,2 m onder NAP, terwijl de grondwaterstand van meetpunt E hoger is en zich rond de stijghoogte van het diepe grondwater beweegt. De polder is een kwelgebied, maar door de langzame daling van de stijghoogte van het diepe grondwater zal de kweldruk gemiddeld zijn afgenomen.



Figuur 23 Vergelijking tussen de gemeten grondwaterstanden (locatie B, D en E) in Hoenkoop en de stijghoogte zoals gemeten op 20,6-21,6 m onder NAP (Bron: Grondwaterstanden in Beeld, buis B38B0084).

4.4 Zegveld

Bodemopbouw

De ondiepe bodem op de locatie Zegveld bestaat uit een laag van ca. 20 cm kleiig veen met daaronder een laag (veraard) bosveen op rietzeggeveen (Tabel 14).

Tabel 14 Profielbeschrijving van de locatie Zegveld (Bron: Beuving, 1984).

Diepte M -mv	Bodemkundige grondsoort
0,00-0,20	Kleiig veen
0,20-0,50	(Veraard) bosveen
>0,50	Rietzeggeveen

Meer recentere bodemkarteringen (2019 en 2020) op enkele tientallen meters van respectievelijk meetpunt 13 en 16 laten hetzelfde beeld zien (Tabel 15 en Tabel 16). De bodem op de locatie Zegveld bestaat uit een laag van ca. 30 cm kleiig veen op de veenlaag. Het bodemtype is koopveengrond op bosveen.

Tabel 15 Profielbeschrijving van de grond (Bron: BROLOKET boring op 117349.000 (x), 461082.000 (y) genomen in 2019).

Diepte M -mv	Horizont	Bodemkundige grondsoort
0,00-0,25	AHg	Kleiig veen
0,25-0,4	Cw	Veen
0,4-0,6	Cu	Veen
0,6-1,4	Cr	Veen
1,4-2,00	Cr	Veen

Tabel 16 Profielbeschrijving van de grond (Bron: BROLOKET boring op 117579.000 (x), 461145.000 (y) genomen in 2020).

Diepte M -mv	Horizont	Bodemkundige grondsoort
0,00-0,30	AHb	Kleiig veen
0,30-0,45	Cw	Veen
0,45-0,65	Cu	Veen
0,65-1,60	Cr	Veen
1,60-2,00	Cr	Veen

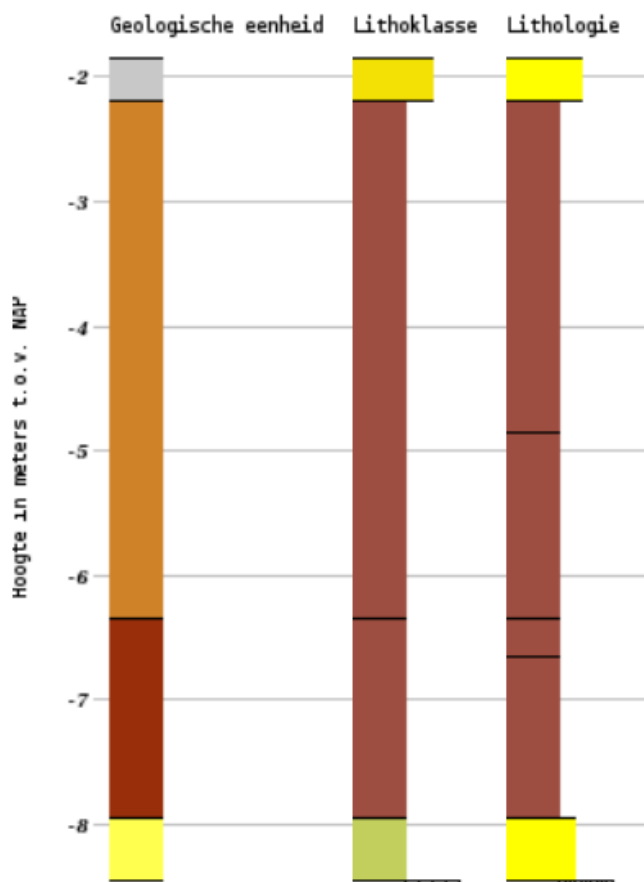
Diepere ondergrond

De dikte van de Holocene deklaag in Zegveld is ca. 6 m (Figuur 24). Dit profiel ligt precies in het midden van de meetpunten van deze locatie. Er is een ondiepe deklaag 35 cm waaronder enkel veen ligt. De deklaag wordt geclassificeerd als humeus zandig in tegenstelling tot de bodemkarteringen, die de laag kleiig noemen.

Identificatie: B31D1333
 Coördinaten: 117420, 461040 (RD)
 Maaiveld: -1.85 m t.o.v. NAP
 Hoogte t.o.v. NAP: -8.45 m - -1.85 m

Geologische eenheid

AAOP
 NIHO
 NIBA
 BXWI



Lithologie

Zand fijne categorie
 Veen

Lithoklasse

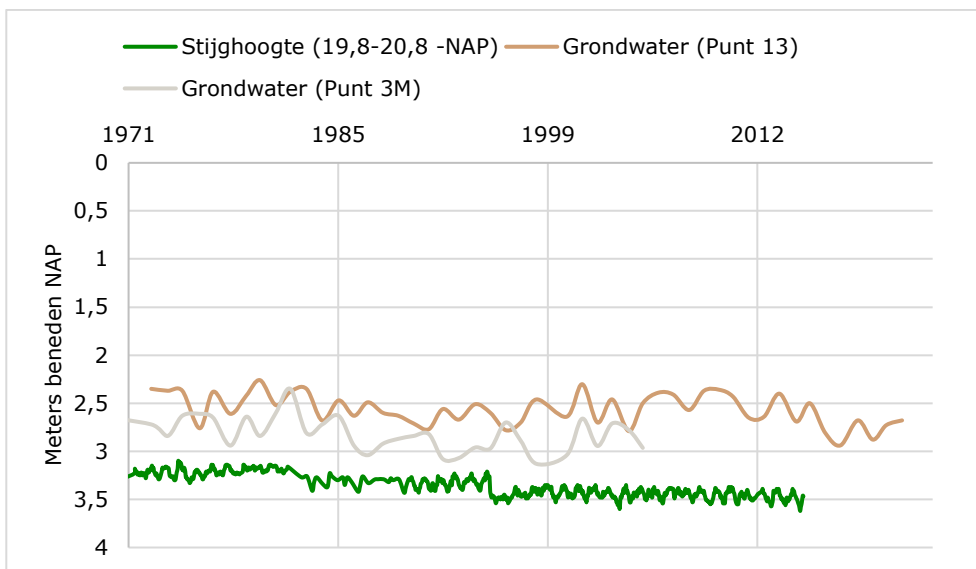
antropogeen
 organisch materiaal (veen)
 klei
 kleiig zand, zandige klei en leem
 zand fijn
 zand midden
 zand grof
 grind
 schelpen

Figuur 24 Dikte en samenstelling Holocene deklaag in Zegveld (Bron: GEOTOP, boring B31D1333).

Geohydrologie

In Figuur 25 zijn de gemeten grondwaterstanden weergegeven voor meetpunten 3 en 13 van de locatie Zegveld.² Daarnaast is ook de stijghoogte zoals gemeten bij peilbuis B31D0003 weergegeven. Deze peilbuis meet op een diepte van 19,8-20,8 m onder NAP en is gelegen op ca. 2,4 km van de meetlocaties. Op basis van het LHM kan worden geconcludeerd dat op de locatie zelf de stijghoogte van het diepere grondwater ongeveer gelijk is aan dit niveau. De stijghoogte op deze diepte verandert trapsgewijs, startend op 3,18 m onder NAP in april 1969, uitkomend op 3,47 m onder NAP in april 2015. De grondwaterstand bij punt 13 is over de gemeten periode altijd hoger en schommelt rond de 2,5 m onder NAP. Bij meetpunt 3 is de grondwaterstand ca. een halve meter lager. In deze polder is er sprake van (lichte) wegzijging naar het diepere grondwater. De mate van wegzijging hangt sterk af van het perceel en het aangehouden slootwaterpeil.

² Meetpunt 2 heeft een gelijkwaardig peil aan meetpunt 3. Meetpunt 13 is representatief voor meetpunten 8,11, 16 en 20.



Figuur 25 Vergelijking tussen de gemeten grondwaterstanden (meetpunten 3 en 13) in Zegveld en de stijghoogte zoals gemeten op 19,8-20,8 m onder NAP (Bron: Grondwaterstanden in Beeld, buis B31D0003).

4.5 Assendelft

Bodemopbouw

In 1974 bestond de ondiepe bodem op de locatie Assendelft uit een laag van ca. 30 cm venige klei met daaronder een laag (veraard) gereduceerd rietzeggeveen op het rietzeggeveen. Deze laag rietzeggeveen is ca. 2,8 tot 3,5 m dik (Tabel 17).

Tabel 17 Profielbeschrijving van de locatie Assendelft (Bron: Schothorst en Hettinga, 1977).

Diepte M - mv	Bodemkundige grondsoort
0,00-0,30	Venige klei
0,30-0,50	(Veraard) rietzeggeveen
>0,50±3,30/4,00	Rietzeggeveen

Meer recentere bodemkarteringen (2010 en 2016) op ca. 1 km van de locatie laten hetzelfde beeld zien (Tabel 18 en Tabel 19). De bodem op de locatie Assendelft bestaat uit een laag van ca. 40 cm matig tot zeer zware klei. Daaronder bevindt zich een (kleiige) veenlaag. Het bodemtype is weideveengrond op zeggeveen.

Tabel 18 Profielbeschrijving van de grond (Bron: BROLOKET boring op 108858.000 (x), 498570.000 (y) in 2016).

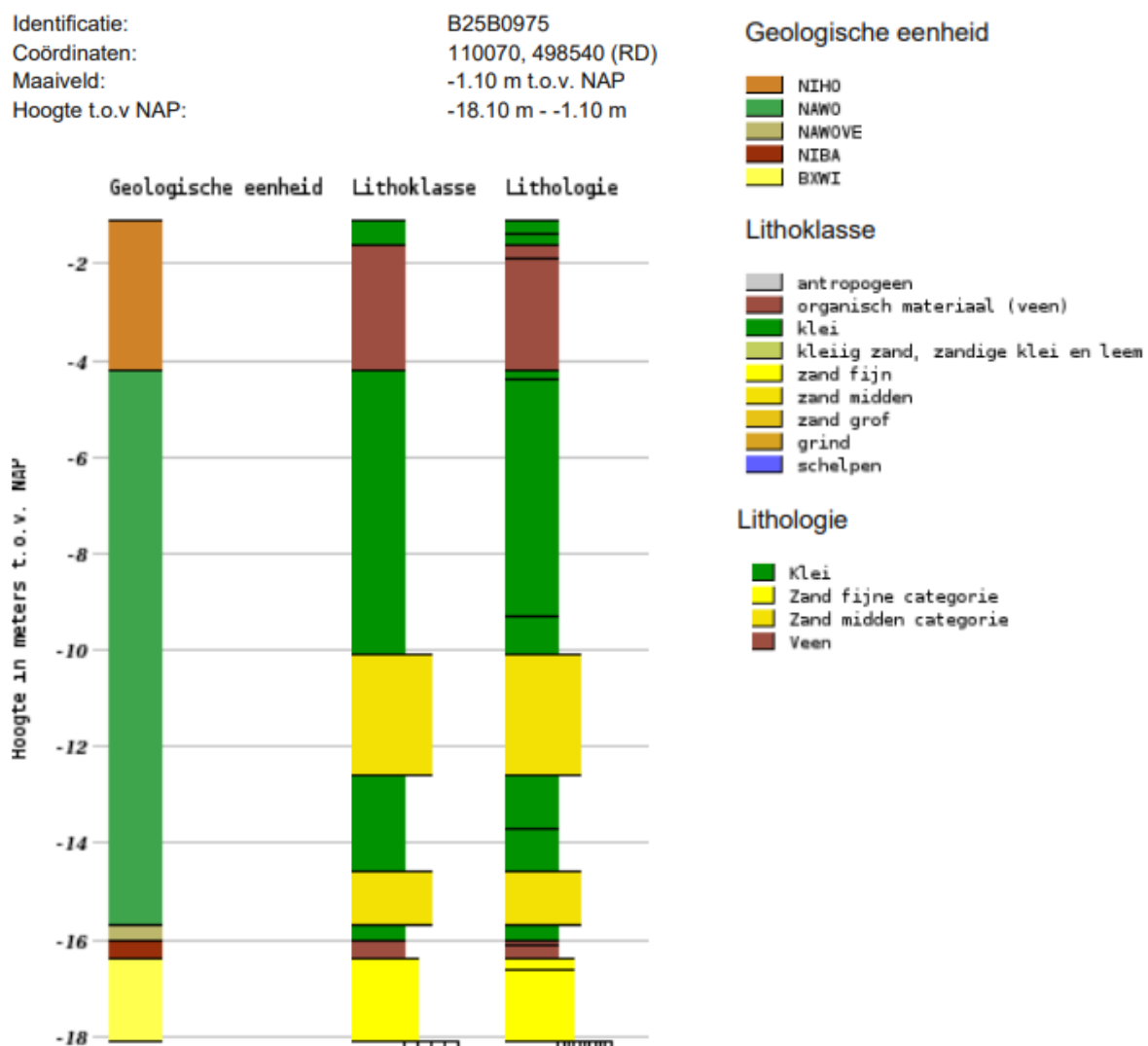
Diepte M - mv	Horizont	Bodemkundige grondsoort
0,00-0,15	Ahg	Matig zware klei
0,15-0,40	Cw	Matig zware klei
0,40-0,55	Cg	Kleiig veen
0,55-0,90	Cu	Kleiig veen
0,90-2,10	Cr	Kleiig veen
2,10-2,65	Cr	Veen
2,65-3,00	Cri	Lichte klei

Tabel 19 Profielbeschrijving van de grond (Bron: BROLOKET boring op 109643.000 (x), 499640.000 (y) in 2010).

Diepte M -mv	Horizont	Bodemkundige grondsoort
0,00-0,15	Ahg	Lichte klei
0,15-0,35	Cu	Zeer zware klei
0,35-0,75	Cg	Veen
0,75-1,30	Cr	Venige klei
1,30-1,80	Cr	Venige klei

Diepere ondergrond

De dikte van de Holocene deklaag in Assendelft is ca. 15 m (Figuur 26). Dit profiel ligt op ca. 100 m van de meetpunten van deze locatie. De eerste 3 meter bestaan uit kleiig veen. Daaronder bevinden zich een afwisseling van zand- en kleilagen, met net boven het Pleistocene zand een laag basisveen.

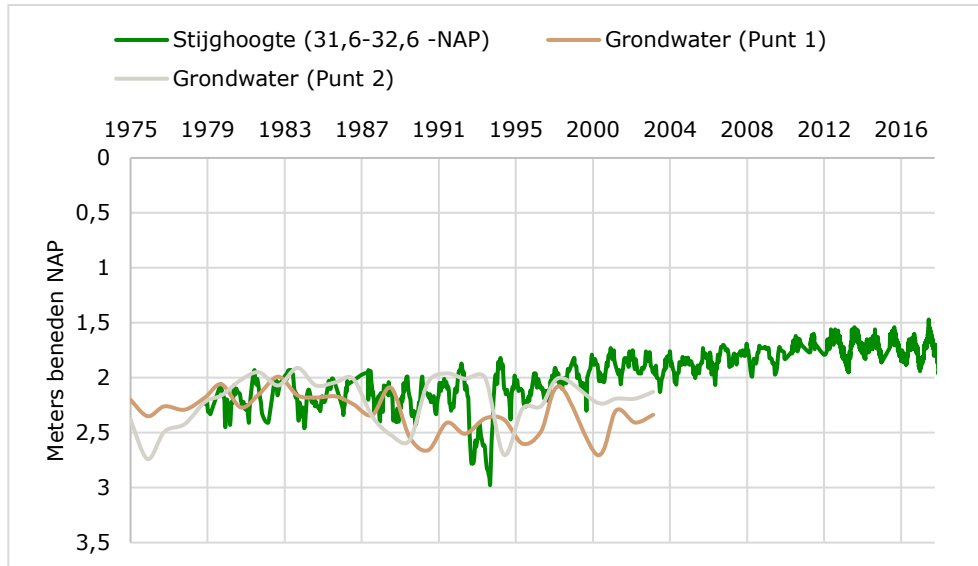


Figuur 26 Dikte en samenstelling Holocene deklaag in Assendelft (Bron: GEOTOP, boring B25B0975).

Geohydrologie

In Figuur 27 zijn de gemeten grondwaterstanden weergegeven voor meetpunten 1 en 2 van de locatie Assendelft. Daarnaast is ook de stijghoogte zoals gemeten bij peilbuis B19D0175 weergegeven. Deze peilbuis meet op een diepte van 31,6-32,6 m onder NAP en is gelegen op ca. 1,5 km van de meetlocaties. Op basis

van het LHM kan worden geconcludeerd dat op de locatie zelf de stijghoogte van het diepere grondwater ongeveer gelijk is aan dit niveau. De stijghoogte op deze diepte stijgt over tijd, startend op 2,19 m onder NAP in mei 1979, uitkomend op 1,79 m onder NAP in april 2018. Er is een scherpe daling te zien rond 1994, wanneer de stijghoogte daalt tot ca. 3 m onder NAP. De grondwaterstand op beide meetpunten is gelijkwaardig aan de stijghoogte van het diepere grondwater. In de laatste jaren van de reeks sinds 2000 zijn de grondwaterstanden lager dan de stijghoogte van het diepere grondwater en is er sprake van lichte kwel.



Figuur 27 Vergelijking tussen het gemeten slootwaterpeil (meetpunten 1 en 2) in Assendelft en de stijghoogte zoals gemeten op 31,6-32,6 m onder NAP (Bron: Grondwaterstanden in Beeld, buis B19D0175).

4.6 Oldemarkt

Bodemopbouw

In 1965 bestond de ondiepe bodem op de locatie Oldemarkt uit een laag van ca. 20 cm zware klei op een laag zeggeveen van ca. 2,5 meter (Schothorst en Hettinga, 1980) (Tabel 20).

Tabel 20 Profielbeschrijving van de Oldemarkt (Bron: Schothorst en Hettinga, 1980).

Diepte M -mv	Bodemkundige grondsoort
0,00-0,20	Zware grijze kalkloze knippige klei
0,20-0,30	Zwarte venige gruislaag
0,30-0,60	Vast matig verweerd zeggeveen
0,60-1,40	Bruin weinig verweerd zeggeveen
1,40-2,80	Zeer slap weinig verweerd rietzeggeveen

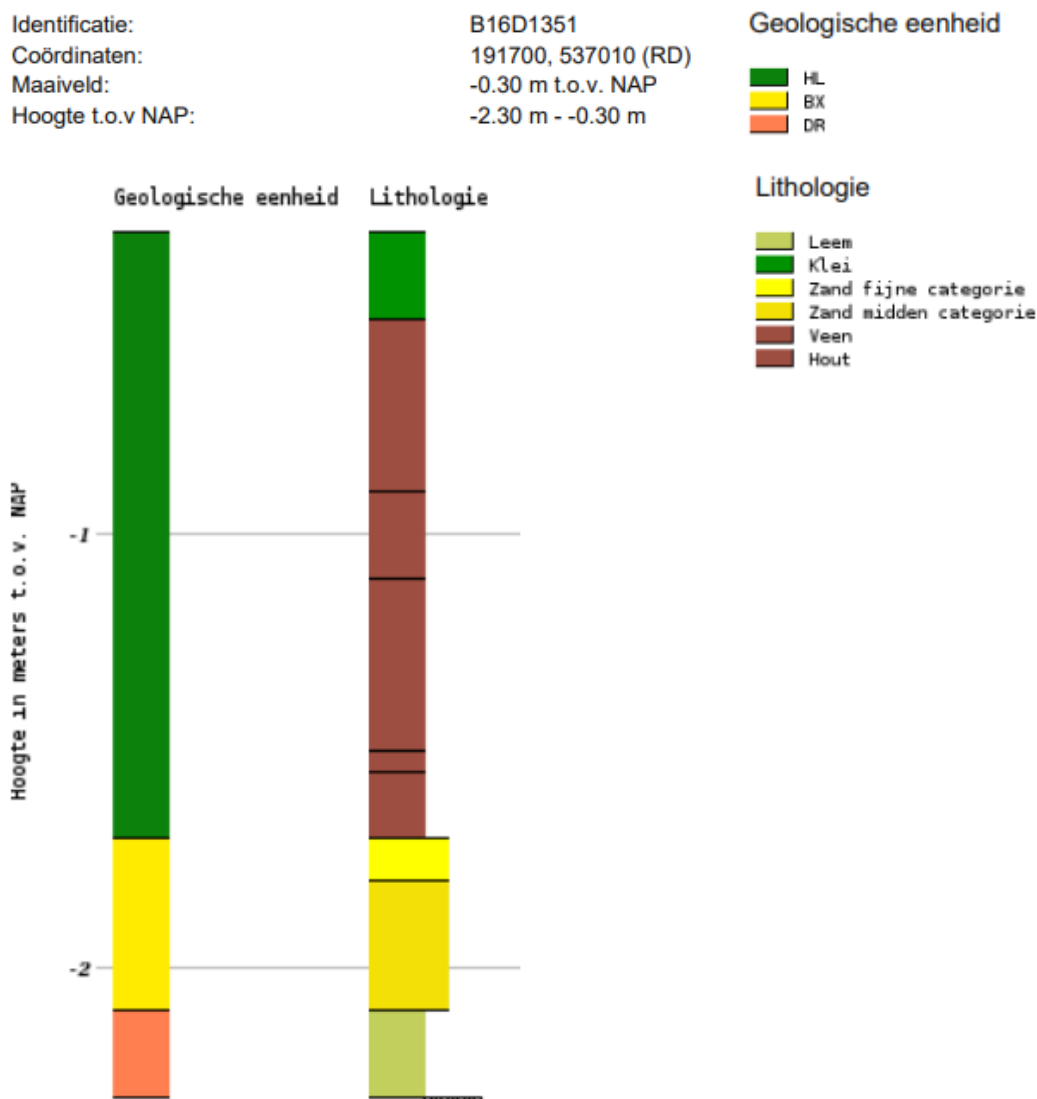
Een meer recentere bodemkartering (2004) op enkele tientallen meters van de verschillende meetpunten op deze locatie laat hetzelfde beeld zien (Tabel 21). De bodem op de locatie Oldemarkt bestaat uit een laag van ca. 25 cm matig zware klei en daaronder een veenlaag. Het bodemtype is waardveengrond op veenmosveen.

Tabel 21 Profielbeschrijving van de grond (Bron: BROLOKET boring op 191263.000 (x), 536816.000 (y) in 2004).

Diepte M -mv	Horizont	Bodemkundige grondsoort
0,00-0,25	ACg	Matig zware klei
0,25-0,40	Cu	Veen
0,40-0,65	Cr	Veen
0,65-1,50	Cw	Veen

Diepere ondergrond

De dikte van de Holocene deklaag in Oldemarkt is ca. 1,4 m (Figuur 28). Dit profiel is gevonden op enkele tientallen meters van de meetpunten van deze locatie. De eerste 30 cm worden gevormd door een kleilaag, met daaronder een veenlaag direct op het Pleistocene zand.

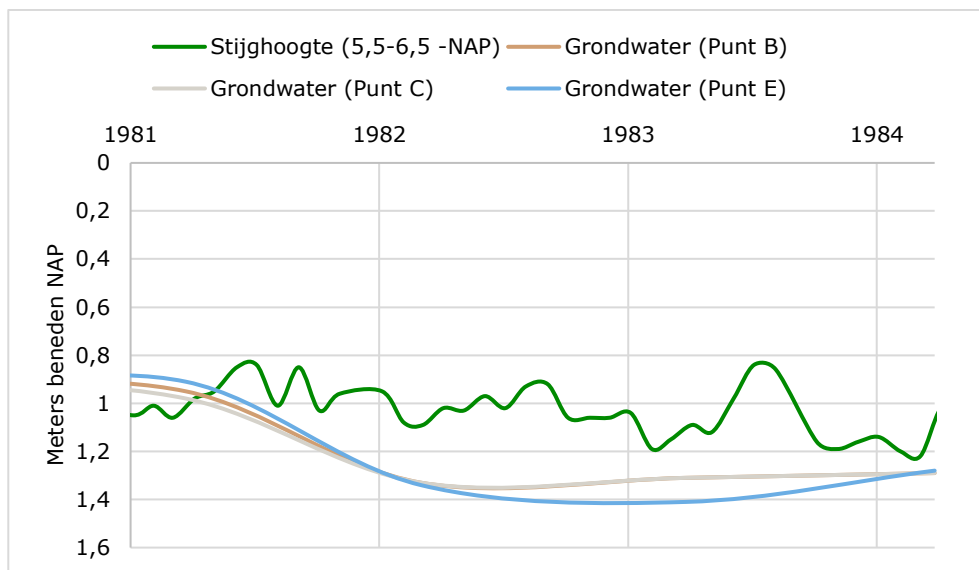


Figuur 28 Dikte en samenstelling Holocene deklaag in Oldemarkt (Bron: DGM v2.2, boring B16D1351).

Geohydrologie

In Figuur 29 zijn de gemeten grondwaterstanden weergegeven voor meetpunt B, D en E van de locatie Oldemarkt. Daarnaast is ook de stijghoogte zoals gemeten bij peilbuis B16B0114 weergegeven. Deze peilbuis meet op een diepte van 5,5-6,5 m onder NAP en is gelegen op ca. 1,3 km van de meetlocaties. Op basis van

het LHM kan worden geconcludeerd dat op de locatie zelf de stijghoogte van het diepere grondwater ongeveer 20 cm lager is dan dit niveau. De gemeten stijghoogte op deze diepte in de jaren 80 is ca. 1 à 1,2 m onder NAP. De grondwaterstanden zijn ongeveer gelijk aan de stijghoogte van het diepere grondwater (na correctie van de hierboven genoemde 20 cm).



Figuur 29 Vergelijking tussen de gemeten grondwaterstanden (meetpunt B,D en E) in Oldemarkt en de stijghoogte zoals gemeten op 5,5-6,5 m onder NAP (Bron: Grondwaterstanden in Beeld, buis B16B0114).

4.7 Spannenburg

Bodemopbouw

In 1977 bestond de ondiepe bodem op de locatie Spannenburg uit een laag van ca. 15 cm venige klei op een opeenvolging van lagen schalter- en mosveen (Tabel 22).

Tabel 22 Profielbeschrijving van de Spannenburg (Bron: Luten et al., 1984).

Diepte M -mv	Bodemkundige grondsoort
0,00-0,15	Venige klei
0,15-0,35	Bruin ingedroogd schalterveen
0,40-0,70	Zwart verweerd mosveen
>0,70	Bruin niet verweerd mosveen

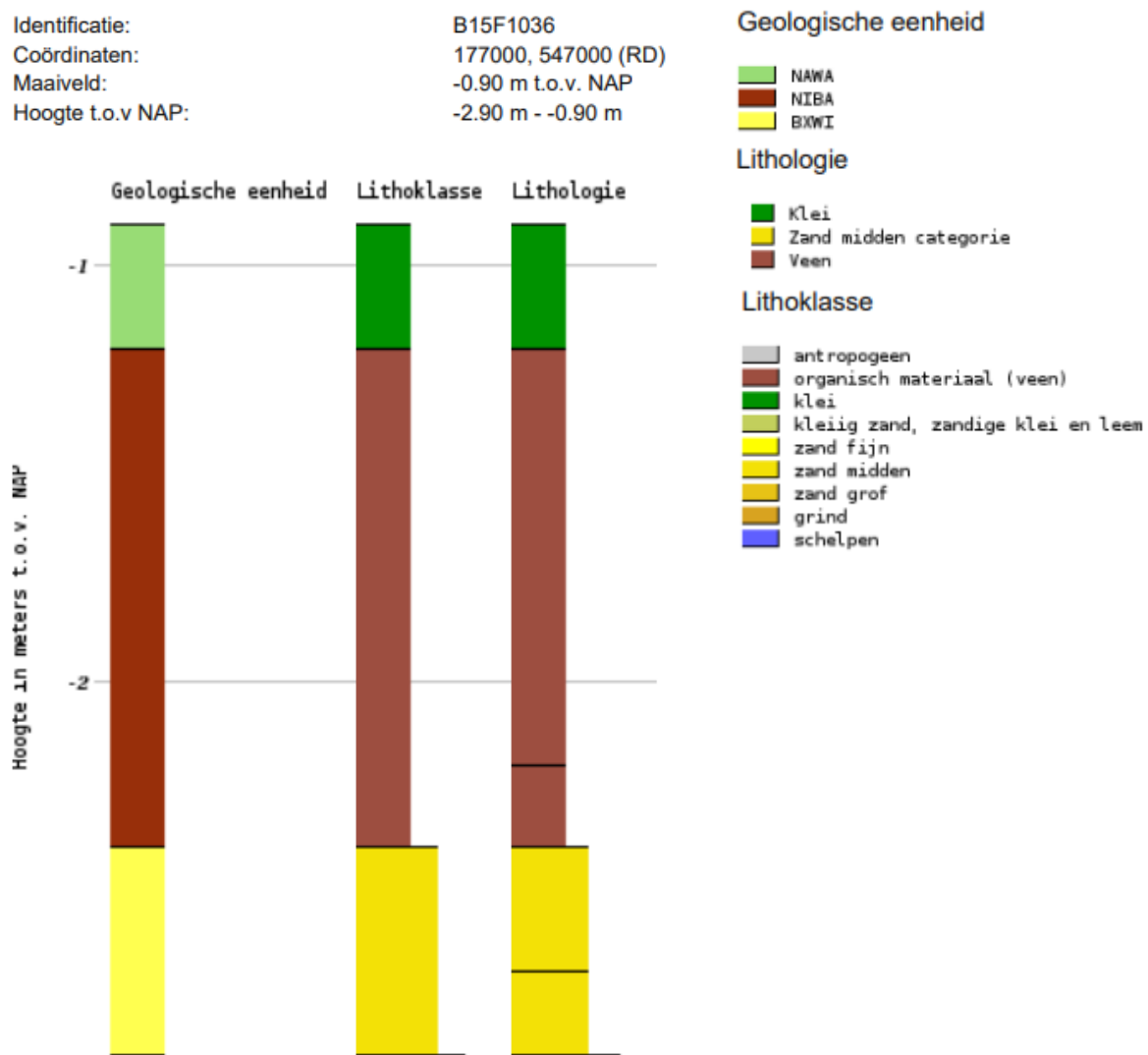
Een bodemkartering uit 1980 op enkele meters van de meetpunten op deze locatie laat hetzelfde beeld zien (Tabel 23). De bodem op de locatie Spannenburg bestaat uit een laag van ca. 15 cm zware zavel. Daaronder bevindt zich de veenlaag, die overgaat in een zwak lemige zandlaag. Het bodemtype is weideveengronden op zand.

Tabel 23 Profielbeschrijving van de grond (Bron: BROLOKET boring op 176950 (x), 547028 (y)).

Diepte M -mv	Horizont	Bodemkundige grondsoort
0,00-0,15	A	Zware zavel
0,15-0,80	Cu	Veen
0,80-1,10	Cr	Veen
1,10-1,50	Cr	Zwak lemig zand

Diepere ondergrond

De dikte van de Holocene deklaag in Spannenburg is ca. 1,5 m (Figuur 30). Dit profiel is gevonden op enkele meters van de meetpunten van deze locatie. De eerste 30 cm worden gevormd door een kleilaag, met daaronder een veenlaag direct op het Pleistocene zand.

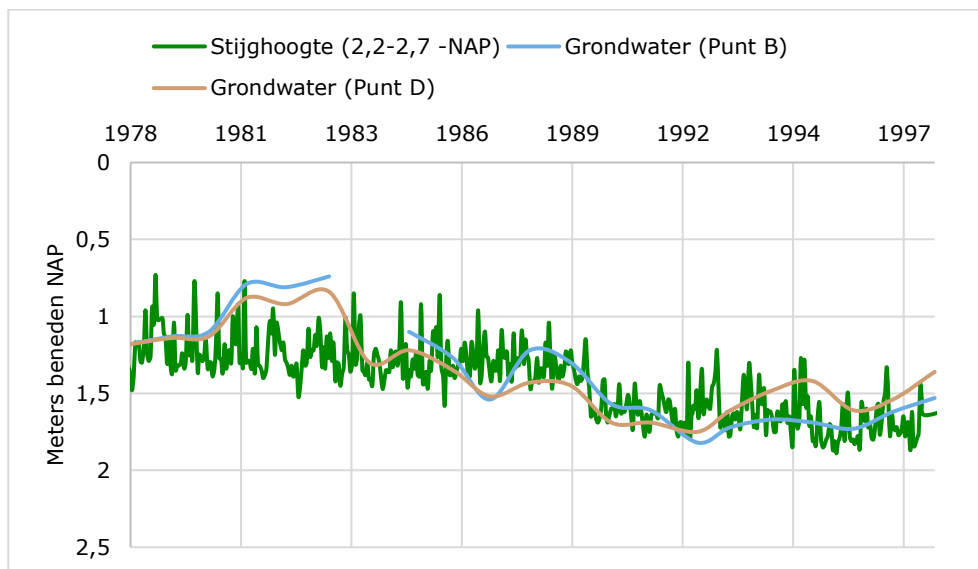


Figuur 30 Dikte en samenstelling Holocene deklaag in Spannenburg (Bron: GEOTOP, boring B15F1036).

Geohydrologie

In Figuur 31 zijn de gemeten grondwaterstanden weergegeven voor meetpunten B en D van de locatie Spannenburg. Daarnaast is ook de stijghoogte zoals gemeten bij peilbuis B15F0107 weergegeven. Deze peilbuis meet op een diepte van 2,2-2,7 m onder NAP en is gelegen op 2,4 km van de meetlocaties. Op basis van het LHM kan worden geconcludeerd dat op de locatie zelf de stijghoogte van het diepere grondwater

ongeveer gelijk is aan dit niveau. De stijghoogte op deze diepte daalt over tijd. De grondwaterstanden laten globaal eenzelfde beweging zien.



Figuur 31 Vergelijking tussen de gemeten grondwaterstanden (meetpunten B en D) in Spannenburg en de stijghoogte zoals gemeten op 2,2-2,7 m onder NAP (Bron: Grondwaterstanden in Beeld, buis B15F0107).

4.8 Polder Oldelamer

In 1966 bestond de ondiepe bodem op de locatie Oldelamer uit een laag van ca. 10 cm kleig veen op een opeenvolging van veenmos- en zeggeveenlagen (Tabel 24). Een meer recente boring (2018) op deze locatie laat zien dat de bovenste laag nu wordt geclassificeerd als zandig veen (Tabel 25). Het bodemtype is vlierveengronden op veenmosveen.

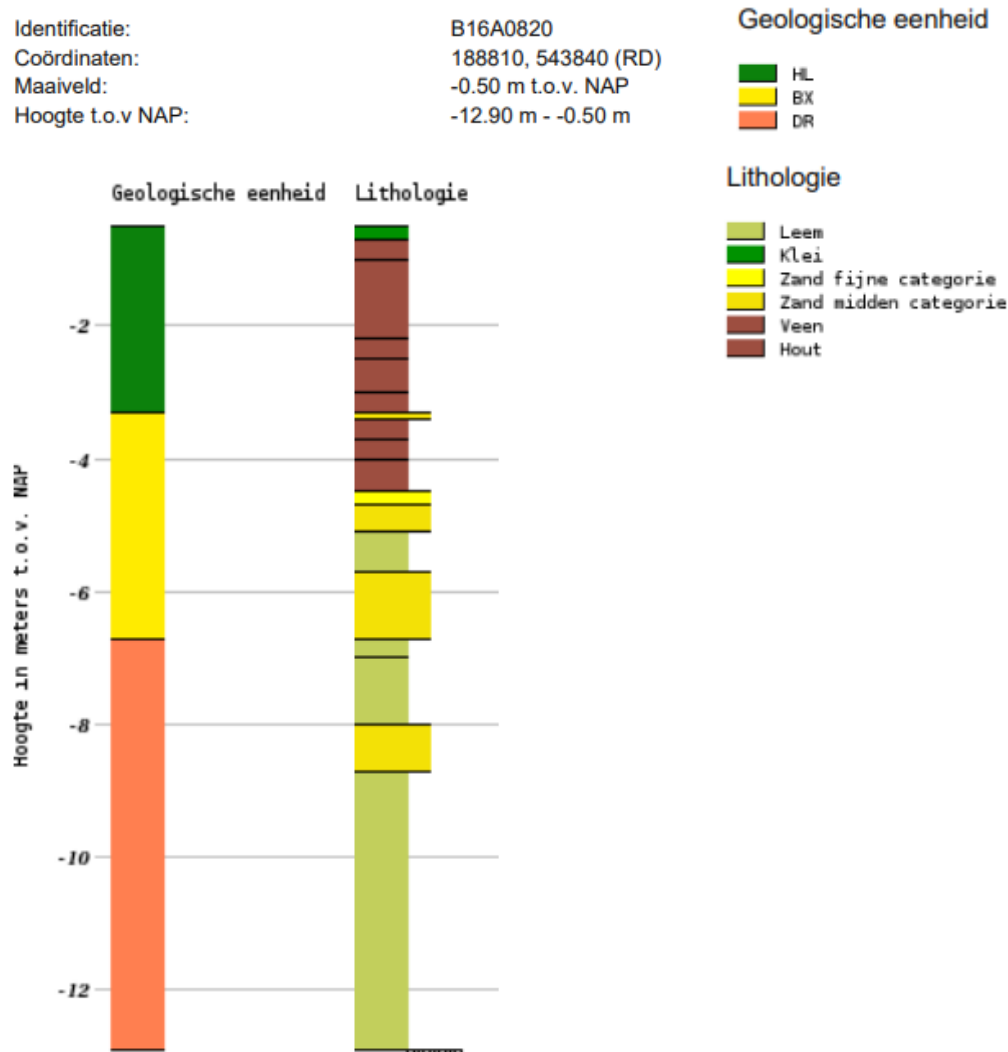
Tabel 24 Profielbeschrijving van de Oldelamer (Bron: Van den Akker, 1966).

Diepte M-mv	Bodemkundige grondsoort
0,00-0,10	Kleig Veen
0,10-0,50	Zwart veenmosveen
0,50-0,60	Zwart zeggeveen
0,60-2,00	Bruin zeggeveen

Tabel 25 Profielbeschrijving van de grond (Bron: BROLOKET boring op 188658.000 (x), 543573.000 (y) in 2018).

Diepte M -mv	Horizont	Bodemkundige grondsoort
0,00-0,20	Ah	Zandig Veen
0,20-0,50	Cw	Veen
0,50-1,50	Cr	Veen

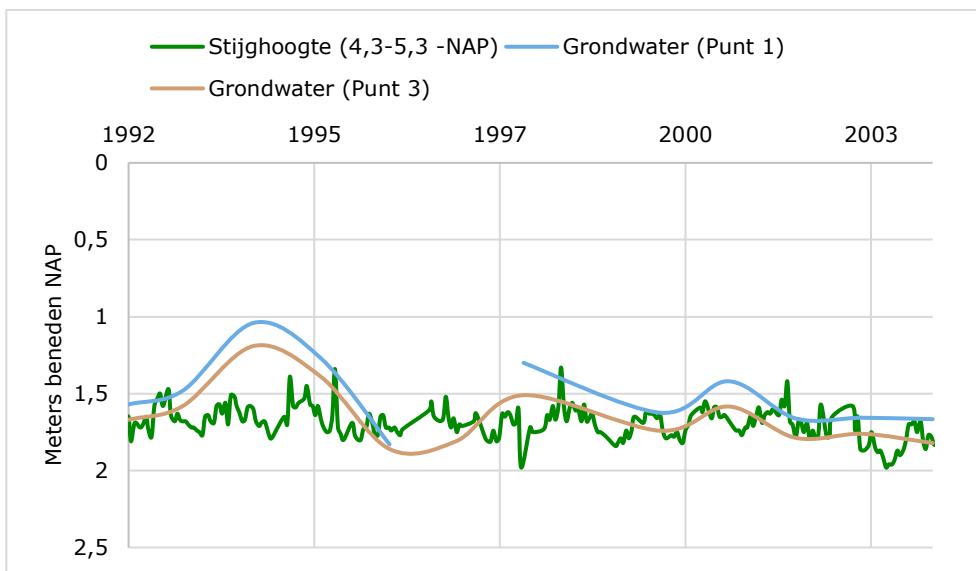
De deklaag op het Pleistocene zand in Oldelamer is ca. 4 m (Figuur 32). Dit profiel is gevonden op ca. 100 m van de meetpunten van deze locatie. De eerste 20 cm worden gevormd door een kleilaag, met daaronder een veenlaag direct op het zand.



Figuur 32 Dikte en samenstelling Holocene deklaag in Oldelamer (Bron: DGM v2.2, boring B16A0820).

Geohydrologie

In Figuur 33 zijn de gemeten grondwaterstanden weergegeven van meetpunten 1 en 3 op de locatie Oldelamer. Daarnaast is ook de stijghoogte zoals gemeten bij peilbuis B16A0176 weergegeven. Deze peilbuis begeeft zich op enkele honderden meters van de locatie. Deze peilbuis meet op een diepte van 4,3-5,3 m onder NAP. In de periode tussen 1992 en 2004 beweegt de stijghoogte zich hier rond de 1,7 m onder NAP. De grondwaterstand bij punt 1 is vrijwel altijd hoger dan deze hoogte. Bij punt 3 is in het begin van de jaren 90 de grondwaterstand hoger dan deze hoogte, het slootwaterpeil is echter stelselmatig lager.



Figuur 33 Vergelijking tussen de gemeten grondwaterstanden (meetpunten 1 en 3) in Oldelamer en de stijghoogte zoals gemeten op 4,3-5,3 m onder NAP (Bron: Grondwaterstanden in Beeld, buis B16A0176).

5 Meetmethode

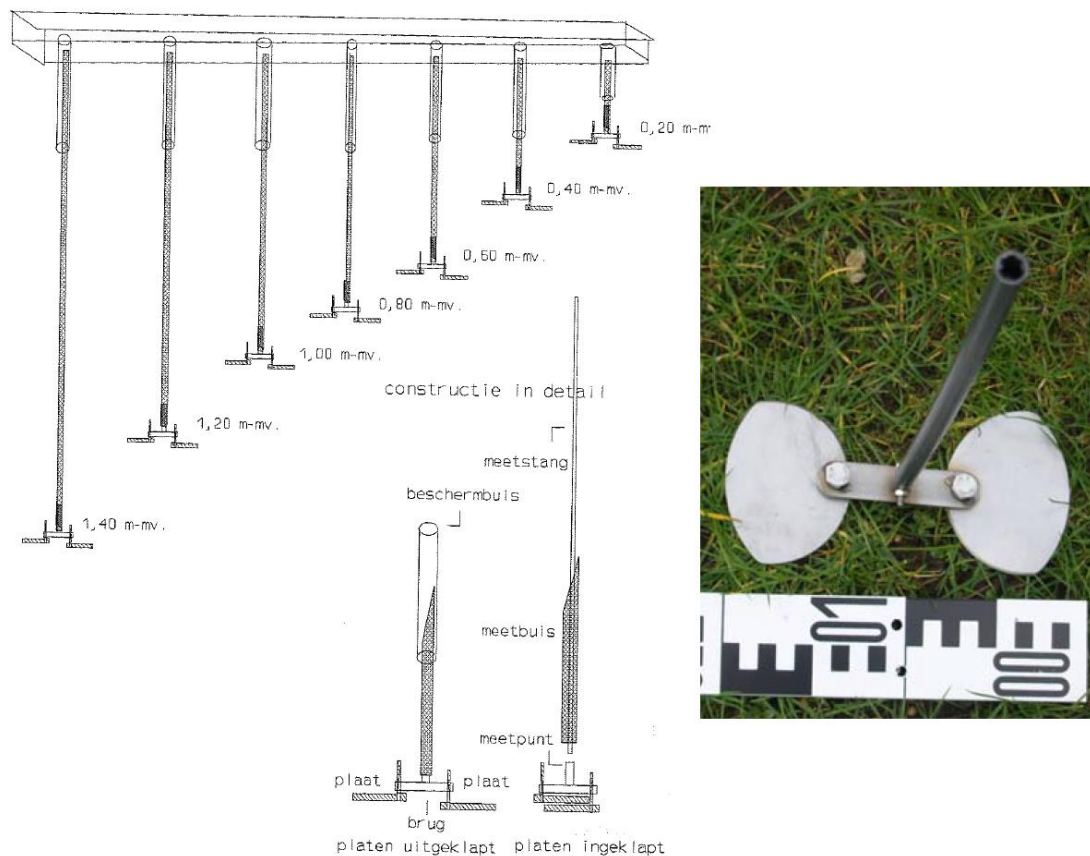
5.1 Bodembeweging en bodemdaling

5.2 Metingen

Om de beweging van de bodem te bepalen, zijn diverse metingen verricht. Zo zijn het maaiveld en de specifieke bodemlagen (tot 1,4 m -mv) op een specifieke locatie gemeten. Deze metingen zijn gerelateerd aan een vast meetpunt om daarmee een NAP-waarde te krijgen. Daarnaast is bij enkele locaties de hoogte van het maaiveld gemeten langs raaien om een beeld te krijgen van de bodembeweging in een perceel.

Zakplaatjes

Zakplaatjes bestaan uit twee aan elkaar verbonden metalen plaatjes (Figuur 34) en worden al meer dan vijftig jaar gebruikt om bodemdaling in het veenweidegebied te meten (bv. Schothorst, 1977, 1982; Massop et al., 2024). De plaatjes kunnen via een boorgat worden geïnstalleerd. Als de plaatjes op de gewenste diepte zijn, kunnen ze worden gedraaid, zodat ze in het veen snijden en zo gefixeerd worden (wat betekent dat ze de verticale beweging van het veen op installatiediepte volgen). Een pvc-buis is verbonden met de plaatjes en reikt tot ongeveer 15 cm onder het bodemoppervlak. Het bovenste deel van de pvc-buis wordt beschermd door een bredere extra buis met de bovenkant een paar cm onder het maaiveld. Verdere bescherming wordt geboden door een houten kist die de bovenkant van de buizen omsluit. De kist is open aan de onderkant en gesloten aan de bovenkant en is zo ontworpen dat vee en tractoren over de kist kunnen lopen/rijden zonder schade te veroorzaken. De kist kan worden verwijderd om de hoogte van de plaatjes periodiek te meten met behulp van waterpassing. Voor het meten van de hoogte kan een metalen staaf van bekende lengte in de pvc-buis worden gestoken en wanneer deze op het zakplaatje rust, kan de bovenkant van de staaf worden gemeten met een landmeterwaterpas. Door een reeks zakplaatjes op verschillende diepten te installeren, is het mogelijk om de verticale bodembeweging op verschillende diepten te bepalen, waardoor ook kan worden bepaald waar in het bodemprofiel bodemdaling optreedt.



Figuur 34 Zijaanzicht van de opstelling met zakplaten in het bodemprofiel en de constructie van een zakplaat in detail (Beuving en Van den Akker, 1996) (links) en foto van een uitgeklapte zakplaat op maaiveld (rechts).

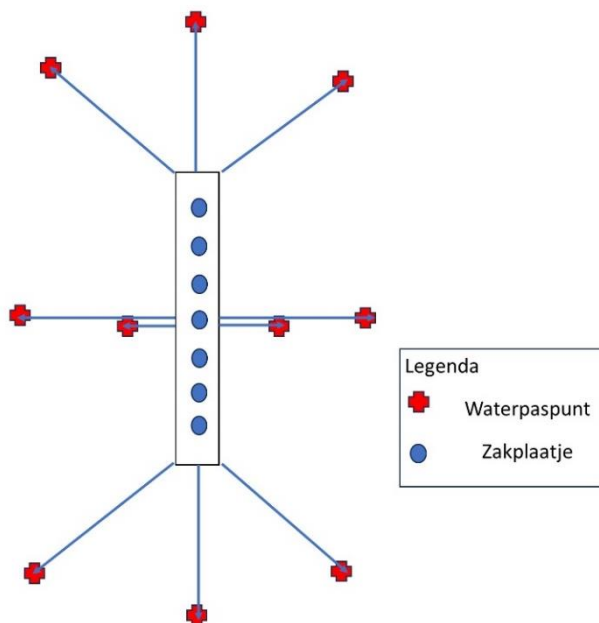
De zakplaten bestaan uit twee draaibaar aan een brug gemonteerde platen met een diameter van 0,08 m. Met twee stangen en een sleutel worden de twee platen op de bodem van het boorgat naar buiten gedraaid in het ongestoorde profiel. In zeven verschillende boorgaten op 0,20 m van elkaar iedere 0,20 m van 0,20 t/m 1,40 m -mv zijn platen aangebracht in het bodemprofiel.

Maaiveldhoogte

De hoogte van het maaiveld wordt gemeten middels waterpassing van tien locaties rond de zakplaatjes (Figuur 35) op afstanden van 1,0 en 0,4 m. De gemiddelde waarde wordt als maaiveldhoogte aangehouden.

Vaste punten

Om regelmatig en betrouwbaar te kunnen meten, zijn bij alle plekken vaste punten aangebracht door ijzeren buizen door het veenpakket tot in de zandondergrond te trillen (zakbakens) waarvan de hoogten op diverse momenten zijn ingemeten vanaf de peilmerken van de Meetkundige Dienst, Directie Rijkswaterstaat.



Figuur 35 Schema van de meting maaiveldhoogte rondom de kist met zakplaatjes; zakplaatjes zijn 20 cm van elkaar geplaatst.

5.3 Grondwaterstanden en slootpeilen

Grondwaterstanden

Naast het meten van de hoogten van de zakplaten en de maaiveldhoogten zijn ook de freatische grondwaterstanden gemeten. Op 3,0 m uit het midden van de meetopstellingen zijn in het verlengde van de meetopstelling een of twee freatische grondwaterstandbuizen geplaatst met een betontegel.

Slootpeilen

Naast de freatische grondwaterstanden worden op de locaties ook de peilen in de sloot bepaald.

5.4 Meetfrequentie

Meetfrequentie maaiveld en zakplaatjes

De 'zakplaten' zijn tot 1978 drie keer per jaar gemeten, namelijk in het voorjaar, in de zomer en vroeg in het najaar. De belangstelling ging hierbij onder andere uit naar de invloed van de weersomstandigheden op de krimp, het reversibel en irreversibel indrogen van het veen. Tussen 1977 en 1987 en na 1990 is de frequentie twee keer per jaar, namelijk alleen in het voorjaar en laat het in najaar. In 1981 is echter alleen de voorjaarssituatie vastgelegd. In 1988, 1989 en 1990 is opnieuw ook zomers gemeten in verband met aanvullend onderzoek naar oxidatie van veen (Bakker, 1990). Tussen 1999-2001 ontbreekt een deel van de metingen aan zakplaatjes. Voorjaar 2002 zijn alle metingen weer voortgezet waarbij in de periode 2003 t/m 2010 zowel een voorjaarmeting als een najaarsmeting is uitgevoerd.

Voorjaarsmetingen

Elk jaar in het vroege voorjaar, wanneer de grond doorweekt en gezwollen is, wordt de hoogte van het maaiveld en de platen gemeten met behulp van landmeetkundige waterpassing. Aangezien het tijdstip van de meting gebaseerd was op de veldomstandigheden, varieerde het van jaar tot jaar, maar het was bijna altijd in maart of april. Op deze manier worden de effecten van jaarlijkse schommelingen zo veel mogelijk beperkt.

Referentiepunt

De metingen van maaiveld en zakkingsplaten worden gerefereerd aan een vast punt. Dit is een metalen buis die in het zand onder de veenlaag is geslagen en als stabiel werd beschouwd (d.w.z. niet verzakkend). De hoogte van het maaiveld en de zettingsplaten is gemeten ten opzichte van het referentiepunt. Om de stabiliteit van de hoogteligging van de vaste punten te verifiëren, zijn ze sinds de installatie een paar keer ingemeten.

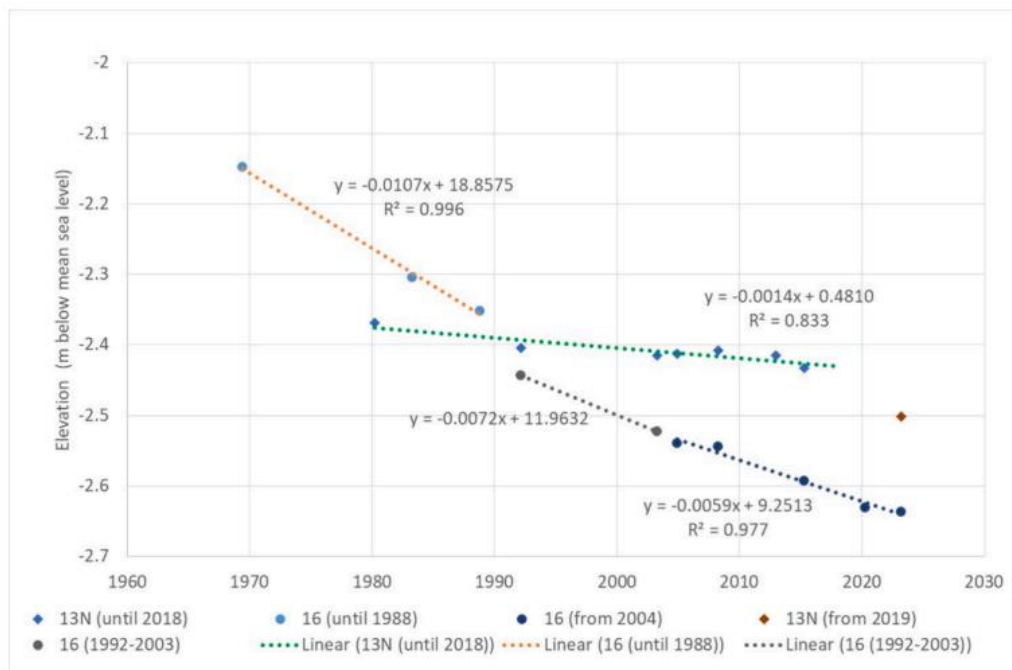
6 Data en data-analyse

6.1 Exploratieve analyse

In dit onderzoek is de focus gelegd op de langjarige irreversibele bodemdaling. Dit betekent dat alleen de dataset met de voorjaarsmetingen is geanalyseerd. De eerste stap is een visuele controle van de data; hiermee wordt snel zichtbaar of de data compleet zijn en of er opvallende afwijkingen zijn. De visuele inspectie is aangevuld met een eenvoudige statistische analyse, waarbij de waarden aan begin en eind van de metingen met elkaar zijn vergeleken. Dit is gedaan voor zowel het maaiveld als de diverse zakplaatjes. Op basis van de eerste analyse zijn delen van de dataset als onbetrouwbaar geclassificeerd en niet meegenomen in de verdere analyse. Een aantal algemene observaties:

- In 1999 is op geen van de locaties een meting uitgevoerd.
- De metingen laten over het algemeen een dalende trend zien. Wel is er in opeenvolgende jaren ook weleens sprake van een tijdelijke verhoging. Dit geeft aan dat de veldcondities in het voorjaar sterk wisselend kunnen zijn, waardoor reversibele zwel/krimp meer bepalend is in de meting.
- In de metingen komen soms opvallend sterke stijgingen en dalingen voor die niet direct verklaard kunnen worden uit klimatologische omstandigheden. Mogelijk dat hier sprake is van een verkeerde waterpassing of verkeerde verwerking van meetgegevens, maar dat is niet meer te achterhalen. Als dit op alle dieptes wordt waargenomen, is het wel een indicatie dat er iets mis kan zijn met de meetgegevens.
- In de eerste jaren na plaatsing van de zakplaatjes worden op diverse locaties snelle veranderingen gemeten. Dit kunnen zowel stijgingen (zie locaties Zegveld 8 en 11) als snelle dalingen zijn.
- Zakplaatjes zijn niet altijd op exact 20 cm verticale afstand van elkaar geplaatst. Hoogtemetingen van zakplaten kunnen extra onzekerheid hebben in vergelijking met hoogtemetingen aan het oppervlak, bijvoorbeeld door (ongedocumenteerde) veranderingen in de lengte van de staaf of doordat de staaf tijdens de meting niet goed op de zakplaat rust. Dit is een van de redenen waarom bij de verdere analyse niet gekeken wordt naar de individuele lagen van 20 cm, maar naar geaggregeerde blokken van 40 cm. Er wordt alleen gekeken naar meetreeksen of delen van meetreeksen waarbij de data van de zakplaatjes op 40, 80 en 120 cm -mv compleet zijn.
- Op een aantal locaties is de dikte van een bepaalde laag over de gehele meetperiode toegenomen (zie negatieve waarden). Dit komt doordat het diepere plaatje sneller daalt dan het bovenliggende plaatje waardoor de afstand tussen die twee groter wordt. Een mogelijke verklaring is dat de zakplaatjes naast elkaar zijn geplaatst en niet onder elkaar. Hierdoor meet elk zakplaatje in principe een andere kolom grond met mogelijk iets andere dalingseigenschappen. Dit zou duiden op korteaafstandsvariatie in dalingssnelheid, wat tot uiting zou kunnen komen in ongelijke maaiveldligging.
- Op een aantal locaties zijn nieuwe zakplaatjes geïnstalleerd, deels als vervanging van de oude, deels als nieuwe. De nieuwe zakplaatjes zijn niet meegenomen in de analyse, omdat ze veelal niet aansluiten bij de meetreeks van het oude zakplaatje.
- Alle metingen zijn gerelateerd aan een vast punt. Er zijn – met uitzondering van Zegveld – geen gegevens bekend of deze vaste punten daadwerkelijk stabiel zijn of dat gecorrigeerd is voor een zakkend vast punt. Van Zegveld is bekend dat sommige vaste punten geplaatst zijn in een niet-stabiele zandlaag en decimeters zijn verzakt. In de loop der tijd zijn de meetgegevens hiervoor gecorrigeerd (Massop et al., 2024) (Figuur 36). Met name de laatste tien jaar laten de gegevens van Zegveld veel op- en neergaande bewegingen zien, waarvan niet uit te sluiten is dat dit deels veroorzaakt wordt door niet of niet goed gecorrigeerde data. Verder is er op Zegveld ook veel geëxperimenteerd met infiltratiedrains en drukdrains.
- De gemeten grondwaterstanden laten in het voorjaar nog grote variatie zien en zijn daarom voor een langjarige analyse niet bruikbaar. Slooppeilen laten een veel stabiel patroon zien.

De data van de individuele meetlocaties zijn weergegeven in de diverse figuren in dit hoofdstuk. De tabellen laten een eerste grofstoffelijke analyse zien die vooral bedoeld is om inconsistenties in data te achterhalen, voor de verdere analyse zijn ze niet gebruikt. De tabellen zijn gebaseerd op de begin- en eindwaarde van de meetreeks en geven een gemiddelde verandering over de gehele meetperiode.

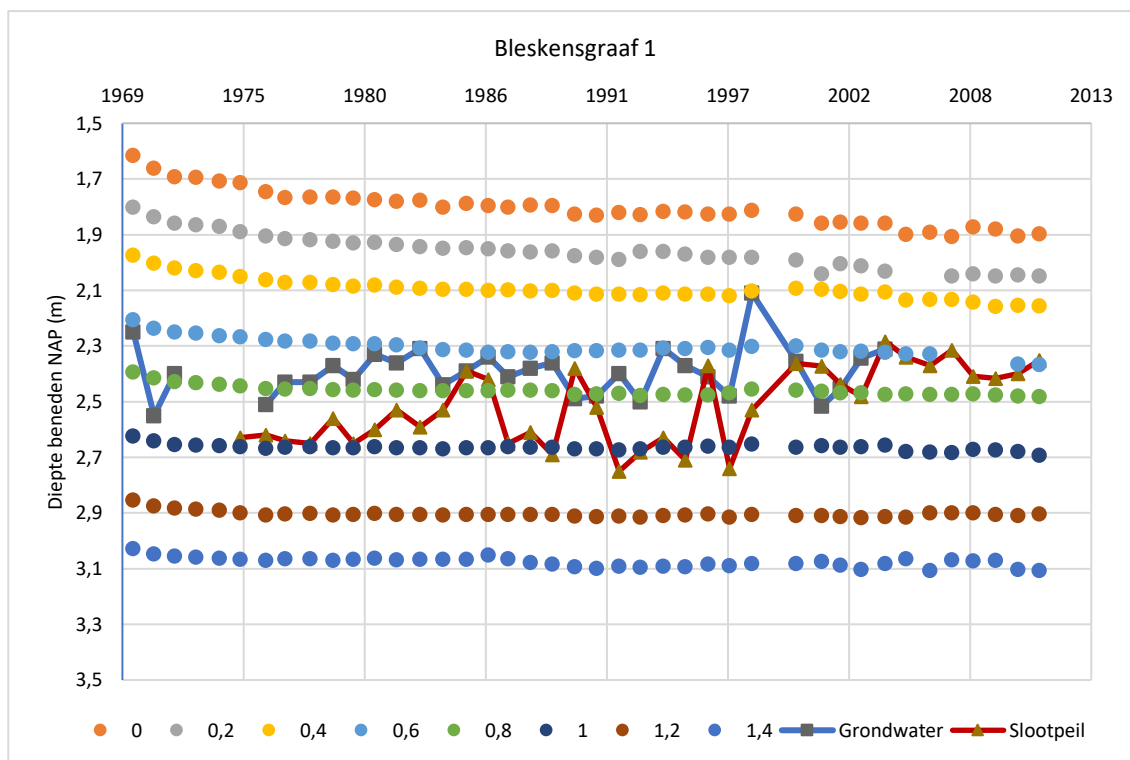


Figuur 36 Hoogte van de vaste punten van locatie 13 en 16 Zegveld (Massop et al., 2024).

6.1.1 Bleskensgraaf

De datareeksen voor de locatie Bleskensgraaf lijken van redelijke goede kwaliteit. Een aantal opvallende zaken:

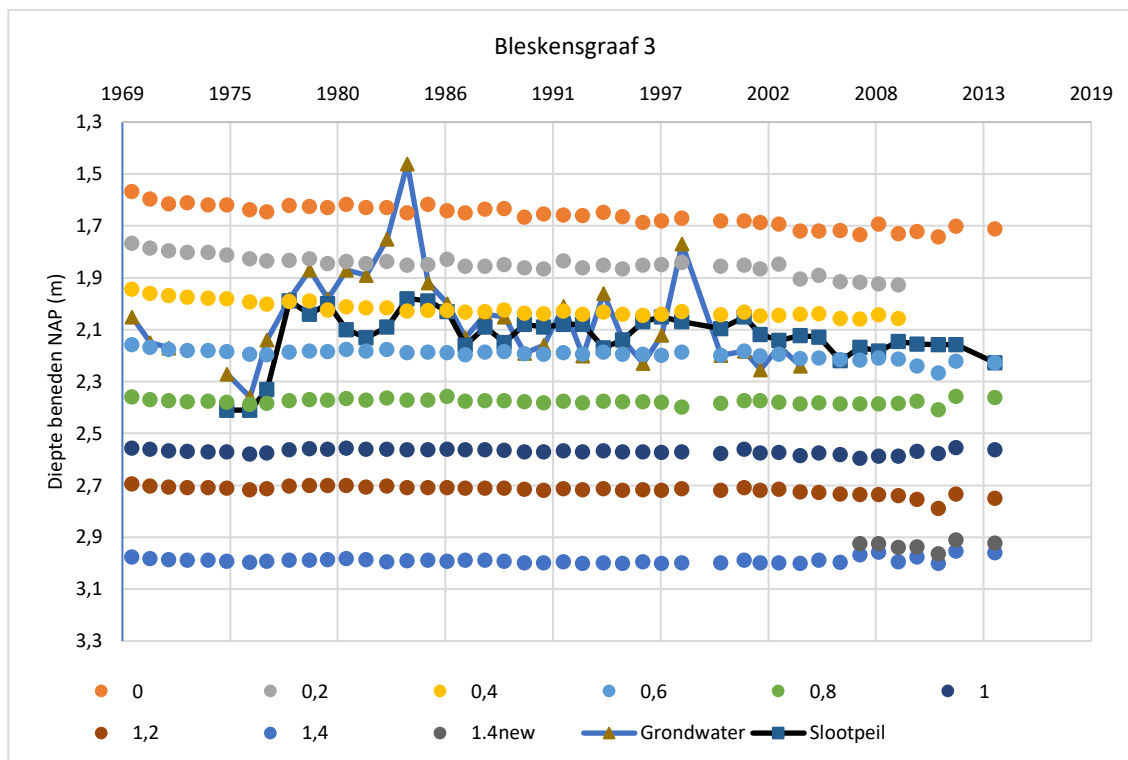
- Met uitzondering van de metingen in 1999 (dit geldt voor alle meetlocaties) ontbreken er geen data voor de maaiveldhoogte.
- Voor meetpunt 3 en 5 ontbreken in de laatste jaren de gegevens van het zakplaatje op -20 cm en voor meetpunt 3 ook de gegevens voor het zakplaatje op -40 cm.
- Bij het zakplaatje op -80 cm bij meetpunt 5 is een abrupte daling te zien in 2009, die niet wordt waargenomen in andere jaren. In 2010 is er een abrupte stijging te zien bij zakplaat op -120 cm.
- In zijn algemeenheid vertonen de data na 2006 geen dalende trend meer, maar bewegen ze op en neer.
- Voor meetpunt 3 lijkt het zakplaatje op -1,2 m niet goed geplaatst, deze is bij het begin van de data reeks maar -1,13 m lager dan het maaiveld.
- Meetpunt 3 heeft vanaf 2007 een extra zakplaat op 1,4 m -mv.
- Het slootpeil voor meetpunt 1 lijkt vanaf 1997 verhoogd te zijn met 30 cm tot 2,50 m - NAP (ca. 50 cm -mv).
- Het slootpeil voor meetpunt 3 lijkt vanaf 1975 verhoogd te zijn met 40 cm tot 2,10 m -NAP.



Figuur 37 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Bleskensgraaf 1.

Tabel 26 Daling maaiveld en zakplaatjes Bleskensgraaf 1.

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	0,69	0,60	0,44	0,39	0,21	0,17	0,12	0,19
Totale afname per laag in cm		3,55	6,50	2,10	7,30	2,00	1,80	-2,80
Samenstelling Bodem		Kleiig Veenv	Kleiig Veen/Veen	Veen	Veen	Veen	Veen	Veen

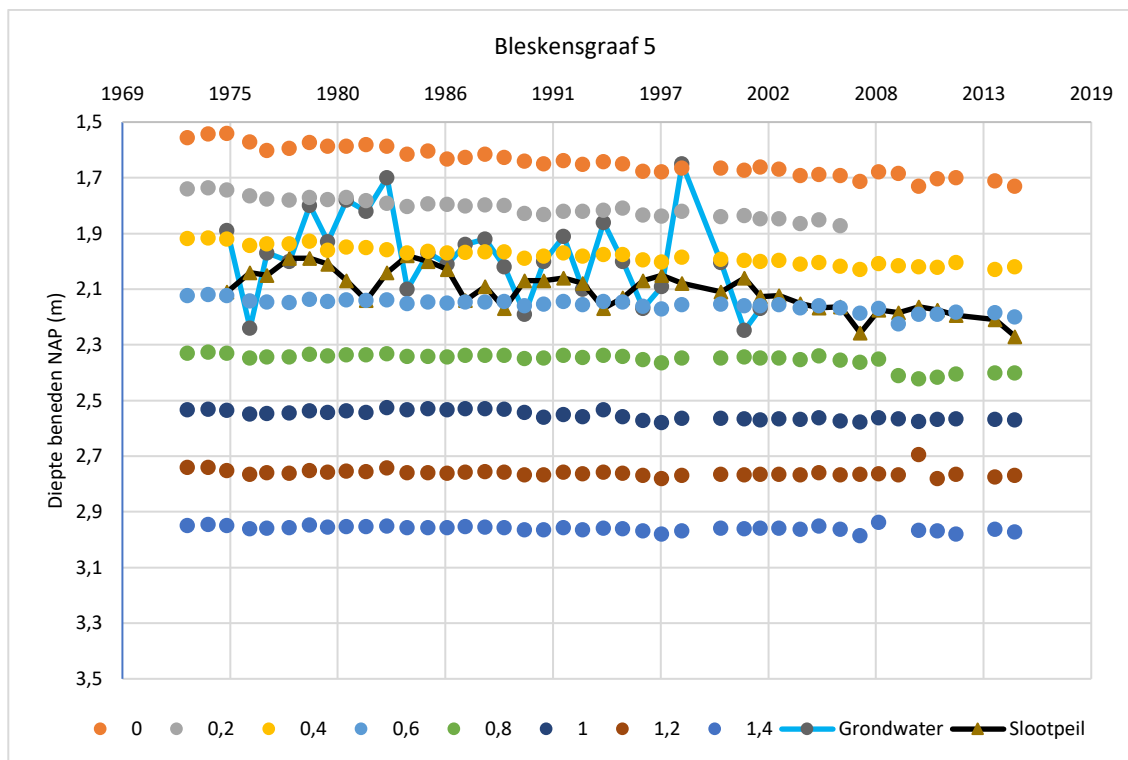


Figuur 38 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Bleskensgraaf 3.

Tabel 27 Daling maaiveld en zakplaatjes Bleskensgraaf 3.

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	0,33	0,36	0,26	0,16	0,00	0,01	0,12	-0,04
Totale afname per laag in cm		-1,43*	4,30*	5,00*	6,40	-0,80	-4,60	6,80

* Tot 2009



Figuur 39 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Bleskensgraaf 5.

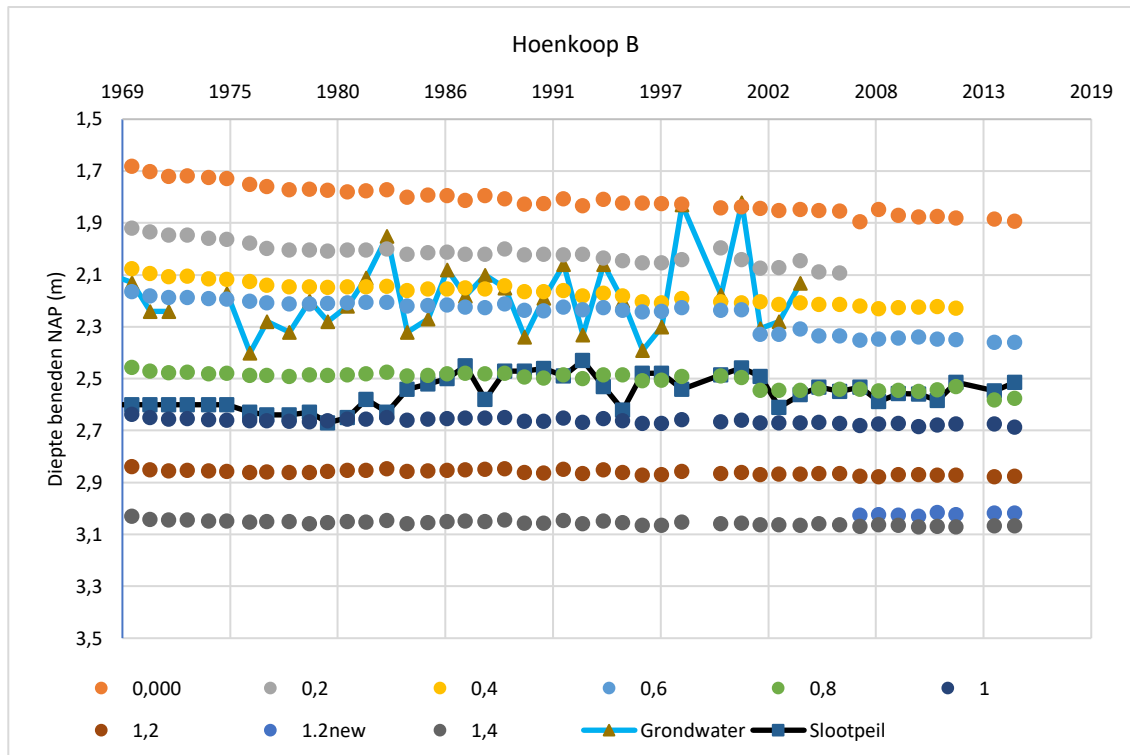
Tabel 28 Daling maaiveld en zakplaatjes.

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	0,41	0,40	0,24	0,18	0,17	0,09	0,07	0,05
Totale afname per laag in cm		0,28*	3,30	2,50	0,50	3,60	0,80	0,50

6.1.2 Hoenkoop

De datareeksen voor de locatie Hoenkoop lijken over het algemeen van goede kwaliteit. Ook hier zien we, net als bij Bleskensgraaf, een wat op- en neergaand patroon vanaf 2006.

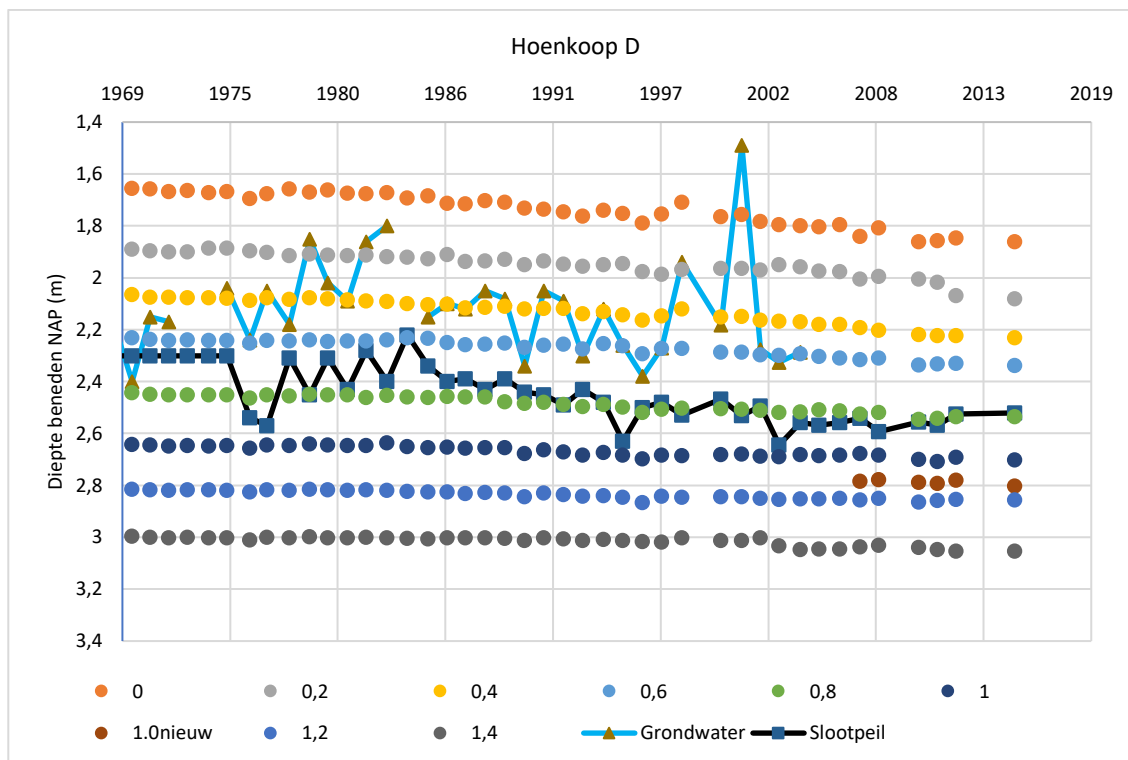
- Voor meetpunt B ontbreken gegevens over de zakplaatjes 20 (2007) en 40 cm (2012) maaiveld. Verder lijkt het zakplaatje op 60 cm tot 2002 te hoog te liggen, waarna het abrupt daalt.
- Voor meetpunt D valt vooral de scherpe daling van het zakplaatje op 20 cm in 2012 op.
- Het maaiveld van locatie D vertoont in 1997 en 1998 een sterke stijging.
- Voor alle locaties geldt dat aan het eind van de meetperiode er enkele nieuwe, diepe zakplaatjes zijn geplaatst.



Figuur 40 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Hoenkoop B.

Tabel 29 Daling maaiveld en zakplaatjes Hoenkoop B.

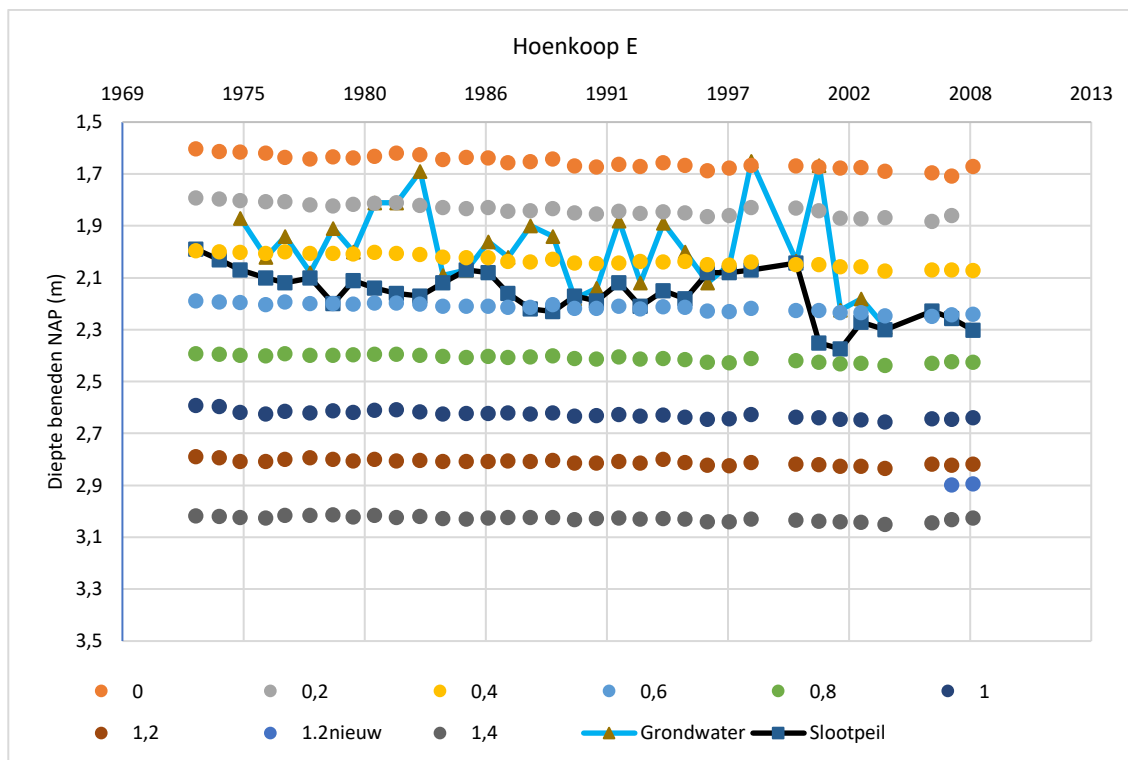
	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	0,50	0,49	0,37	0,44	0,27	0,12	0,10	0,05
Totale afname per laag in cm		0,71	3,80	-3,10	7,80	7,00	1,00	0,00
		Venige zware klei	Venige zware klei	Zwartbruin, verweerd slibhoudend veen	Zwartbruin, verweerd slibhoudend veen	Bruin bosveen met veel hout	Bruin bosveen met veel hout	Bruin bosveen met veel hout



Figuur 41 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Hoenkoop D.

Tabel 30 Daling maaiveld en zakplaatjes Hoenkoop D.

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	0,49	0,43	0,36	0,23	0,20	0,14	0,00	0,13
Totale afname per laag in cm		2,81	3,10	6,00	1,30	2,90	1,60	-1,30
		Venige zware klei	Venige zware klei	Zwartbruin, verweerd slibhoudend veen	Zwartbruin, verweerd slibhoudend veen	Bruin bosveen met veel hout	Bruin bosveen met veel hout	Bruin bosveen met veel hout



Figuur 42 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slooppeil en grondwaterstand, Hoenkoop E.

Tabel 31 Daling maaiveld en zakplaatjes Hoenkoop E.

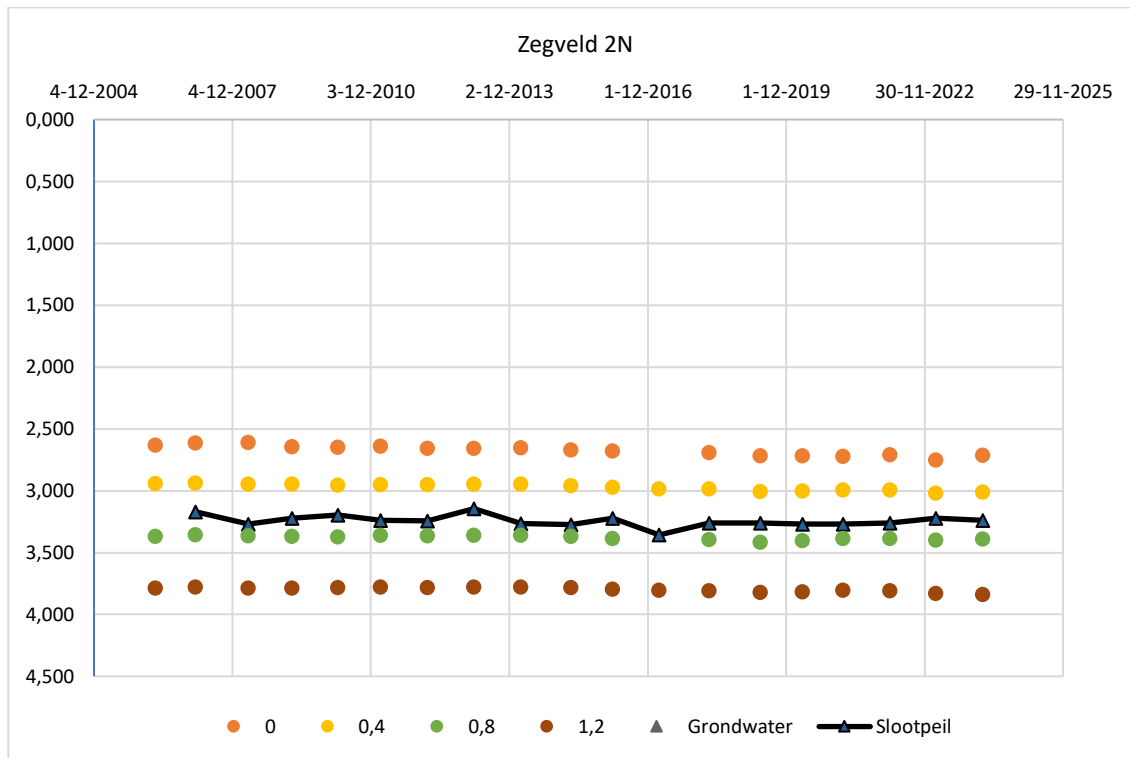
	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	0,19	0,20	0,22	0,15	0,09	0,14	0,08	0,02
Totale afname per laag in cm		3,70	-0,50	2,40	1,90	-1,50	1,90	2,20
		Venige zware klei	Venige zware klei	Zwartbruin, verweerd slibhoudend veen	Zwartbruin, verweerd slibhoudend veen	Bruin bosveen met veel hout	Bruin bosveen met veel hout	Bruin bosveen met veel hout

6.1.3 Zegveld

In Zegveld wordt op veertien locaties gemeten. In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat de meetsets van Zegveld de meeste onregelmatigheden bevatten. Dit is aan de ene kant te verklaren door de vele ingrepen die op de locaties zijn gedaan (peilbeheer, drainage, grondbewerking) en ook doordat de vaste punten niet stabiel bleken te zijn, waardoor data moesten worden gecorrigeerd. Die correctie is zo goed mogelijk uitgevoerd, maar het is niet uitgesloten dat dit op bepaalde locaties of tijdvlakken niet volledig is gelukt. Zeker de laatste vijftien jaar zien we op een aantal locaties meetwaarden fluctueren en minder trendmatig verlagen. Hieronder volgt per meetlocatie een specifieke toelichting over de data.

Meetpunt 2N

Meetpunt 2N heeft een beperkt aantal zakplaatjes. De grondwaterstand ontbreekt voor deze meting.



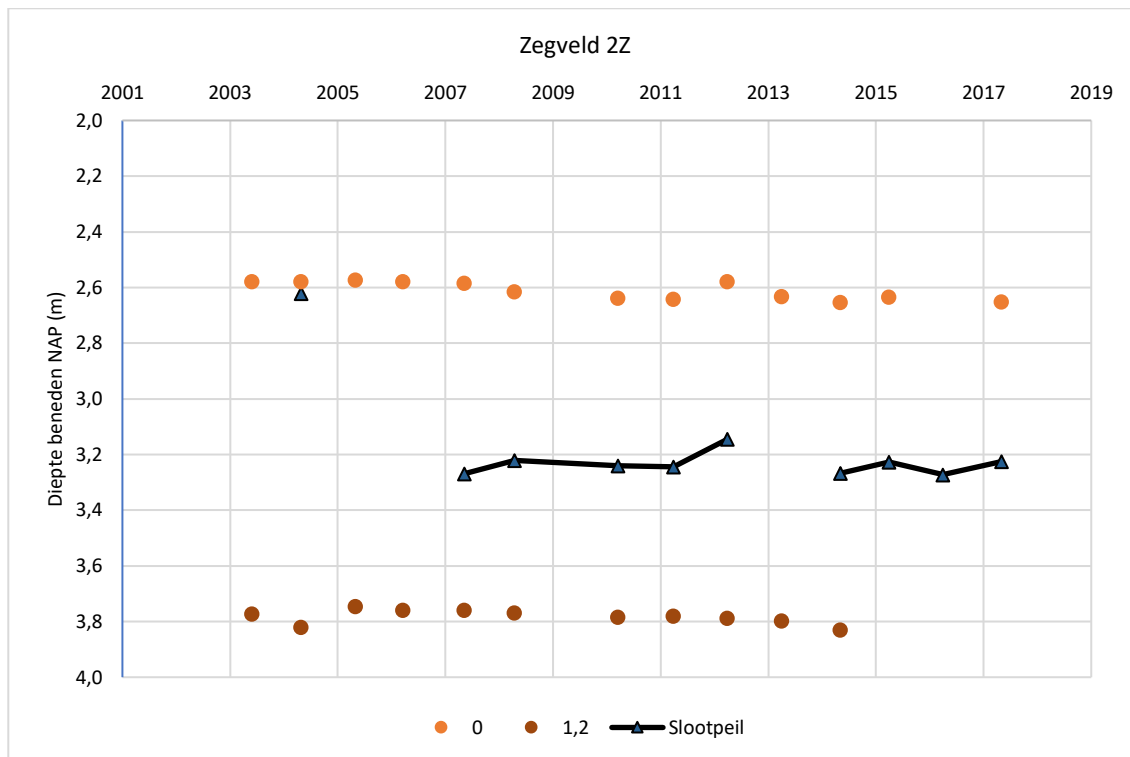
Figuur 43 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Zegveld 2N.

Tabel 32 Daling maaiveld en zakplaatjes Zegveld 2N.

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	0,46		0,59		0,08		0,28	
Totale afname per laag in cm			1,31		5,02		-3,44	
		Kleig veen	Veraard bosveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen

Meetpunt 2Z

Meetpunt 2Z heeft maar één zakplaatje. De grondwaterstand ontbreekt voor deze meting, slootpeil in 2005 is opmerkelijk hoog. Maaivelddata zijn meegenomen in de analyse; de zakplaatjes niet.



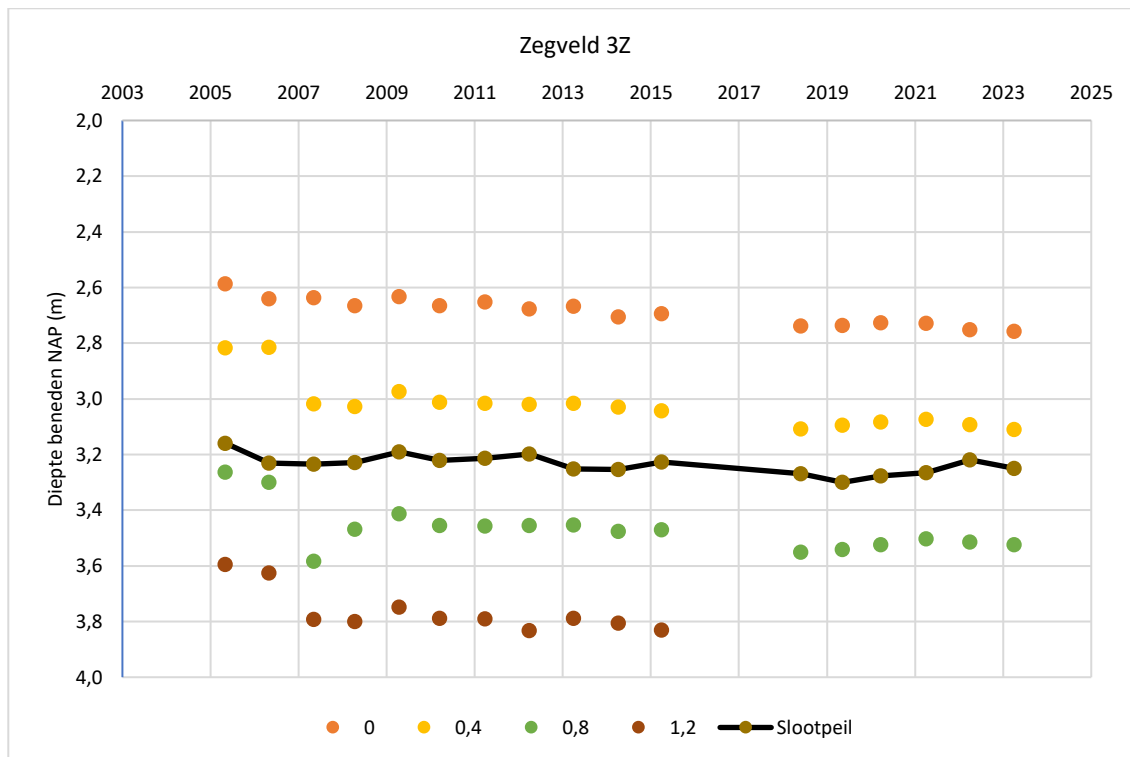
Figuur 44 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Zegveld 2Z.

Tabel 33 Daling maaiveld en zakplaatjes Zegveld 2Z.

Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	0,52					0,52	
Totale afname per laag in cm						1,80	
	Kleiig veen	Veraard bosveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen

Meetpunt 3Z

Van 2006-2008 maken de zakplaatjes 0,4 0,8 en 1,2 m een beweging naar beneden. Deze plaatjes beginnen ook op 0,2 en 0,6 en 1,0 m onder maaiveld. Zakplaatjes worden niet meegenomen in de verdere analyse.



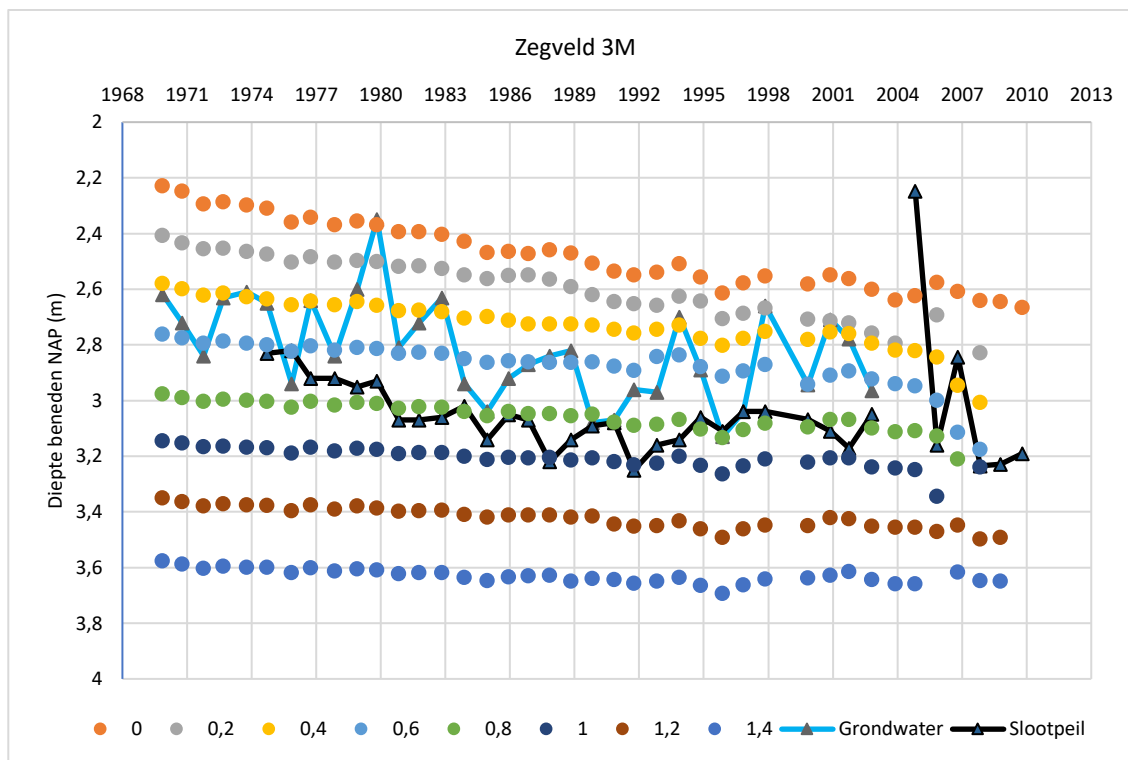
Figuur 45 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Zegveld 3Z.

Tabel 34 Daling maaiveld en zakplaatjes Zegveld 3Z.

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	0,95		1,64		1,45			
Totale afname per laag in cm			-12,38		3,34			
		Kleiig veen	Veraard bosveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen

Meetlocatie 3M

Data na 2005 laten op- en neergaande bewegingen zien, vooral voor de zakplaatjes. Een sterke stijging van het plaatje op 0,2 m en een scherpe daling van het plaatje op 1,0 m. Zakplaatje na 2005 worden niet meegenomen.



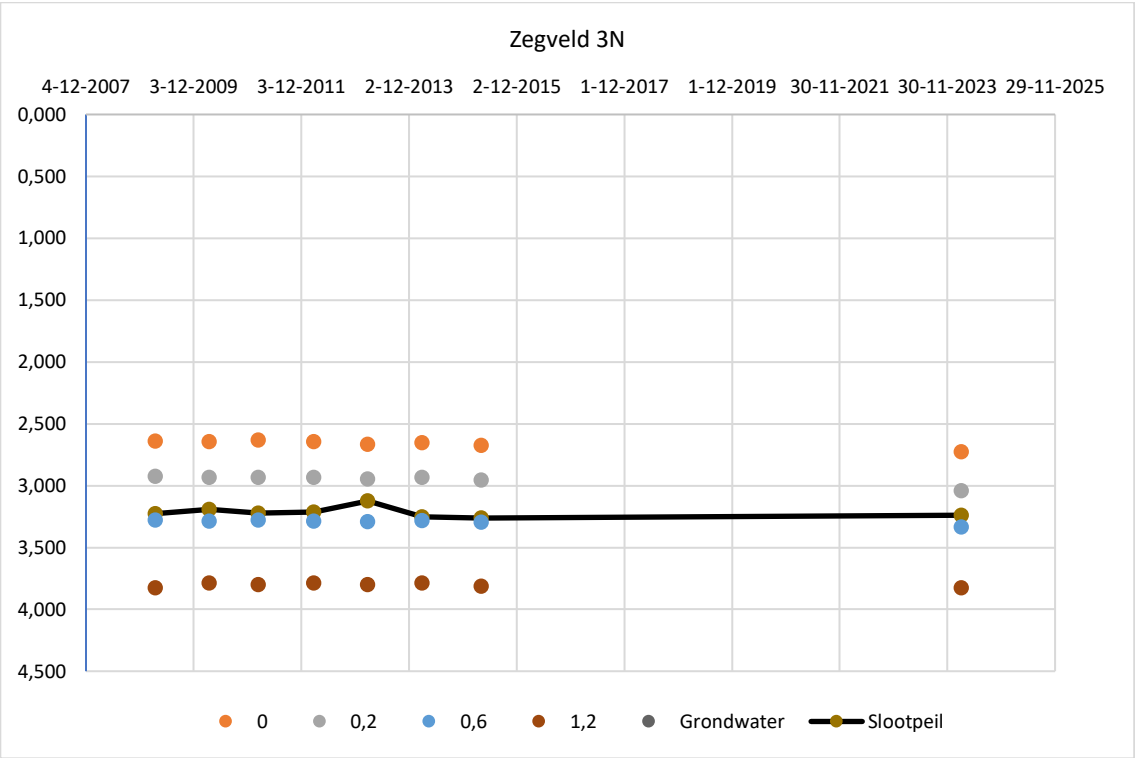
Figuur 46 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slooppeil en grondwaterstand, Zegveld 3M.

Tabel 35 Daling maaiveld en zakplaatjes Zegveld 3M.

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	1,10	1,11	1,12	1,09	0,63	0,25	0,36	0,19
Totale afname per laag in cm		-0,98*	-0,50*	1,30	8,70	-4,80	-5,30	6,80
		Kleiig veen	Veraard bosveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen

Meetlocatie 3N

In 2009 is meetlocatie 3N verplaatst. Data tussen 2015 en 2024 ontbreken. Locatie is in 2024 weer teruggevonden. Zakplaatjes worden niet meegenomen in de analyse.



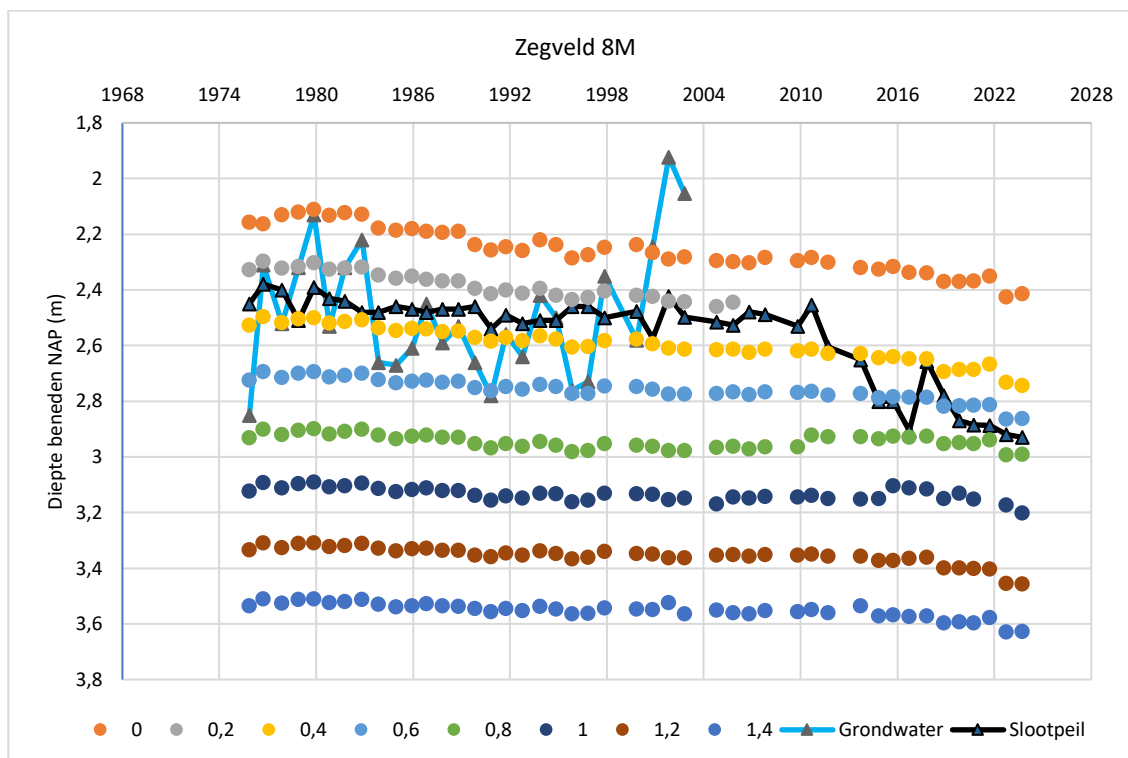
Figuur 47 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Zegveld 3N.

Tabel 36 Daling maaiveld en zakplaatjes Zegveld 3N.

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	0,58	0,79		0,36			0,00	
Totale afname per laag in cm		-3,14		6,53			5,36	
		Kleilig veen	Veraard bosveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen

Meetlocatie 8

Nadat de zakplaatjes zijn geïnstalleerd, vindt er hiervan een stijging plaats terwijl het maaiveld daalt. Verder is daling in de laatste twee jaar van bijna 7 cm opmerkelijk. Zakplaatjes en maaivelddata van de laatste twee jaar worden niet meegenomen. Alle zakplaatjes zijn 2024 ingemeten vanuit het in Perceel 15 geplaatste vast punt, deze is gefundeerd in de zandlaag op 12 m diepte en zou dus wel stabiel moeten zijn.



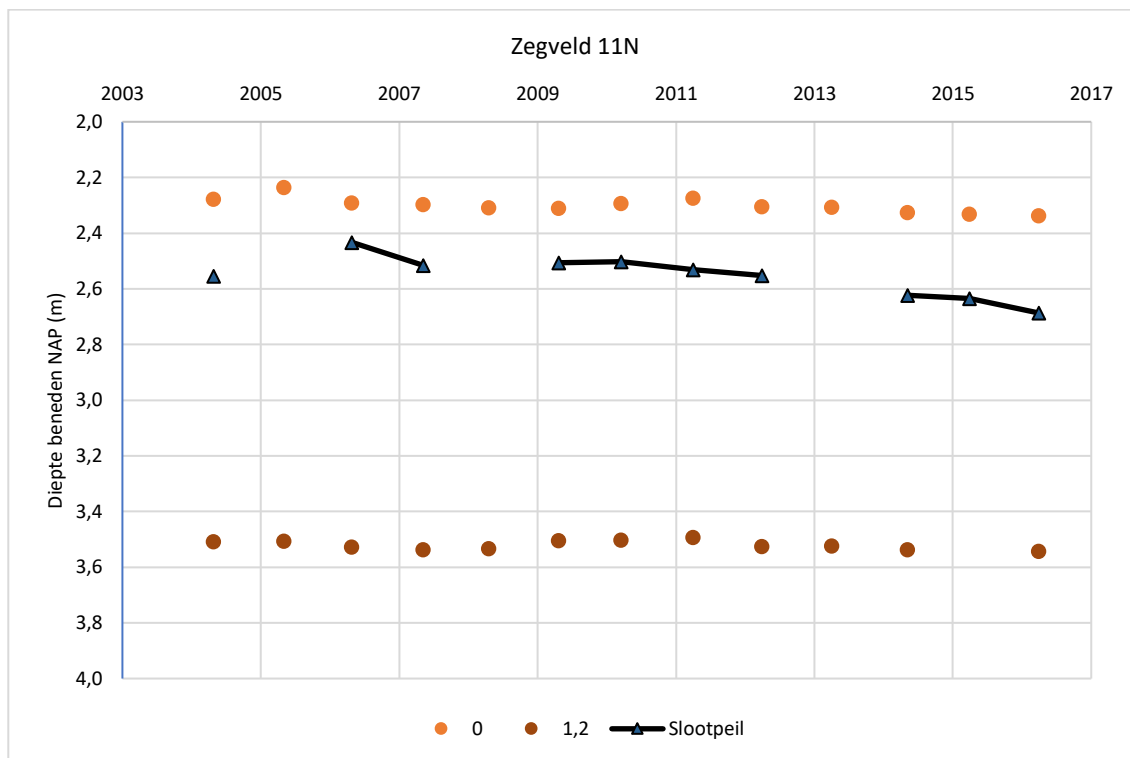
Figuur 48 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Zegveld 8M.

Tabel 37 Daling maaiveld en zakplaatjes.

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	0,54		0,45	0,29	0,12	0,17	0,26	0,19
Totale afname per laag in cm			5,70	7,54	7,64	-2,05	-4,09	3,24
		Kleig veen	Veraard bosveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen

Meetlocatie 11 N

11N heeft maar één zakplaatje op 1,2 m -mv en wordt niet gebruikt in de verdere analyse.



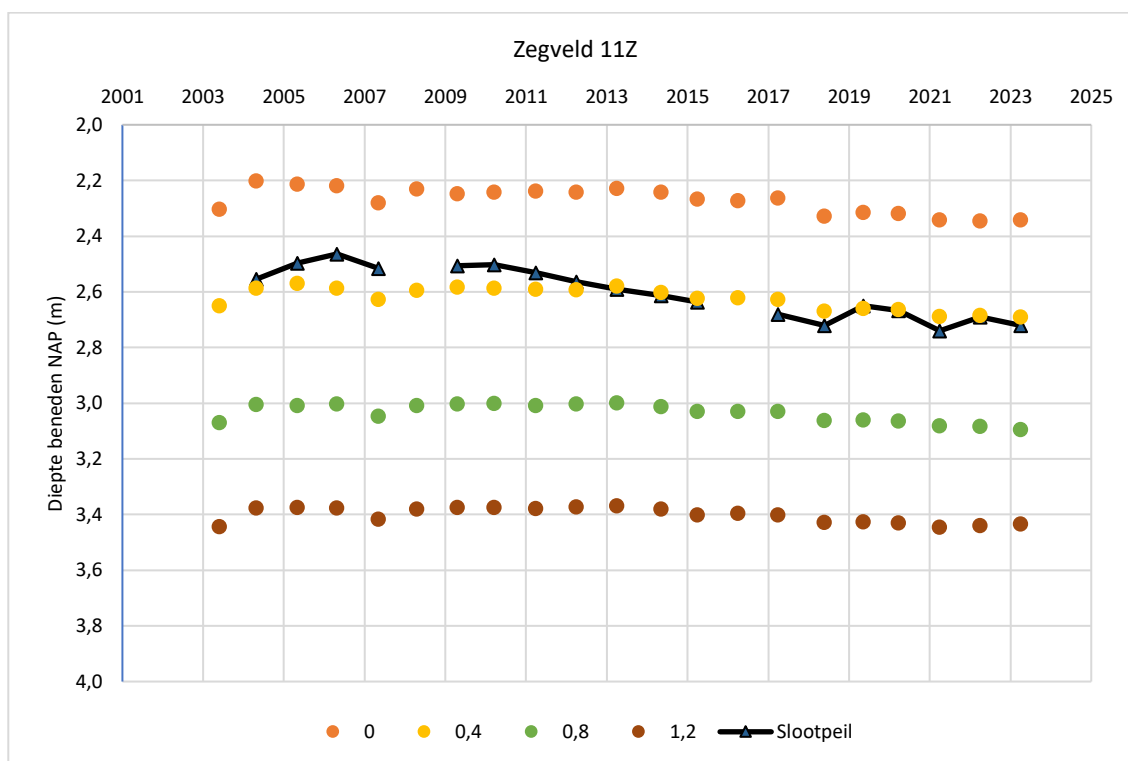
Figuur 49 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Zegveld 11N.

Tabel 38 Daling maaiveld en zakplaatjes Zegveld 11N.

Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	0,51					0,26	
Totale afname per laag in cm						2,68	
	Kleig veen	Veraard bosveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen

Meetlocatie 11Z

Opmerkelijke stijging in eerste jaar na plaatsing, mogelijk veroorzaakt doordat 2003 een erg droog jaar was.



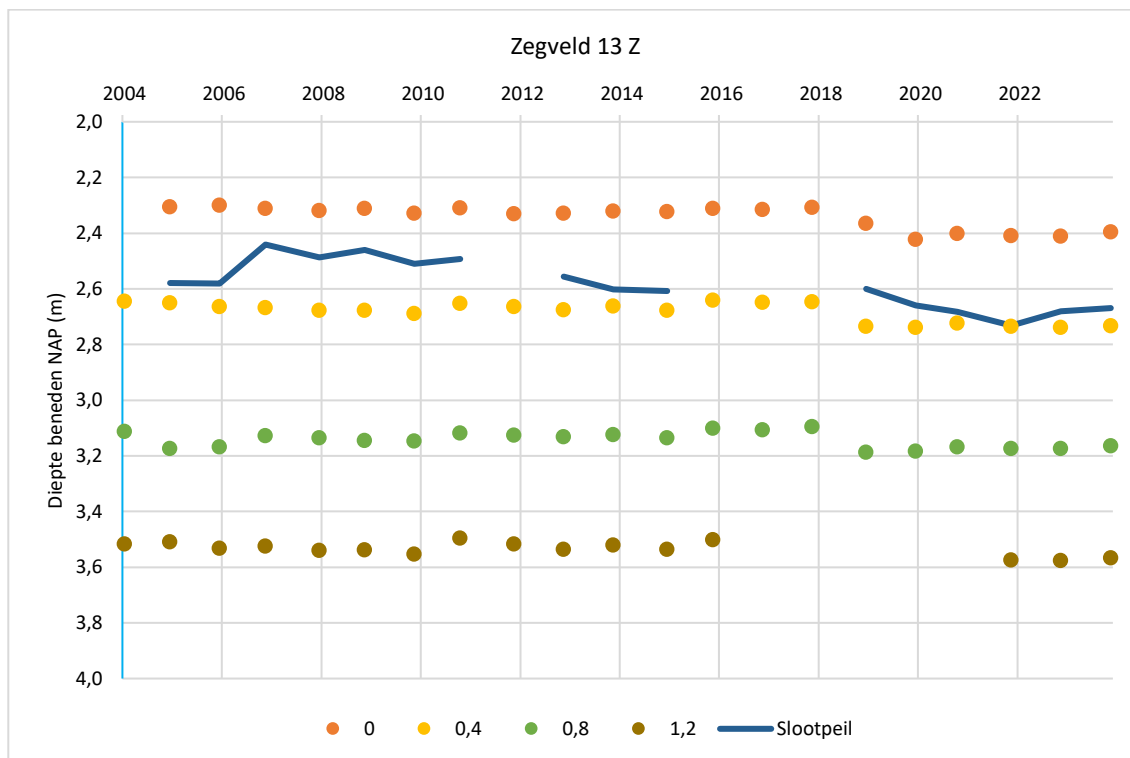
Figuur 50 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Zegveld 11Z.

Tabel 39 Daling maaiveld en zakplaatjes Zegveld 11Z.

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	0,19		0,20		0,12		-0,05	
Totale afname per laag in cm			-0,20		1,60		3,32	
		Kleig veen	Veraard bosveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen

Meetlocatie 13Z

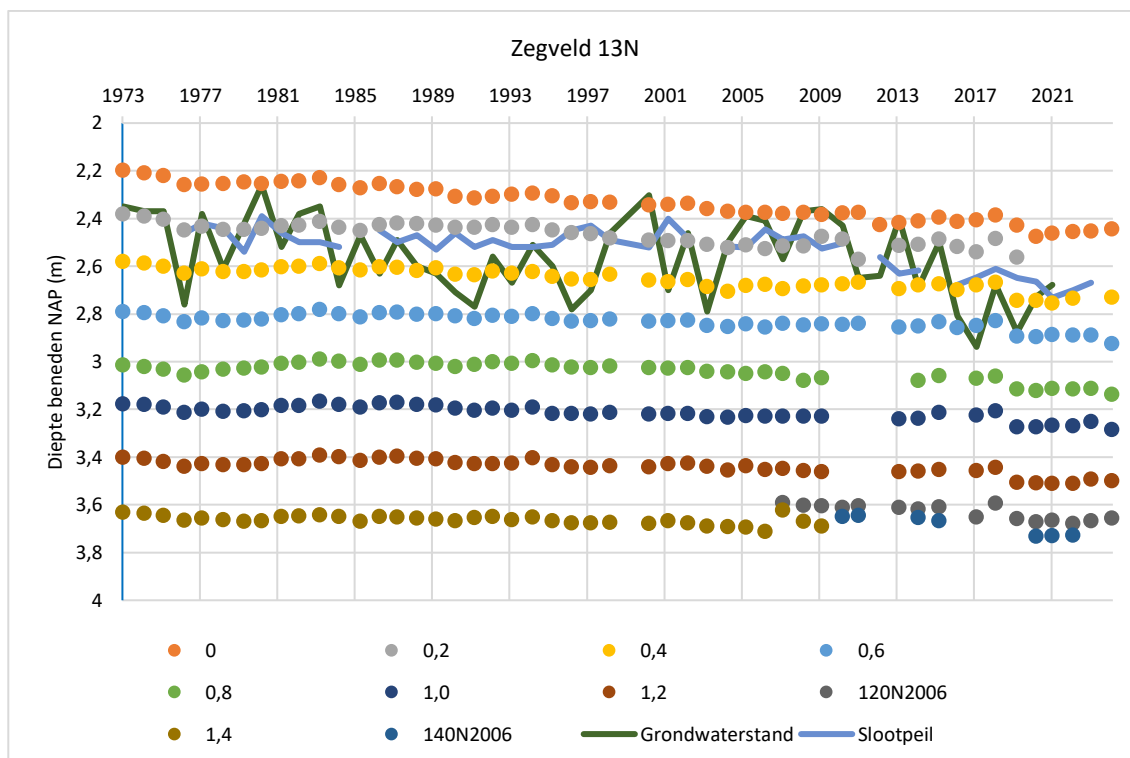
Data zakplaatjes na 2016 zijn niet compleet en worden niet meegenomen in de analyse.



Figuur 51 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Zegveld 13 Z.

Meetlocatie 13 N

Data zakplaatjes na 2010 zijn niet compleet en fluctueren; niet meegenomen in de analyse.



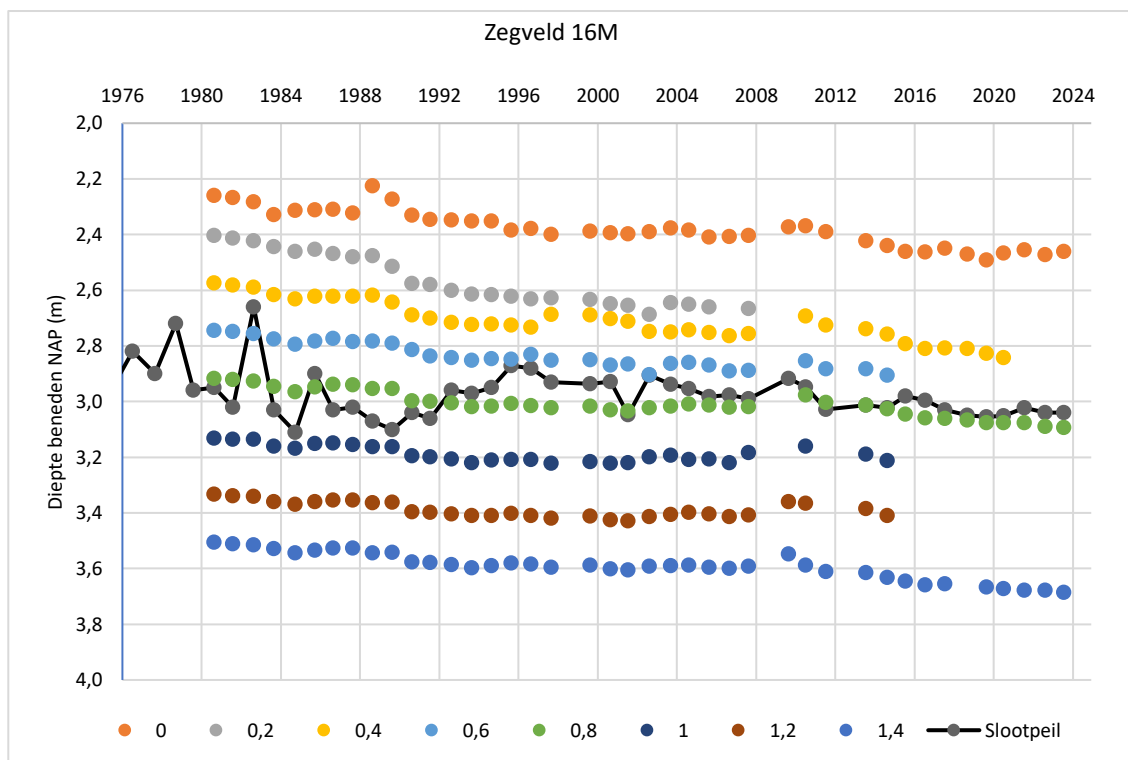
Figuur 52 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Zegveld 13 N.

Tabel 40 Daling maaiveld en zakplaatjes Zegveld 13 N.

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling	0,48	-4,66	0,29	0,26	0,24	0,21	0,19	7,16
Gemiddelde afname per laag		0,00	9,59	1,64	1,26	1,42	0,95	0,00

Meetlocatie 16 M

Data zakplaatjes na 2008 zijn niet compleet en worden niet meegenomen in de analyse.



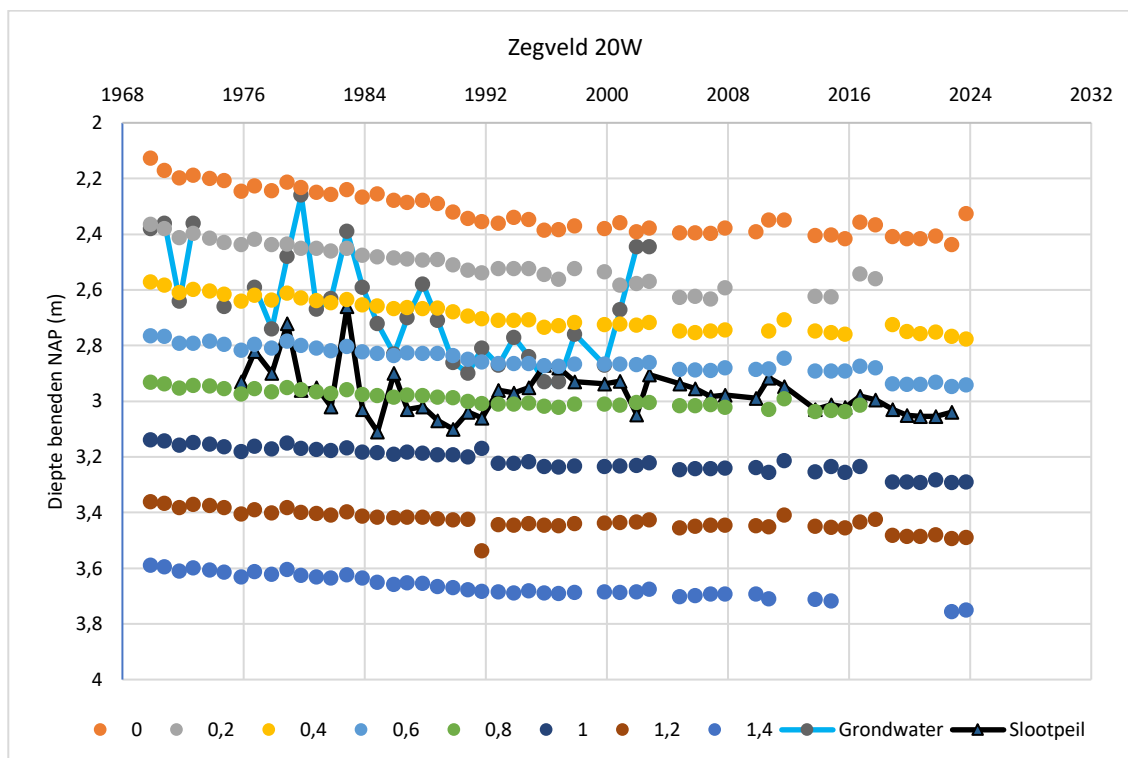
Figuur 53 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Zegveld 16 M.

Tabel 41 Daling maaiveld en zakplaatjes Zegveld 16 M.

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling	0,56	-4,32	-4,66	-5,02	0,37	-5,77	-6,15	0,36
Gemiddelde afname per laag		2,73	0,05	0,17	-2,93	3,28	0,20	-3,50

Meetlocatie 20 W

Data sinds 2008 minder consistent met tijdelijke verhoging in 2011-2012 en 2017-2018. Ook inconsequente meting van zakplaatjes. Opmerkelijke stijging maaiveld in laatste jaar (2023). Vermoedelijk is het vaste punt niet stabiel en is daar niet of onvoldoende voor gecorrigeerd. Data na 2008 zijn niet gebruikt voor verdere analyse.



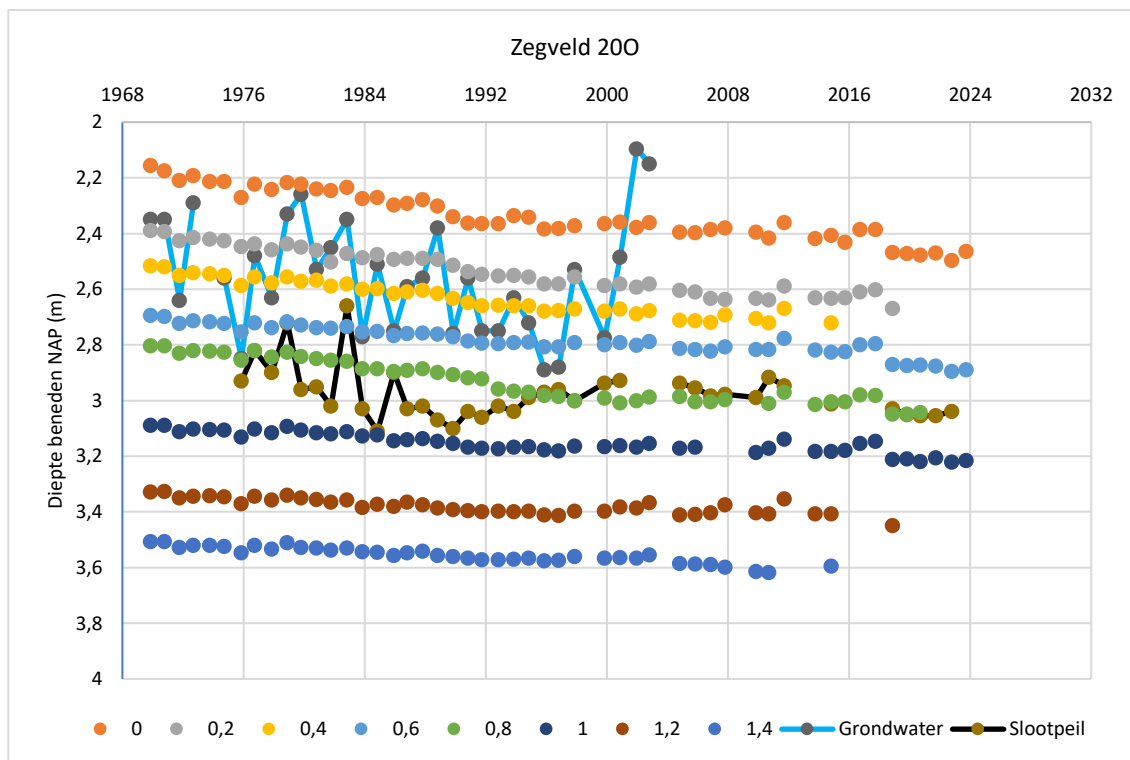
Figuur 54 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Zegveld 20 W.

Tabel 42 Daling maaiveld en zakplaatjes Zegveld 20 W.

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	0,37		0,38	0,33		0,28	0,24	0,30
Totale afname per laag in cm			-0,43	2,81		2,47	2,26	-0,95
		Kleig veen	Veraard bosveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen

Meetlocatie 200

Data zijn sinds 2008 minder consistent met tijdelijke verhoging in 2012 en 2017-2018. Vermoedelijk is het vaste punt niet stabiel en is daar niet of onvoldoende voor gecorrigeerd. Veel data van de zakplaatjes ontbreken. Data na 2008 zijn niet gebruikt voor verdere analyse.



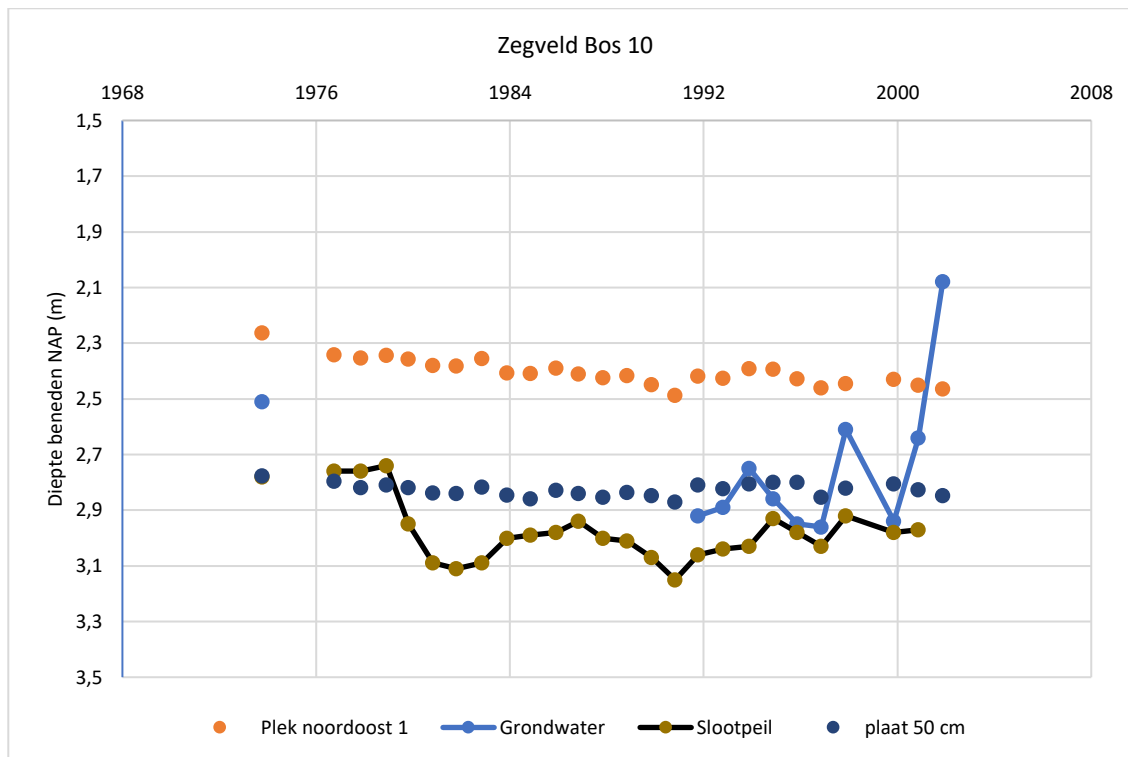
Figuur 55 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Zegveld 200.

Tabel 43 Daling maaiveld en zakplaatjes Zegveld 200.

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	0,57			0,41		0,24		
Totale afname per laag in cm				14,53		6,68		
		Kleig veen	Veraard bosveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen

Meetlocatie Bos 10

Op deze meetlocaties is het maaiveld op meerdere plekken gemeten en is slechts op één locatie een zakplaatje op 50 cm geplaatst. Data zakplaatjes worden niet meegenomen in de verdere analyse.



Figuur 56 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Zegveld Bos 10.

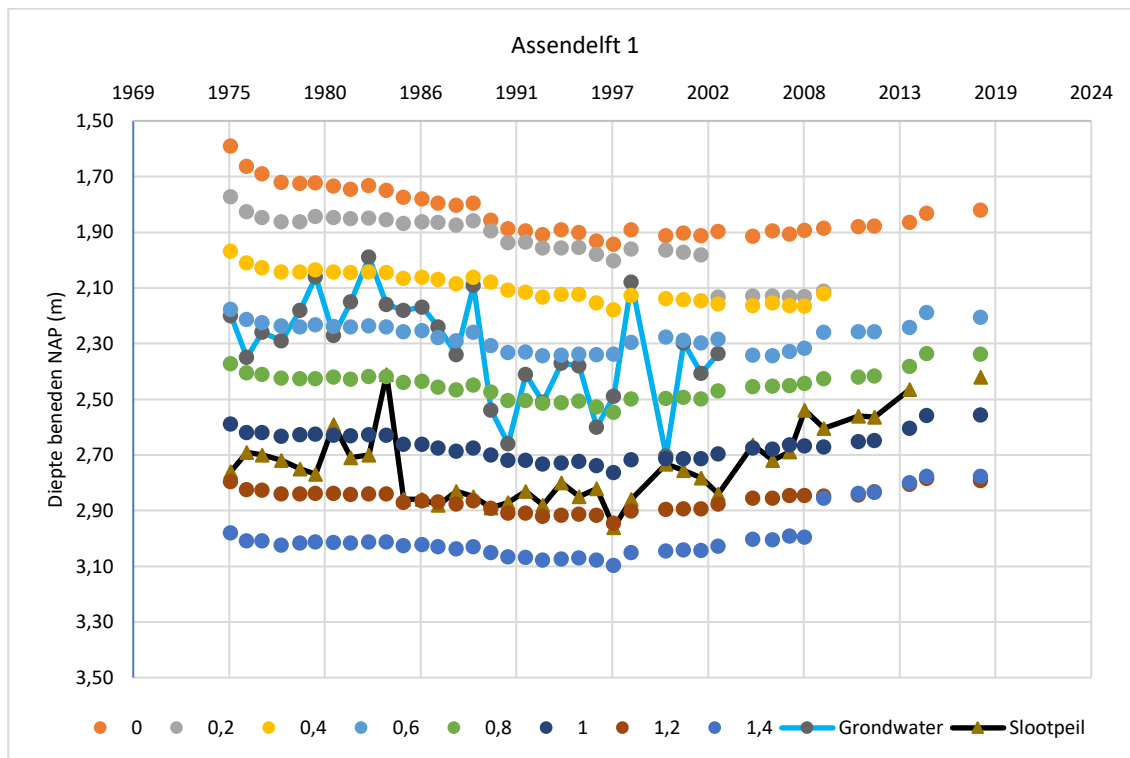
Tabel 44 Daling maaiveld en zakplaatjes Zegveld Bos 10.

	Maaiveld	-0,5
Gemiddelde daling	0,72	0,25
Gemiddelde afname per laag		13,00

6.1.4 Assendelft

Het verloop van de metingen in Assendelft roept een aantal vragen op over de kwaliteit. Voor de verdere analyse zijn alleen de data tot 1997 meegenomen (par. 6.2). Bij meetpunt 1 daalt het zakplaatje op 20 cm in 2003 abrupt tot op het niveau van het zakplaatje op 40 cm. Vanaf 2009 zijn er voor deze plaatjes geen gegevens meer.

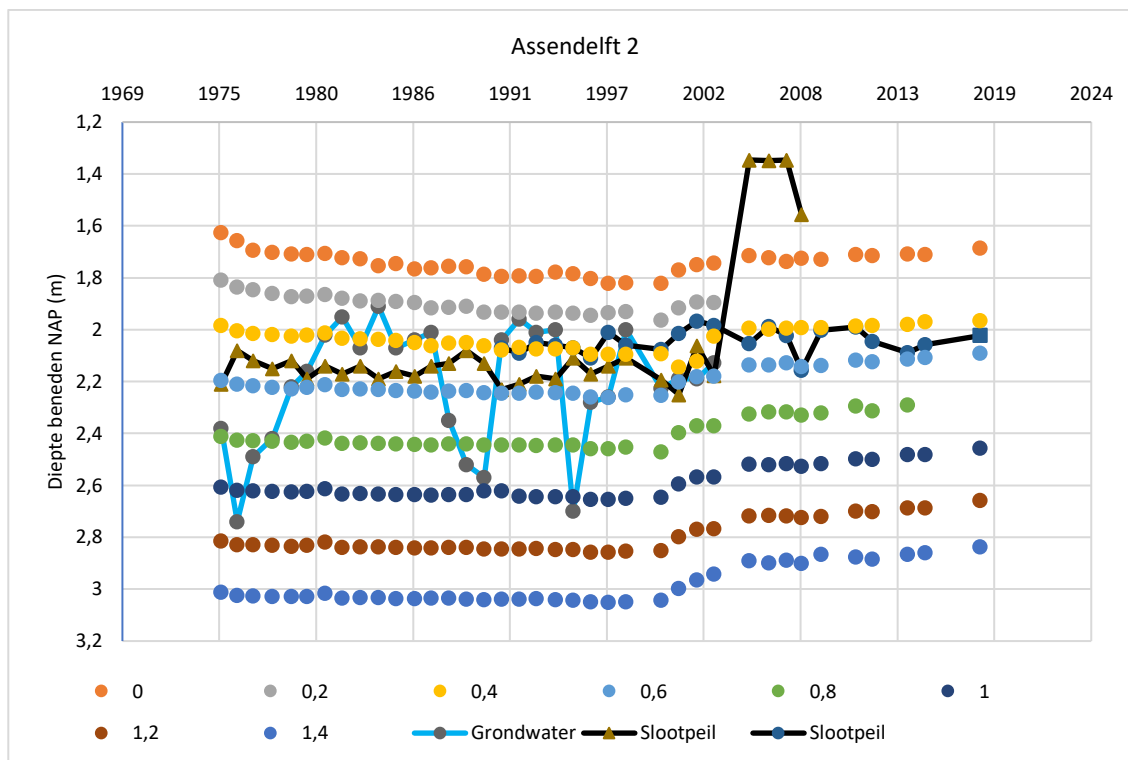
- Bij het zakplaatje op 140 cm zijn de waardes vanaf 2009 vrijwel gelijk aan die op 120 cm diepte.
- Bij meetpunt 2 lijken er vooral problemen te zijn met een van de slootpeilen. Voor de verdere analyse worden na 2003 de andere slootpeilen gebruikt.
- De zakplaatjes en maaiveld laten vanaf 1997 een sterke stijging zien; dit lijkt deels te verklaren door de stijging van het slootpeil.



Figuur 57 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Assendelft 1.

Tabel 45 Daling maaiveld (tot 1997) Assendelft 1

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	1,61	1,06	0,96	0,73	0,79	0,80	0,69	0,53
Totale afname per laag in cm		12,10	2,10	5,00	-1,30	-0,20	2,40	3,40
		Venige klei	Venige klei/Veraard rietzeggeveen	(Veraard) rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen



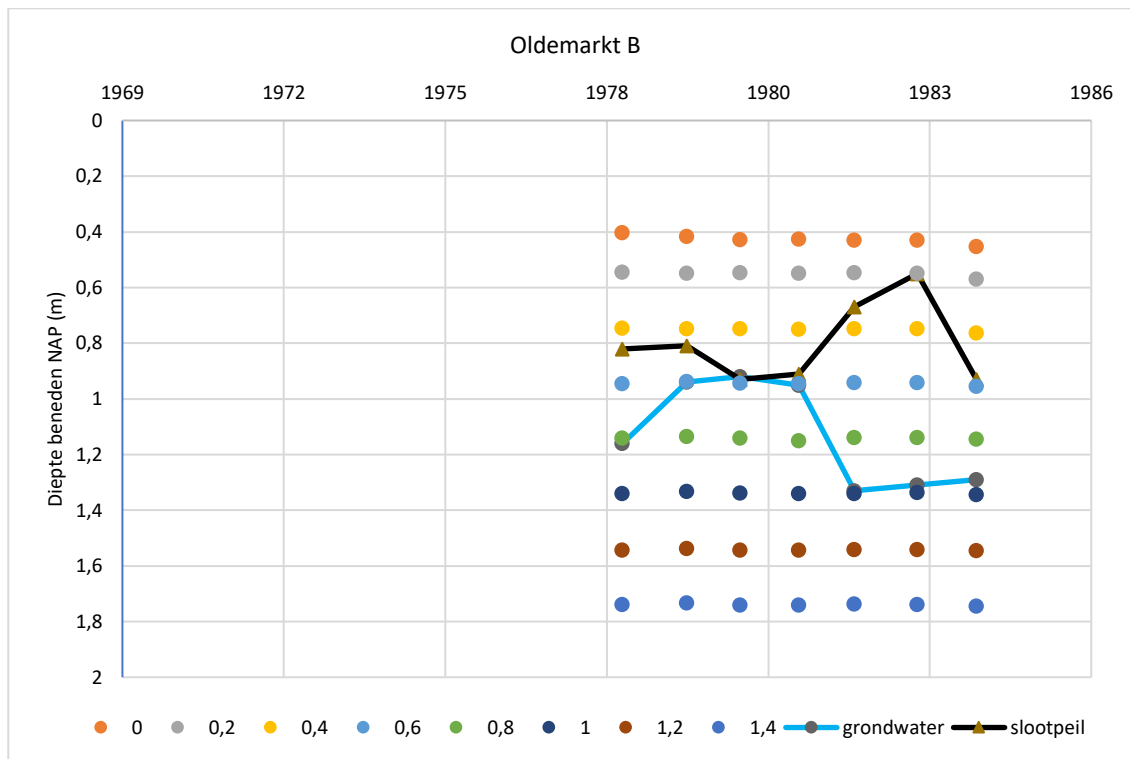
Figuur 58 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Assendelft 2.

Tabel 46 Daling maaiveld (tot 1997) Assendelft 2.

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddel- de daling per jaar in cm	0,90	0,58	0,51	0,31	0,21	0,22	0,19	0,18
Totale afname per laag in cm		7,10	1,50	4,40	2,10	-0,30	0,70	0,30
		Venige klei	Venige klei/Veraard rietzeggeveen	(Veraard) rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen	Rietzeggeveen

6.1.5 Oldemarkt

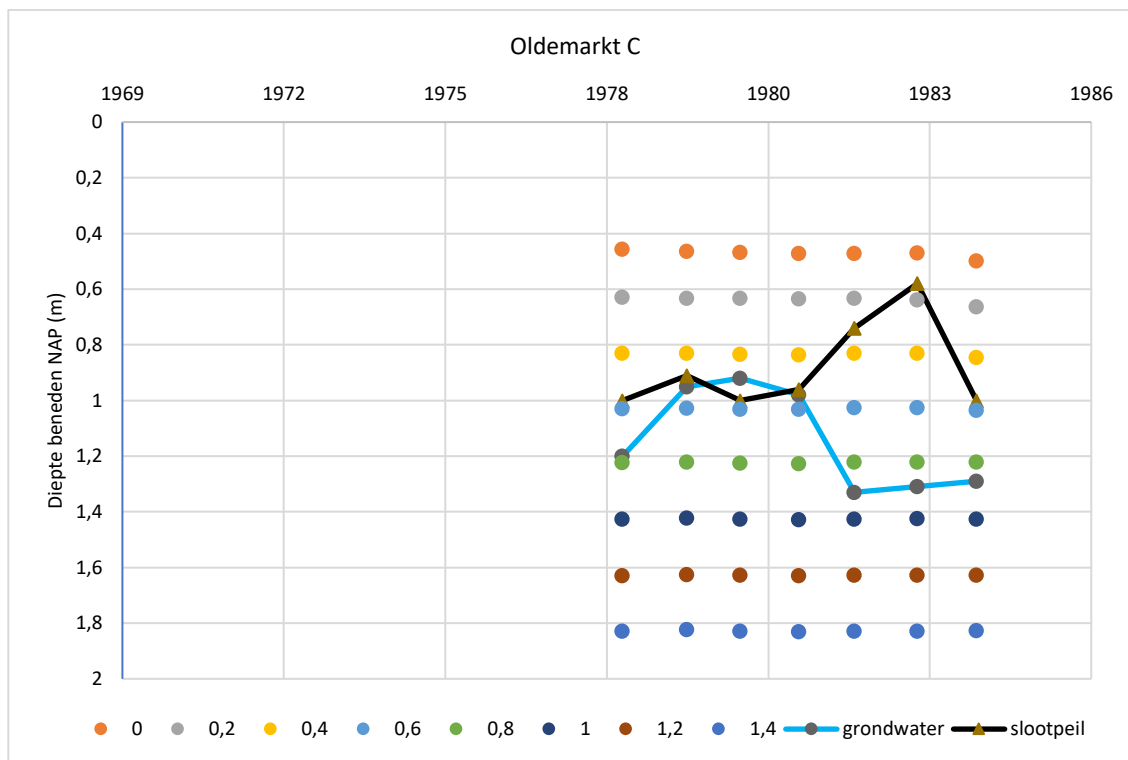
Op de locatie Oldemarkt is maar zeven jaar gemeten. De gegevens voor het sloot- en grondwaterpeil lijken niet te kloppen. Het slootpeil is namelijk voor alle punten systematisch hoger dan het grondwaterpeil. De dieptes kloppen ook niet met de tekst zoals deze is opgenomen in de beschrijving van de locaties. Bij de verdere analyse is voor alle locaties een slootpeil van 0,8 m -NAP aangehouden.



Figuur 59 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Oldemarkt B

Tabel 47 Daling maaiveld en zakplaatjes Oldemarkt B.

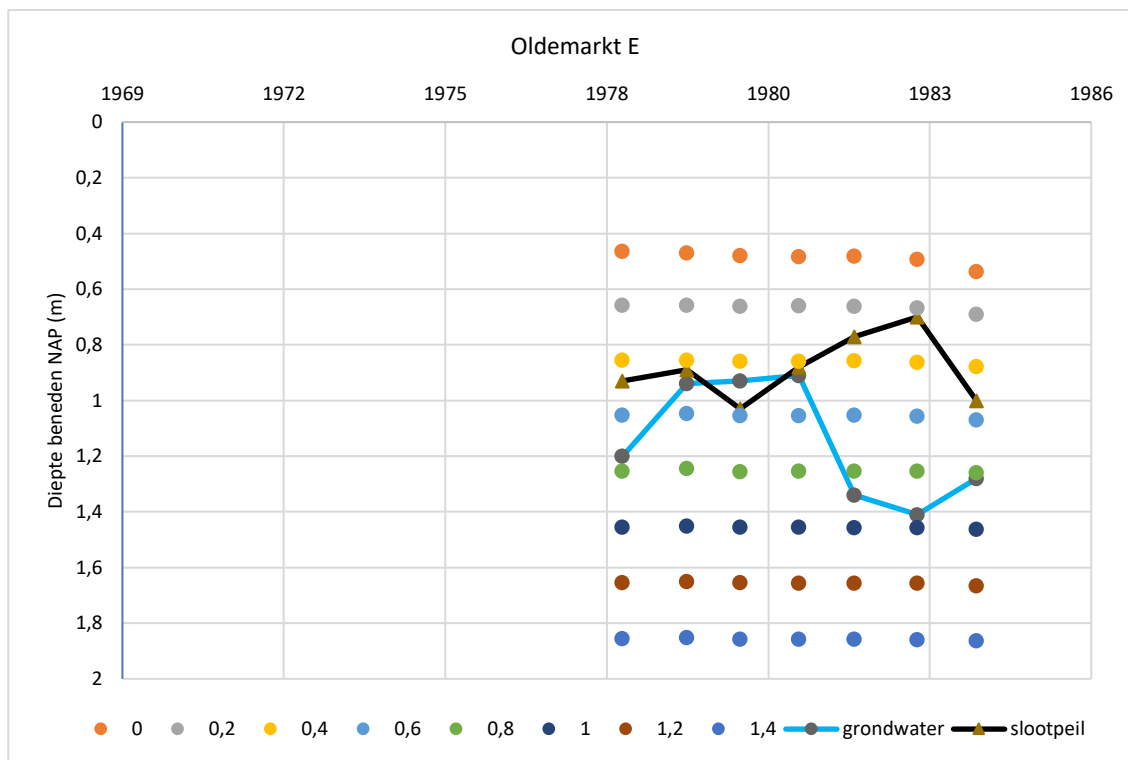
	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	0,83	0,42	0,30	0,15	0,05	0,07	0,02	0,08
Totale afname per laag in cm		2,50	0,70	0,90	0,60	-0,10	0,30	-0,40
		Zware grijze kalkloze knippige klei	Zwarte venige gruislaag	Vast matig verweerd zeggeveen	Bruin weinig verweerd zeggeveen	Bruin weinig verweerd zeggeveen	Bruin weinig verweerd zeggeveen	Bruin weinig verweerd zeggeveen



Figuur 60 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Oldemarkt C.

Tabel 48 Daling maaiveld en zakplaatjes Oldemarkt C.

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	0,68	0,58	0,23	0,10	-0,03	0,00	-0,03	-0,03
Totale afname per laag in cm		0,60	2,10	0,80	0,80	-0,20	0,20	0,00
		Zware grijze kalkloze knippige klei	Zwarte venige gruislaag	Vast matig verweerd zeggeveen	Bruin weinig verweerd zeggeveen	Bruin weinig verweerd zeggeveen	Bruin weinig verweerd zeggeveen	Bruin weinig verweerd zeggeveen



Figuur 61 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Oldemarkt E.

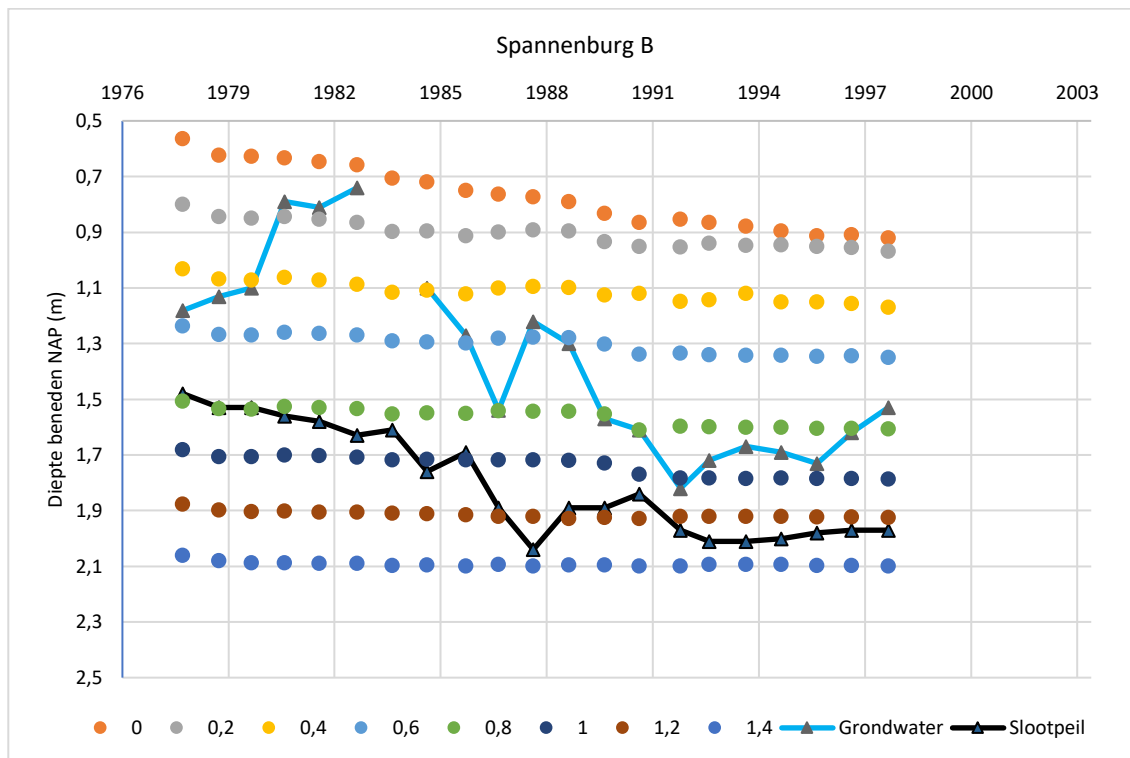
Tabel 49 Daling maaiveld en zakplaatjes Oldemarkt E.

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	1,20	0,53	0,37	0,28	0,12	0,13	0,18	0,13
Totale afname per laag in cm		4,00	1,00	0,50	1,00	-0,10	-0,30	0,30
		Zware grijze kalkloze knippige klei	Zwarte venige gruislaag	Vast matig verweerd zeggeveen	Bruin weinig verweerd zeggeveen	Bruin weinig verweerd zeggeveen	Bruin weinig verweerd zeggeveen	Bruin weinig verweerd zeggeveen

6.1.6 Spannenburg

De datareeksen voor de locatie Spannenburg lijken van redelijke goede kwaliteit en de gehele meetset is gebruikt bij de verdere analyse. Een aantal opvallende zaken:

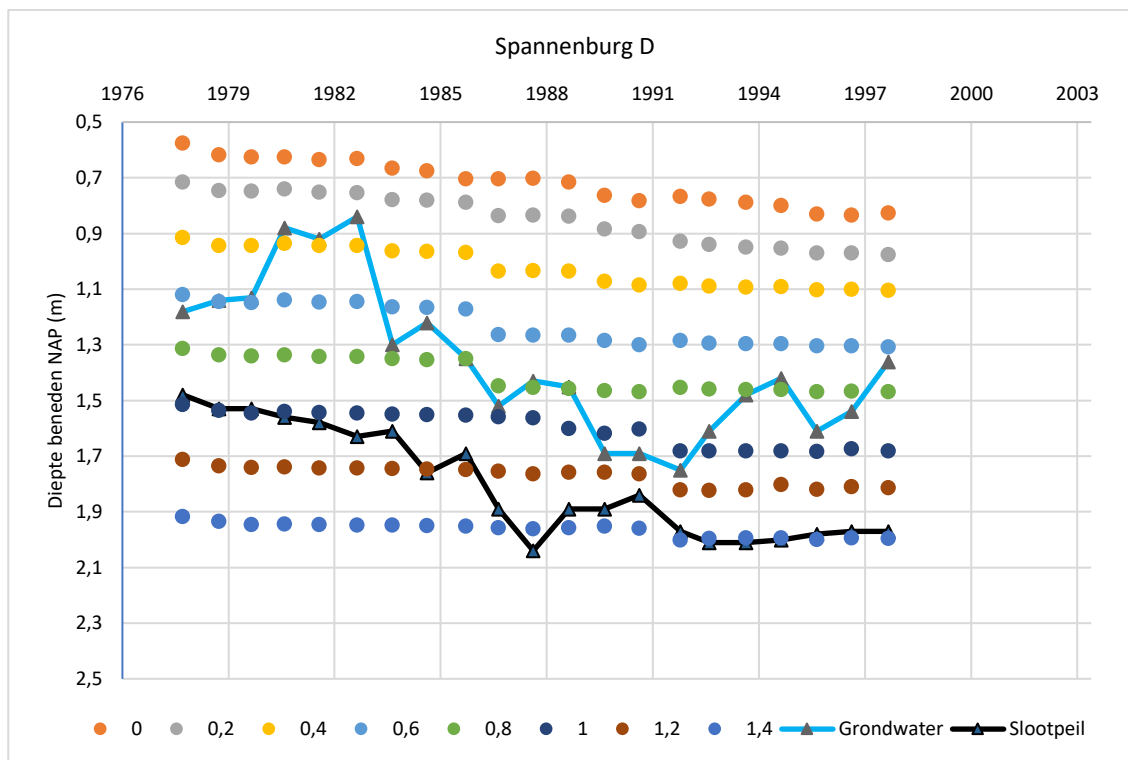
- Voor meetpunt B van locatie Spannenburg is het opvallend dat de volledige daling komt door afname van de zakplaatjes tussen maaiveld en -20 cm en door afname tussen -1 en -1,2 m. Daarnaast zit er aan het begin van de reeks al 27 cm verschil tussen de zakplaatjes van -60 cm en -80 cm.
- Voor meetpunt D zien we een aantal opmerkelijke bewegingen. Ten eerste begint het meetplaatje niet op -20 cm, maar 14 cm onder het maaiveld; de volgende zakplaatjes vinden zich daar dan wel 20 cm onder. Van 1991 naar 1992 vindt ook een opmerkelijke beweging plaats. Er zijn scherpe dalingen voor de zakplaatjes op -20 cm, -1, -1,2 en -1,4 m. De andere plaatjes stijgen juist licht.



Figuur 62 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slooppeil en grondwaterstand, Spannenburg B.

Tabel 50 Daling maaiveld en zakplaatjes, Spannenburg B.

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	1,79	0,84	0,70	0,57	0,50	0,53	0,24	0,19
Totale afname per laag in cm		19,00	2,90	2,50	1,40	-0,60	5,80	1,00
		Venige klei	Bruin ingedroogd schalterveen	Zwart verweerd mosveen	Bruin niet verweerd mosveen			



Figuur 63 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Spannenburg D.

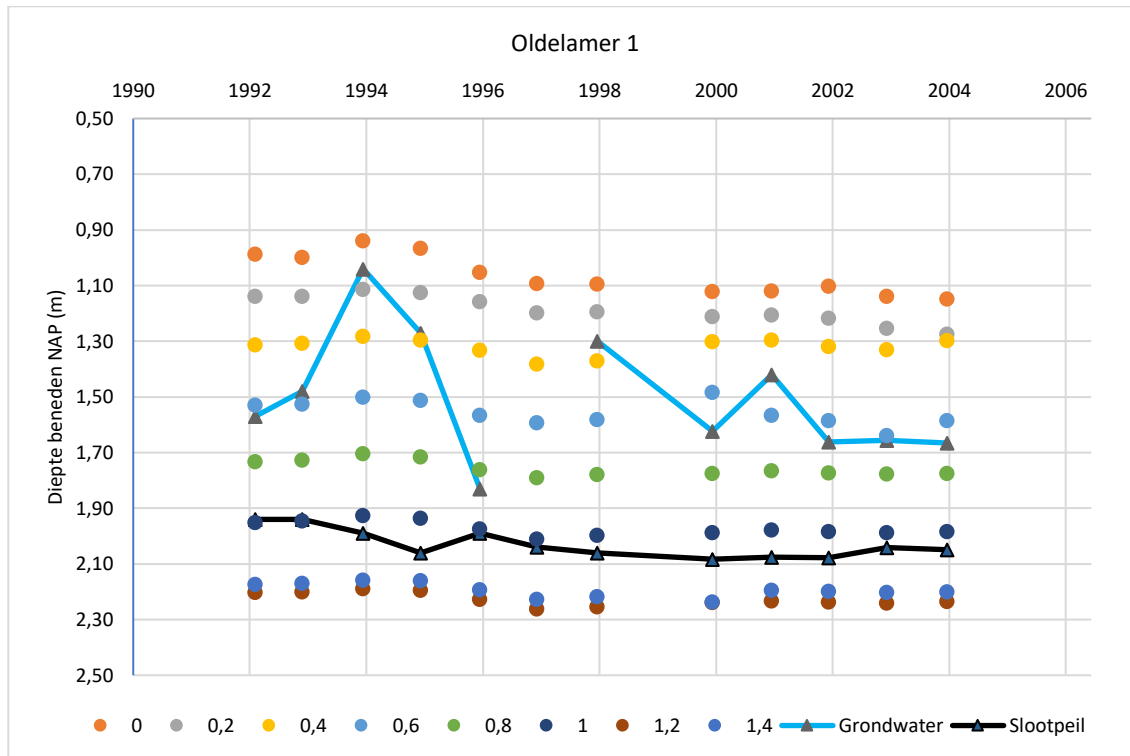
Tabel 51 Daling maaiveld en zakplaatjes, Spannenburg D.

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	1,26	1,30	0,96	0,94	0,78	0,83	0,51	0,40
Totale afname per laag in cm		-0,90	6,90	0,30	3,30	-1,00	6,30	2,30
		Venige klei	Bruin ingedroogd schalterveen	Zwart verweerd mosveen	Bruin niet verweerd mosveen			

6.1.7 Oldelamer

De datareeksen voor de locatie Oldelamer beslaat een periode van tien jaar. Een aantal opvallende zaken:

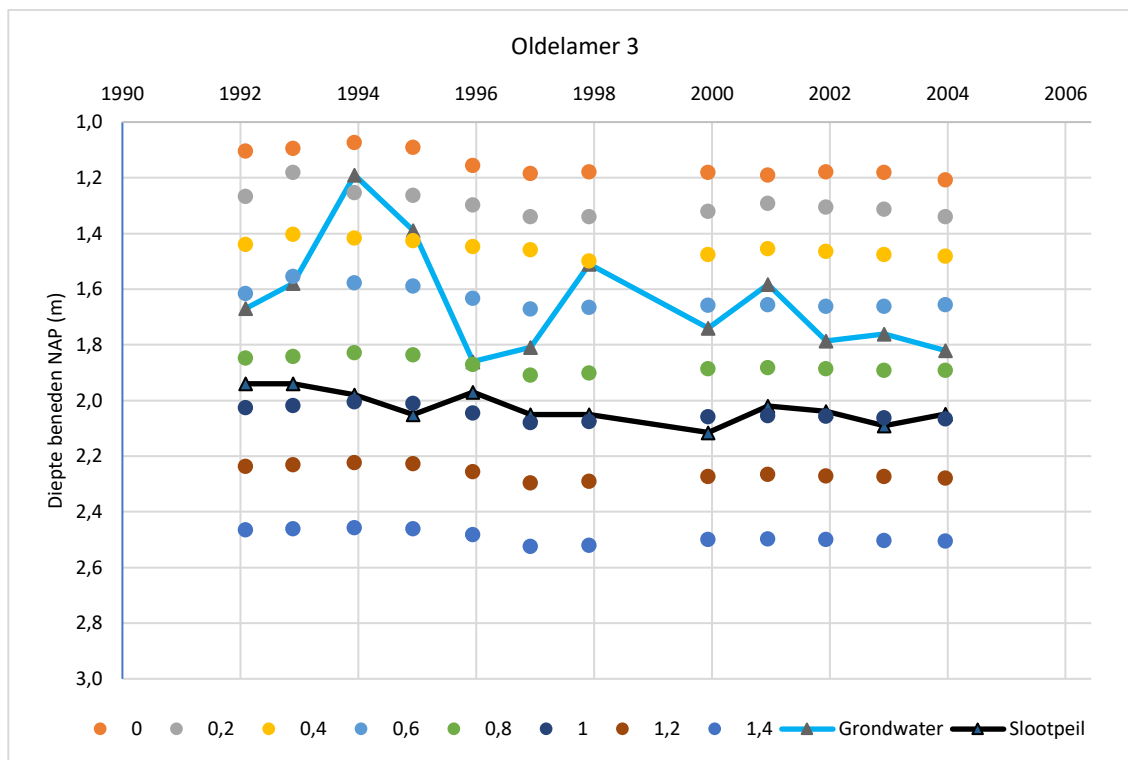
- Het zakplaatje op -40 cm vertoont vanaf de meting in 2000 een zeer sterke stijging, zodanig dat het plaatje nagenoeg op de hoogte van het zakplaatje van -20 cm uitkomt.
- Ook het zakplaatje op -60 cm laat een sterke stijging zien van 1998 naar 2000 die niet te zien is bij de andere punten.
- De zakplaatjes van -1,2 m en -1,4 m liggen vrijwel op elkaar vanaf het begin. Vanaf het zakplaatje van -1,0 m lijkt er ook geen beweging meer te zijn, de laag tussen -1,0 en -1,2 blijft constant.



Figuur 64 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Oldelamer 1.

Tabel 52 Daling maaiveld en zakplaatjes, Oldelamer 1.

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	1,36	1,14	-0,12	0,47	0,36	0,27	0,27	0,23
Totale afname per laag in cm		2,64	14,90	-7,00	1,30	1,10	0,00	0,50
		Kleilig Veen/zwartveenmosveen	Zwartveenmosveen	Zwartveenmosveen/ Zwart zeggeveen	Bruin zeggeveen			



Figuur 65 Hoogte (m -NAP) van het maaiveld, zakplaatjes, slootpeil en grondwaterstand, Oldelamer 3.

Tabel 53 Daling maaiveld en zakplaatjes Oldelamer 3.

	Maaiveld	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4
Gemiddelde daling per jaar in cm	0,86	0,62	0,35	0,35	0,37	0,33	0,35	0,34
Totale afname per laag in cm		2,86	3,20	0,10	-0,30	0,50	-0,30	0,20
		Kleiig Veen/zwartveenmosveen	Zwartveenmosveen	Zwartveenmosveen/ Zwart zeggeveen	Bruin zeggeveen			

6.2 Statistische analyse

6.2.1 Bodembeweging

Bodembeweging

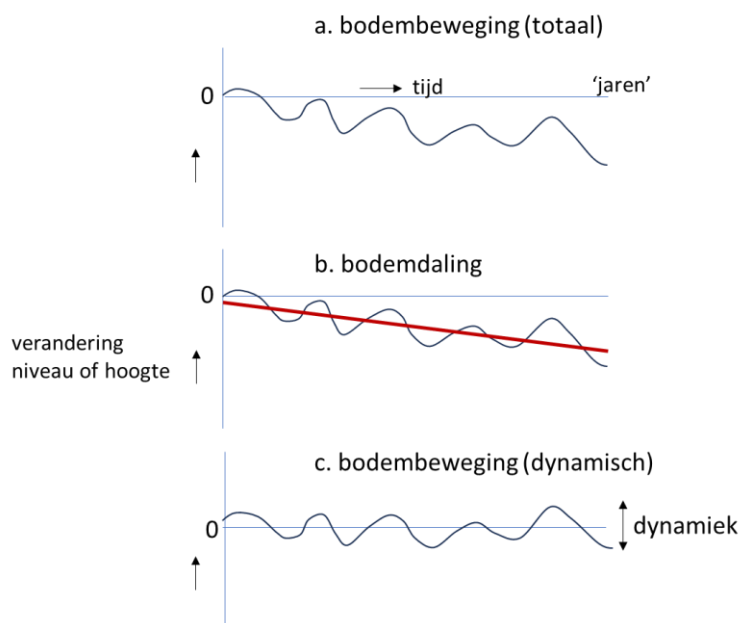
Over de tijdspanne van dagen tot een jaar laat het maaiveld of een dieper bodemniveau zelden een simpele dalingstrend zien (Figuur 66); er zijn perioden van stijging en daling. Er is sprake van bodembeweging. Alleen over een lange tijdspanne kan worden vastgesteld of er ook sprake is van bodemdaling.

Bodemdaling/maaielddaling

Met bodemdaling wordt hier het proces bedoeld waarbij het maaiveld, of een niveau in de ondergrond, *in de loop van de jaren* zakt ten opzichte van een referentiepunt of niveau. Het referentieniveau kan het Normaal Amsterdams Peil (NAP) zijn. Op de bodemdalingsmeetlocaties wordt de bodemdaling in eerste instantie gemeten ten opzichte van een punt in het (Pleistocene) zandpakket dat zich onder het (Holocene) slappe lagenpakket bevindt.

Bodemdynamiek

Wanneer van de gemeten bodembeweging de gemiddelde bodemdaling wordt afgetrokken, blijven op- en neergaande bodembewegingen over waarvan het gemiddelde niveau stabiel is. Deze bewegingen worden veroorzaakt door natuurlijke processen zoals het uitdrogen en vernatten van veen en klei, en gerelateerde fluctuaties van de grondwaterstand, waardoor de bodem krimpt (of samendrukt) en weer zwelt (of uitzet). Elke stijging wordt gecompenseerd door een even grote daling en andersom. De bewegingen zijn omkeerbaar, of reversibel. De bewegingen worden ook met de term 'dynamisch' aangeduid. De mate waarin de bodem dynamisch op en neer beweegt is de bodemdynamiek.

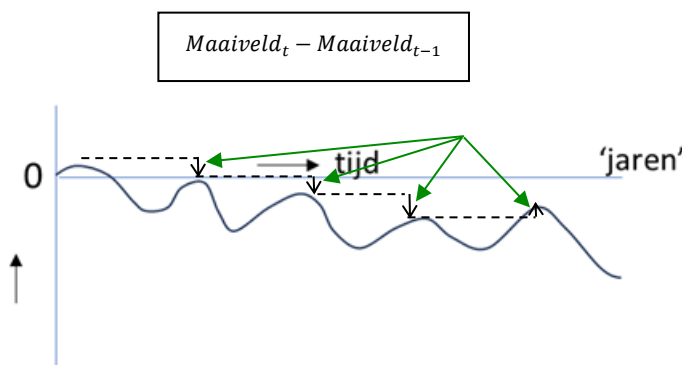


Figuur 66 Schematische weergave van de begrippen a) bodembeweging, b) gemiddelde bodemdaling (rode lijn) en c) bodemdynamiek (uit Van Asselen et al., 2024b).

Het lastige bij het bepalen van de langjarige permanente bodemdaling is dat deze in het algemeen een factor 10 lager is dan de beweging (dynamiek) van de bodem gedurende het jaar (Bakema et al., 2022 en van Asselen et al., 2024c). Dit betekent dat alleen metingen over een periode van minimaal vijf jaar een betrouwbaar beeld opleveren van de permanente bodemdaling.

6.2.2 Maaiveld dalingssnelheid

De daling van het maaiveld en de zakplaatjes wordt geanalyseerd door te kijken naar jaar-op-jaar veranderingen van de maaiveld- en de zakplaatjeshoogtes, i.e. de dalingssnelheid. Voor zowel het maaiveld als de zakplaatjes wordt gerekend met de voorjaarsmetingen. In Figuur 67 hieronder staat een grafische weergave voor de berekening van de dalingssnelheid van het maaiveld ($Maaiveld_t$). Voor het bepalen van de dalingssnelheid van de zakplaatjes wordt niet de hoogte van het maaiveld, maar de hoogte van het zakplaatje genomen. Omdat niet elk jaar op dezelfde dag wordt gemeten, zijn de tijdsintervallen tussen de metingen niet even lang. De hoogte van het maaiveld vertoont over de jaren grofweg hetzelfde jaarlijkse patroon, maar de timing van het hoogste maaiveldniveau in het jaar is afhankelijk van de neerslag en verdamping in een jaar. Omdat er geprobeerd is om zo veel mogelijk te meten bij maximaal gezwollen bodem, zijn de metingen niet elk jaar op dezelfde datum gedaan. Desondanks kan het voorkomen dat de voorjaarsmeting niet precies gedaan is op het moment van het jaar met het hoogste maaiveldniveau. Dit vanwege logistieke redenen, en doordat het niet eenvoudig is om op voorhand in te schatten wanneer de bodem het meest gezwollen zal zijn. Wel zullen door de keuze voor een wisselende datum de verschillen kleiner zijn dan wanneer er ieder jaar op dezelfde datum gemeten was. Een gevolg is wel dat de tijdsintervallen tussen de metingen niet exact even lang zijn.



Figuur 67 Grafische weergave maaiveld dalingsmeting

Omdat de voorjaarsmeting niet elk jaar op dezelfde dag is genomen, wordt het verschil gestandaardiseerd naar een daling van één jaar volgens de volgende formule:

$$\Delta Maaiveld_t = \frac{Maaiveld_t - Maaiveld_{t-1}}{\frac{\text{Aantal dagen tussen } t \text{ en } t-1}{365}}$$

Door de verandering in het maaiveld te nemen als te verklaren variabele (i.p.v. het maaiveldniveau) wordt autocorrelatie tussen residuen bij het uitvoeren van een regressie vermeden. De regressie die wordt uitgevoerd, krijgt daardoor de simpele vorm

$$\Delta Maaiveld_t = \alpha + \varepsilon_t$$

Wat neerkomt op $\alpha = \frac{\sum_{i=0}^n \Delta Maaiveld_i}{n}$ en $SE_\alpha = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^n (\Delta Maaiveld_i - \alpha)^2}}{\sqrt{n}}$ met n het aantal jaarlijkse waarnemingen dat is gedaan. SE_α is de standaardfout.

De maaiveld dalingssnelheid is per meetlocatie berekend als gemiddelde over de gehele meetperiode. Daarnaast is per locatie gekeken naar de gemiddelde maaiveld daling per decennium om te bepalen of er trends zijn in de maaiveld dalingssnelheid over de gehele meetperiode.

Dalingssnelheid bodemlagen

Naast de analyse van de dalingssnelheid van het maaiveld en de zakplaatjes, wordt ook de verticale afstand tussen de zakplaatjes geanalyseerd. De gemiddelde afname van de afstand tussen de verschillende

zakplaatjes wordt op een soortgelijke manier berekend, de hoogte van de zakplaatjes wordt in deze berekening vervangen door de afstand tussen de zakplaatjes.

Het voordeel van kijken naar laagdiktes is dat de metingen niet worden beïnvloed door mogelijk instabiele zakbakens, aangezien voor alle dieptes gerekend wordt met dezelfde waarde van de zakbaakhoogte (Massop et al., 2024). Dit geldt voor alle jaarlijkse metingen, waardoor veranderingen in laagdikte ook over langere tijdsintervallen onafhankelijk zijn van onzekerheden in zakbaakhoogte. Voor het bepalen van de totale bodemdaling blijft er echter wel een afhankelijkheid van gebruikte zakbaakhoogte bestaan. Bij waterpassingen (zie vorige paragraaf) zit die onzekerheid in de metingen aan het oppervlak, terwijl de onzekerheid bij de hier beschreven methode zit in de metingen die gedaan worden op 120 cm diepte.

Vergelijking maaiveldalingsreeksen

De maaiveldalingsnelheid wordt bepaald door lokale factoren, zoals bodemopbouw en ontwateringsdiepte. Daarnaast zijn er factoren die meer generiek gelden voor alle locaties, zoals temperatuur, neerslag en verdamping (allemaal graslanden). Dit laatste zou kunnen betekenen dat de diverse meetreeksen een bepaalde relatie met elkaar hebben. Om dit te onderzoeken, zijn de diverse reeksen vergeleken met de paarsgewijze Pearson-correlatiemethode.

De verwachting is dat de meetreeksen positief zijn gecorreleerd, aangezien er in alle sites bodemdaling verwacht wordt en de processen die dit veroorzaken in alle sites min of meer hetzelfde zijn. Zo zullen bijvoorbeeld de jaarlijkse verschillen in weersomstandigheden groter zijn dan de verschillen in weersomstandigheden tussen de verschillende locaties. Een negatieve correlatie tussen een bepaalde meetreeks met veel andere meetreeksen kan dan ook een indicatie zijn dat die betreffende meetreeks minder betrouwbaar is.

Correlatie maaiveldaling omgevingsfactoren

Om te bepalen welke omgevingsfactoren het bepalendst zijn voor de maaiveldalingsnelheid, is gekeken of er relaties zijn met de bodemopbouw (dikte veenpakket), slootpeil, slootpeil/samenstelling toplaag etc. Hiervoor is een lineaire regressiemethode gebruikt.

6.2.3 Bodemdalingsprocessen

De grondwater- en bodemvochtparameters spelen een rol in de processen die bodemdynamiek en bodemdaling veroorzaken. Globaal worden de processen verdeeld in oxidatie/krimp (onverzadigde zone) en compactie en anoxische afbraak (verzadigde zone). Compactie wordt verdeeld in consolidatie en kruip. Doordat grondwaterstanden in een seizoen variëren ontstaat er een overgangszone waarin zowel onverzadigde als verzadigde processen kunnen optreden (Figuur 46). Verder is een deel van de processen reversibel wanneer de vochtcondities of waterspanning in de winter weer toenemen.

(Veen)oxidatie/veenafbraak (irreversibel)

Dit proces heeft betrekking op bodemdaling die het gevolg is van afbraak van organisch materiaal in de bodem door micro-organismen (bacteriën en schimmels). De afbraak wordt sterk gestimuleerd door beschikbaarheid van zuurstof (aerobe oxidatie). Indringing van lucht in de bodem is daarvoor sterk bepalend. De stand van de grondwaterspiegel wordt vaak gebruikt om de diepte van luchtindringing te schatten, maar het vochtgehalte boven de grondwaterspiegel is ook van invloed en kan variëren tussen sites, zelfs bij vergelijkbare grondwaterspiegel. Ook temperatuur speelt een rol.

Krimp (irreversibel)

Krimp is het proces waarbij een onverzadigd stuk klei- of veengrond wordt samengedrukt door periodieke toename van de zuigspanningen in de bodem.³ Dit wordt veroorzaakt door bijvoorbeeld uitdroging door ontwatering en door verdamping, voornamelijk door het gewas. Plantenwortels kunnen de grond sterk uitdrogen en veel krimp veroorzaken. Dit proces is vergelijkbaar met compactie, maar dan boven het freatisch niveau. Het volumeverlies wordt krimp genoemd. In dit geval is het irreversibele/onomkeerbare krimp. Irreversibele krimp treedt ook op in veen, maar kan (nog) niet goed worden onderscheiden van effecten van veenoxidatie.

³ Schothorst 1966 maakt een onderscheid tussen klink (verdichting onder invloed van het eigen gewicht) en krimp (volumeverlies als ... van indroging ...?)

Krimp en zwel (reversibel)

Door uitdrogings- en vernattingscycli van veen en klei onder invloed van variabele weerscondities en de seizoenen treedt in deze materialen volumeafname en volumetoename op in de onverzadigde bodemzone. Dit wordt krimp en zwel genoemd. Krimp en zwel draagt bij aan bodembeweging: zowel daling en stijging. Vaak is dit volledig reversibel. Reversibele krimp en zwel veroorzaakt dus bodemdynamiek.

Anoxische veenafbraak (irreversibel)

Zuurstofarme (anaerobe) afbraak, hoewel langzamer dan zuurstofrijke (aerobe) afbraak, draagt aanzienlijk bij aan de veenafbraak in gedraineerde veengebieden (Tolunay et al., 2024). In onderzoek naar bodemdaling is de rol van veenafbraak van oudsher gecentreerd rond aerobe veenoxidatie, voornamelijk gedreven door het hoge reductiepotentieel van zuurstof (O_2). Onder zuurstofloze condities werden andere (alternatieve) elektronenacceptoren gebruikt dan zuurstof zoals nitraat, sulfaat, mangaan en ijzer. Deze alternatieve elektronenacceptoren kunnen worden getransporteerd door kwel en infiltratie en omgekeerde drainage waardoor anaerobe activiteiten worden versterkt.

Consolidatie (irreversibel)

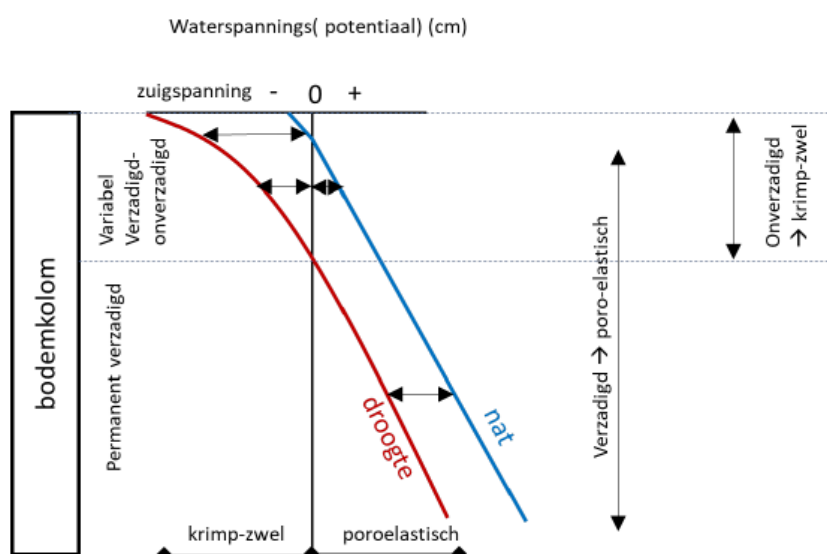
Dit proces betreft (verticale) samendrukking van het korrel- of veenskelet van het bodemmateriaal beneden de freatische grondwaterstand. Geleidelijk hoogteverlies van bodemlagen draagt door compactie bij aan bodemdaling. Compactie wordt bepaald door het verschil tussen de grondspanning in de bodem (vooral bepaald door het gewicht van het bovenliggende bodemmateriaal en water) en de waterspanning in de poriën. Bij stabiele grondspanningen (of belasting) wordt compactie met name versterkt wanneer de waterspanning in de poriën (sterk) afneemt ten opzichte van de grondspanningen.

Kruip (irreversibel)

Kruip is het proces waarbij het korrelskelet zich langzaam reorganiseert zonder dat dit direct wordt gedreven door een toename van effectieve spanning. Kruip treedt tegelijkertijd op met de fase waarin het poriënwater wordt uitgedrukt (primaire consolidatie), maar kan ook nog heel lang doorgaan (secundaire consolidatie).

Reversibele compactie of poro-elastische vervorming

Door fluctuaties van het freatisch niveau en/of van de stijghoogte ontstaan fluctuaties van de waterspanningen in het tussenliggende slappe lagenpakket. Bij verlaging van de waterspanning treedt enig volumeverlies op van het bodemmateriaal (er stroomt een beetje grondwater weg) en er treedt enige volumetoename op wanneer de waterspanning weer toeneemt (er wordt grondwater geborgen). De bodem 'ademt grondwater in en uit'. Dit omkeerbare proces draagt dus bij aan bodemdynamiek (Figuur 68).



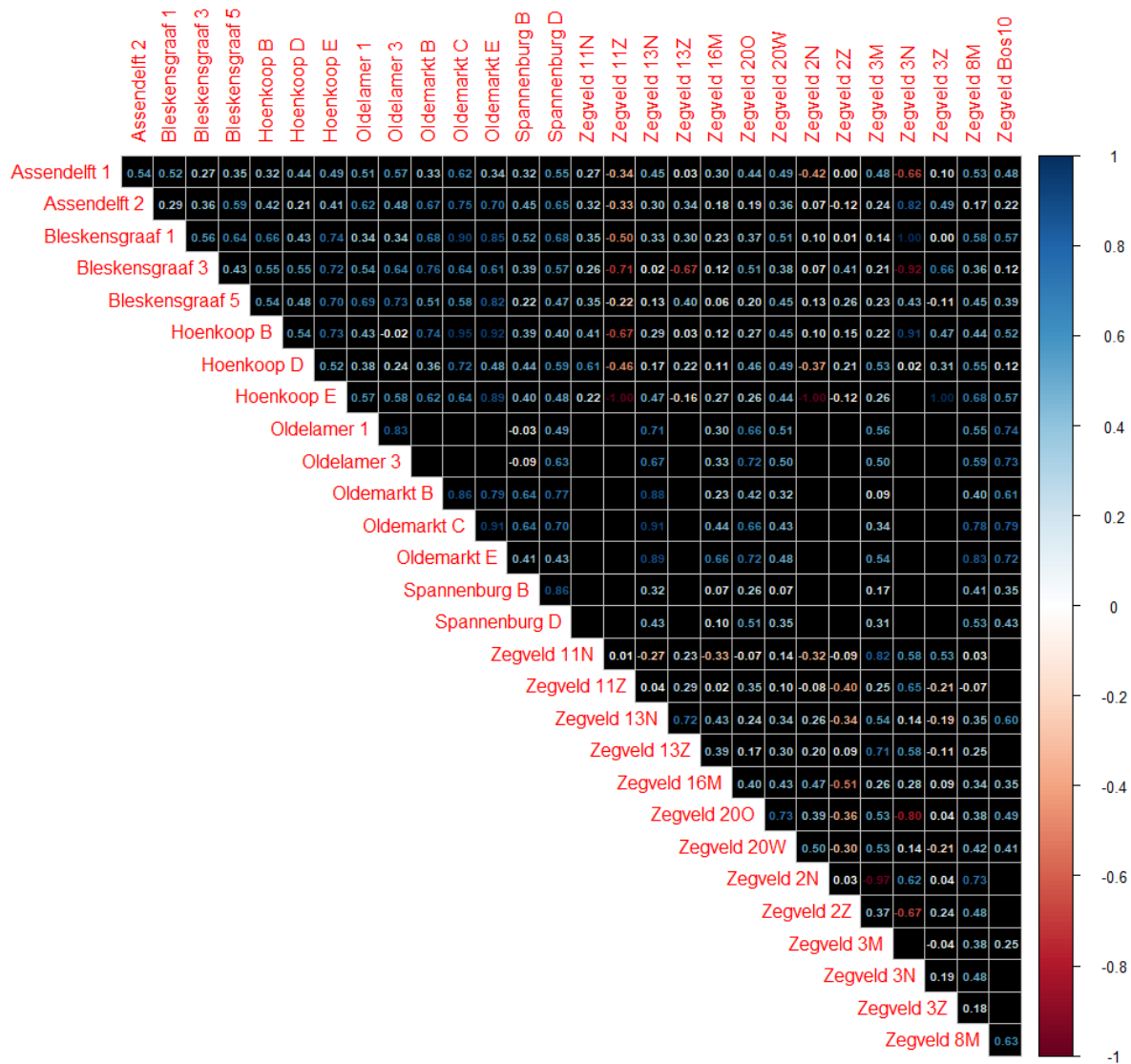
Figuur 68 Verschillende bodembewegingsprocessen in relatie tot verandering in de waterspanning (Bakema et al., 2022).

7 Resultaten en discussie

7.1 Betrouwbaarheid data

Een meetreeks van bodembewegingen van meer dan vijftig jaar is uniek. In die vijftig jaar is door een groot aantal onderzoekers gewerkt aan het meten, vastleggen en interpreteren van de data. Over die periode is de methode van meten niet veranderd. Wel zijn de condities van de diverse locaties veranderd; zo zijn waterpeilen aangepast, heeft er mogelijk een grondbewerking plaatsgevonden en zijn de klimatologische omstandigheden gewijzigd. Een deel van die verandering is gedocumenteerd maar veel is onbekend, dat maakt een interpretatie niet altijd eenduidig.

De meetdata hebben diverse bewerkingen ondergaan. De ruwe data bestaan uit waterpasgegevens van het maaiveld en de zakplaatjes. Om NAP-gegevens te krijgen, worden deze metingen gecorreleerd aan een vast punt. En de stabiliteit van het vaste punt wordt weer bepaald door deze te koppelen aan het landelijke meetnet. De ruwe data zijn veelal niet meer beschikbaar, alleen de NAP-hoogtes die gecorrigeerd zijn voor het vaste punt zijn vastgelegd. Eerst op papier, later in spreadsheets. Bij al deze bewerkingen kunnen fouten zijn ontstaan, maar dat is op dit moment niet meer te achterhalen. Wel kan gekeken worden of de meetreeksen consistent zijn en bepaalde trends laten zien (zie paragraaf 6.2). Door meetreeksen met elkaar te correleren, wordt er een beeld gekregen van de eenduidigheid van de trends in de meetreeksen. In Figuur 69 worden de paarsgewijze Pearson-correlaties gegeven tussen de reeksen met maaiveld dalingssnelheden per locatie. Het is duidelijk dat er een positieve relatie is tussen veel van de reeksen. Dit geeft daarmee een indicatie van de betrouwbaarheid en vergelijkbaarheid van de diverse meetreeksen. Er zijn ook meetlocaties, zoals Zegveld 2N, 2Z en 3N en Zegveld 11Z, die een negatieve correlatie hebben met de andere reeksen. Mogelijk wordt dit veroorzaakt doordat die locaties (en ook locaties 3 Z en 13 Z) liggen tussen twee infiltratiedrains met een onderlinge afstand van 4 m waardoor de grondwaterstand sterk verhoogd is (Hoving et al., 2023). In zijn algemeenheid laten de Zegveld-locaties onderling sterk wisselend positieve en negatieve correlaties zien. Dit geeft een indicatie dat de Zegveld-metingen mogelijk minder betrouwbaar zijn, wat veroorzaakt kan zijn doordat de omstandigheden in de loop der tijd sterk zijn gewijzigd en omdat vaste punten instabiel blijken te zijn.



Figuur 69 Paarsgewijze Pearson correlatie tussen maaiveldalingsreeksen van verschillende locaties. Blauw is positief gecorreleerd, rood is negatief gecorreleerd, blanco geen overlap in meetreeksen.

7.2 Maaiveldalingssnelheid

7.2.1 Gemiddelde maaiveldalingssnelheid

De gemiddelde jaarlijkse maaiveldalingssnelheid en standaardafwijking per meetlocatie over de gehele meetperiode staan vermeld in Tabel 54. Tevens is het eerste en laatste jaar van de meetreeks weergegeven. Uit de relatieve grootte van de standaardfout van de meting t.o.v. de gemiddelde daling kan worden opgemaakt dat er een grote mate van onzekerheid is over de gemeten maaiveldalingssnelheid. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt doordat de vochtcondities in de winter/het voorjaar tussen de meetjaren sterk verschillen, waardoor het veen in meer of minder mate is gezwollen (zie ook par. 7.3.2 over reversibele krimp). Voor de analyse betekent dit dat de maaiveldalingssnelheden niet over een jaar bekeken moeten worden, maar alleen als een gemiddelde waarde over een periode van minimaal vijf jaar.

Bij vijf meetlocaties is aangetoond dat de jaarlijkse dalingssnelheid groter is dan 0 (bij een significantieniveau van 0,05). Dit wil echter niet zeggen dat er bij de overige meetlocaties geen maaiveldaling heeft plaatsgevonden. De nauwkeurigheid waarmee maaiveldaling wordt gemeten, kan

worden vergroot (en daarmee kunnen p-waarden worden verkleind) door op meerdere tijdstippen in het voorjaar te meten, deze metingen jaarlijks te middelen en op deze jaarcijfers trendanalyse uit te voeren.

De hoogste gemiddelde maaiveldalingssnelheden zijn gemeten op locaties Spannenburg B en Assendelft 1 met een daling van respectievelijk 18 en 17 mm per jaar. De laagste gemiddelde daling is gemeten voor Hoenkoop E met 1,9 mm per jaar. Ook Zegveld 11Z geeft zeer lage waarden, maar er is twijfel over de betrouwbaarheid van de data (zie par. 7.1). De gemiddelde maaiveldalingssnelheid over de gehele periode van vijftig jaar en over alle meetlocaties ligt op 7 mm/jaar. De maaiveldalingssnelheid is lager dan de gemiddelde daling van de polderpeilen (12 mm/jaar, Tabel 1).

Schothorst (1977) concludeert op basis van historisch onderzoek dat er in de afgelopen tien eeuwen een maaiveldaling moet zijn geweest van 1,7 mm/jaar. Erkens et al. (2016) ontwikkelden hoogtemodellen voor de huidige situatie en de situatie van 1000 jaar geleden en kwamen daarbij tot een maaiveldaling van 1,9 mm/jaar voor het gehele Nederlandse veengebied. Hiervan is 66% (1,3 mm/jaar) veroorzaakt door de gevolgen van drainage en de rest door het afgraven van veen. Ten slotte komen Van Asselen et al. (2018) op basis van oxidatiesnelheden gemeten aan veenmonsters tot snelheden van 2 mm/jaar over de afgelopen tien eeuwen. Deze onderzoeken geven aan dat ook voordat de ontwatering in Nederland eind jaren zestig sterk werd verlaagd er al een permanente bodemdaling was tussen de 1,3 en 2,0 mm/jaar. Dit betekent dat oxidatie- en consolidatieprocessen (zie par. 7.2.3) in het veen altijd aanwezig zijn geweest ondanks de hoge grondwaterstanden. Wel is dit proces in stand gehouden doordat waterpeilen altijd hebben meewogen met de maaiveldaling. Dit proces is vanaf de jaren zestig versterkt doorgevoerd, waardoor de maaiveldaling drie keer zo hoog is geworden.

Het gemiddelde van alle Zegveld-locaties voor de afgelopen vijftig jaar ligt op 5 mm/jaar. Opvallend is dat deze snelheid vrijwel vergelijkbaar is met de door Schothorst (1977) gerapporteerde snelheid (6 mm/jaar) in de periode 1877-1965 voor de polder Zegveld (zie par. 2,2). De belangrijkste reden voor de sterke bodemdaling in die periode is de verlaging van het winterpeil. Of deze ontwikkeling zich in andere delen van Nederland heeft voorgedaan is niet bekend, maar is wel zeer waarschijnlijk omdat vanaf halverwege de 19^e eeuw stoommachines beschikbaar kwamen om polders versneld leeg te pompen. Door een lager winterpeil werd het veen minder vernat en kon de in de zomer ontstane krimp van veen niet meer worden hersteld.

Tabel 54 Gemiddeld maaiveldalingssnelheid over de hele historie per meetlocatie.

Meetlocatie	start	eind	Dalingssnelheid maaiveld (cm jaar ⁻¹)	Standaard fout	p-waarde
Assendelft 1	1976	1997	1,65	0,47	0,00
Assendelft 2	1976	1997	0,92	0,32	0,01
Bleskensgraaf 1	1971	2011	0,69	0,26	0,01
Bleskensgraaf 3	1971	2014	0,31	0,28	0,27
Bleskensgraaf 5	1974	2015	0,40	0,27	0,15
Hoenkoop B	1970	2015	0,50	0,23	0,03
Hoenkoop D	1970	2015	0,37	0,30	0,22
Hoenkoop E	1974	2008	0,19	0,23	0,40
Oldelamer 1	1993	2004	1,39	1,08	0,23
Oldelamer 3	1993	2004	0,90	0,73	0,25
Oldemarkt B	1979	1984	0,84	0,40	0,09
Oldemarkt C	1979	1984	0,68	0,44	0,18
Oldemarkt E	1979	1984	1,20	0,68	0,14
Spannenburg B	1979	1998	1,80	0,37	0,00
Spannenburg D	1979	1998	1,26	0,37	0,00
Zegveld 11N	2006	2017	0,51	0,72	0,50
Zegveld 11Z	2006	2024	0,07	0,81	0,93
Zegveld 13N	1974	2023	0,47	0,23	0,05
Zegveld 13Z	2006	2024	0,42	0,49	0,40

Meetlocatie	start	eind	Dalingssnelheid maaiveld (cm jaar ⁻¹)	Standaard fout	p-waarde
Zegveld 16M	1971	2023	0,57	0,35	0,11
Zegveld 20O	1971	2024	0,47	0,36	0,19
Zegveld 20W	1971	2023	0,26	0,39	0,51
Zegveld 2N	2007	2024	0,40	0,47	0,41
Zegveld 2Z	2005	2018	0,44	0,81	0,60
Zegveld 3M	1971	2010	1,05	0,41	0,01
Zegveld 3N	2010	2015	0,53	0,55	0,38
Zegveld 3Z	2007	2024	0,89	0,57	0,14
Zegveld 8M	1977	2024	0,40	0,28	0,17
Zegveld Bos10	1978	2002	0,56	0,55	0,33
Gemiddeld			0,69	0,46	

7.2.2 Factoren van invloed op maaiveld dalingssnelheid

De maaiveld dalingssnelheid wordt bepaald door een groot aantal factoren. Uit eerdere onderzoeken is gebleken dat er een duidelijk relatie is tussen grondwaterstand (slootpeil) en maaiveld daling en dat dit mogelijk kan verschillen als er een kleidek op het veen ligt (Van den Akker et al., 2009). Daarnaast is wellicht ook de dikte van het veenpakket of het veentype een onderscheidend kenmerk. Ten slotte kan de grondbewerking een rol hebben gespeeld bij maaiveld daling.

Maaiveld dalingssnelheid en slootpeil

In Figuur 70 is de relatie te zien tussen het gemiddelde slootpeil en de gemeten gemiddelde maaiveld dalingssnelheid. Opvallend is dat er bij de Oldemarkt en Spannenburg verschillende bodemdalingssnelheden worden gevonden bij dezelfde slootpeilen. Uit historische data blijkt dat dit mogelijk wordt veroorzaakt door diepe grondbewerkingen die op de afzonderlijke locatie zijn gepleegd (zie par. 3). Verder valt op dat de locatie van Zegveld een erg grote spreiding te zien geeft en daarmee ook een minder sterke relatie met het slootpeil. Hierbij speelt op Zegveld zeker mee dat daar drainage (ook infiltratiedrains) en diverse bodemverbeteringen zijn toepast die van invloed zijn geweest op de dalingssnelheid. De Zegveld-locatie geeft ook aan dat ondanks een zeer hoog slootpeil (< 30 cm -mv) er nog aanzienlijke maaiveld daling kan optreden. Ondanks alle beperkingen geven alle data samengevoegd een lineaire relatie ($R^2=0,56$) tussen maaiveld daling en slootpeil zoals gemeten in het voorjaar (maart/april). Tabel 55 vat de details van het lineaire regressiemodel in (1) samen:

$$\text{Maaiveld daling per jaar (cm)} = 1,2954 \text{ Voorjaar Slootpeil (m)} - 0,0813 \quad (1)$$

Tabel 55 Lineair regressiemodel voor de relatie tussen maaiveld daling y per jaar (cm) en slootpeil x in het voorjaar (m), $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i$

Coëfficiënt	Schatting	Standaardfout	t-waarde	$P(> t)$
β_0	-0.0813	0.1418	-0.573	0.571
β_1	1.2954	0.2191	5.913	$2.66 \cdot 10^{-6}$

Uit de resultaten in Tabel 55 blijkt dat er een positieve lineaire samenhang is aangetoond tussen maaiveld daling in cm per jaar en slootpeil in het voorjaar, bij een significantieniveau van 0,05.

Deze vergelijking (1) laat zien dat als het slootpeil met 10 cm (0.1 m) wordt verhoogd, de bodemdaling afneemt met 1.3 mm (0,13 cm) per jaar. Maatregelen die het veen vernatten, zijn dan ook een effectieve methode om bodemdaling af te remmen. Dit des te meer omdat de diepte van de grondwaterspiegel de beste voorspeller is voor bodemdalingssnelheid (Evans et al., 2019; Freeman et al., 2022) en omdat slootpeil in onze studie feitelijk als een proxy wordt gebruikt voor grondwaterpeil vanwege gebrek aan gegevens over grondwaterpeil. De relatie tussen slootpeil en grondwaterpeil is echter niet eenduidig, o.a. door verschillende

in veeneigenschappen (o.a. doorlatendheid) en in afstand tussen sloten. Dit maakt het des te opmerkelijker dat er voor alle sites in combinatie een duidelijke relatie met slootpeil blijkt te bestaan.

Aangezien een (belangrijk) deel van de maaivelddaling wordt veroorzaakt door oxidatie, wordt verhoging van de grondwaterstand ook gezien als de belangrijkste methode om CO₂-emissies uit veen te verlagen (o.a. Evans et al., 2021; Freeman et al., 2022; Ferré et al., 2019; Tiemeyer et al., 2021; Tanneberger et al., 2020). Een aantal grote experimentele studies bevestigen het verband tussen grondwaterspiegel en CO₂-emissies (o.a. Evans et al., 2021; Tiemeyer et al., 2021; Aben et al., 2024), maar er zijn ook studies waarin zo'n verband niet gevonden is (zie bv. Heller et al., 2025). Omdat dit onderzoek zich richt op maaivelddaling en niet op CO₂-emissies, voert het te ver om hier verder op in te gaan, maar dit zou kunnen komen doordat CO₂-emissies behalve door grondwaterstand ook beïnvloed wordt door andere factoren. Dit is in feite voor de relatie tussen grondwaterpeil en maaivelddaling ook het geval, zoals ook besproken in de volgende paragrafen.

Maaivelddaling en kleidek

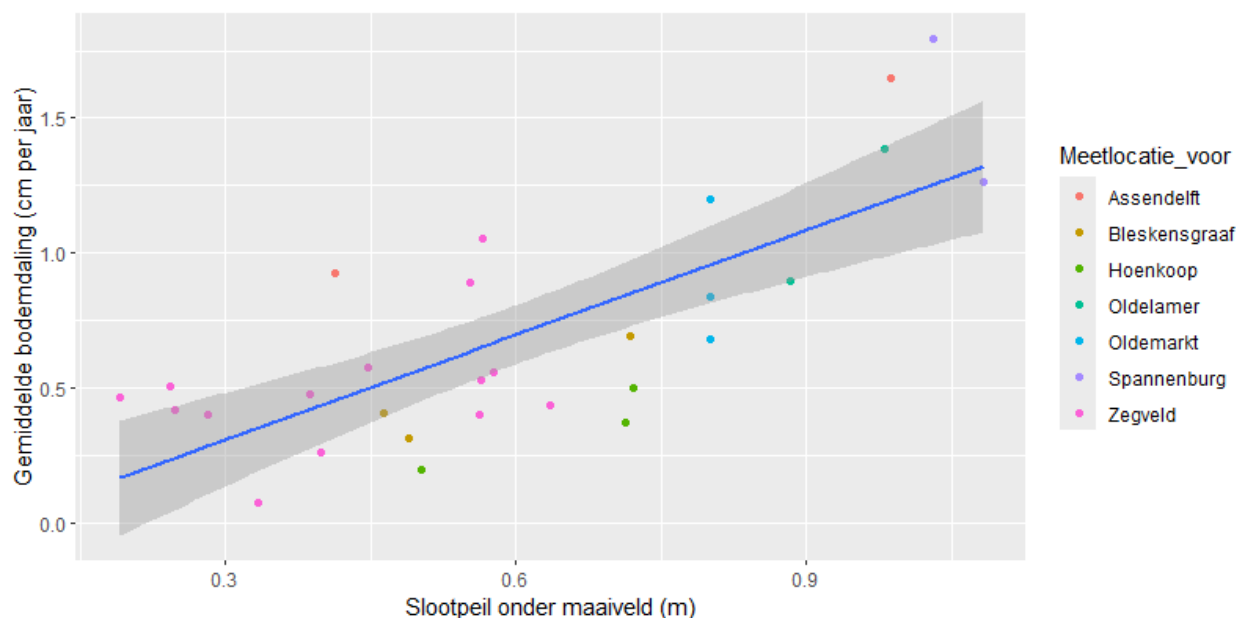
In relatie 1 zijn alle locaties met en zonder kleidek meegenomen. De locatie Zegveld (koopveengrond) en Oldelamer (vlierveengronden) hebben geen kleidek, Bleskensgraaf, Hoenkoop en Assendelft, Spannenburg (weideveengrond), Oldemarkt (waardveengrond) hebben een kleidek (< 40 cm). Van de locatie Spannenburg is bekend dat deze voorafgaand aan de meting is gediepspit. Hiervoor kan een deel van het kleidek zijn vermengd met het onderliggende veen.

Een onderscheid tussen met en zonder kleidek levert geen significante verandering op van de relatie. Dit zou betekenen dat het al dan niet aanwezig zijn van een kleidek minder sterk bepalend is voor de maaivelddalingssnelheid. Dit lijkt in tegenstelling te staan tot eerdere onderzoeken naar de invloed van kleidek (Van den Akker et al., 2007). In dat onderzoek is op basis van bodemdalingsgegevens van diverse meetlocaties (voor een gedeelte zijn dit dezelfde locaties als in dit onderzoek) van de periode 1980-1998 is een relatie opgesteld tussen slootpeil en bodemdalingssnelheid (op basis van lineaire regressie). Naast de resultaten van de monitoring door WENR van de maaivelddalingen in veenweidegebieden, is daarbij ook gebruikgemaakt van de resultaten van onderzoek naar het Friese veenweidegebied (1966-1976) door Janssen (1986). In Figuur 71 zijn de resultaten van Janssen en de monitoring van WENR bijeengebracht en werden de onderstaande relatie gevonden (Van den Akker et al., 2007):

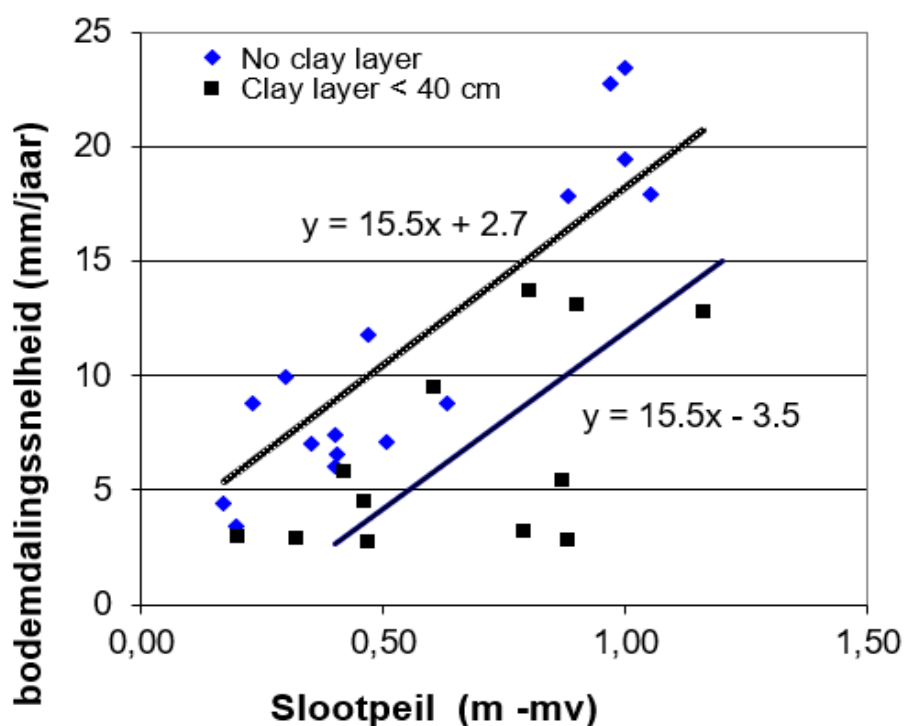
Bij veengronden zonder kleidek: maaivelddaling per jaar (cm) = 1,5455 Slootpeil (m) + 0,275 (2)

Bij veengronden met kleidek: maaivelddaling per jaar (cm) = 1,5455 Slootpeil (m) – 0,353 (3)

De richtingscoëfficiënten uit het onderzoek van Van den Akker et al. (2007) zijn iets hoger dan die uit dit onderzoek. Mogelijk speelt hierin mee dat de meetperiode waarover in dit onderzoek wordt gekeken ook de laatste twee decennia bevat, waarin dalingssnelheden zijn verminderd (zie par. 7.2.3). Qua intercept zit de vergelijking uit dit onderzoek ongeveer midden tussen de twee vergelijkingen in. Voor de relatie met kleidek onderschat die relatie (3) de maaivelddaling bij lage slootpeilen. De maaivelddalingen zoals berekend zonder kleidek (relatie 2) zijn hoger dan de op basis van de relatie (1) uit dit onderzoek. Een van de redenen is dat metingen van Janssen voor een belangrijk deel zijn beïnvloed doordat op de locaties diepe grondbewerkingen, egalisatie en intensieve detaildrainage hebben plaatsgevonden waardoor de maaivelddaling is versterkt. Verder kan meespelen dat Janssen in een andere periode heeft gemeten (1930-1980) en met een ander methode en meetfrequentie. Ten slotte zijn de veenlagen boven in het profiel de afgelopen decennia sterk veraard waardoor de oxidatiesnelheid is afgenomen (zie par. 7.2.3).

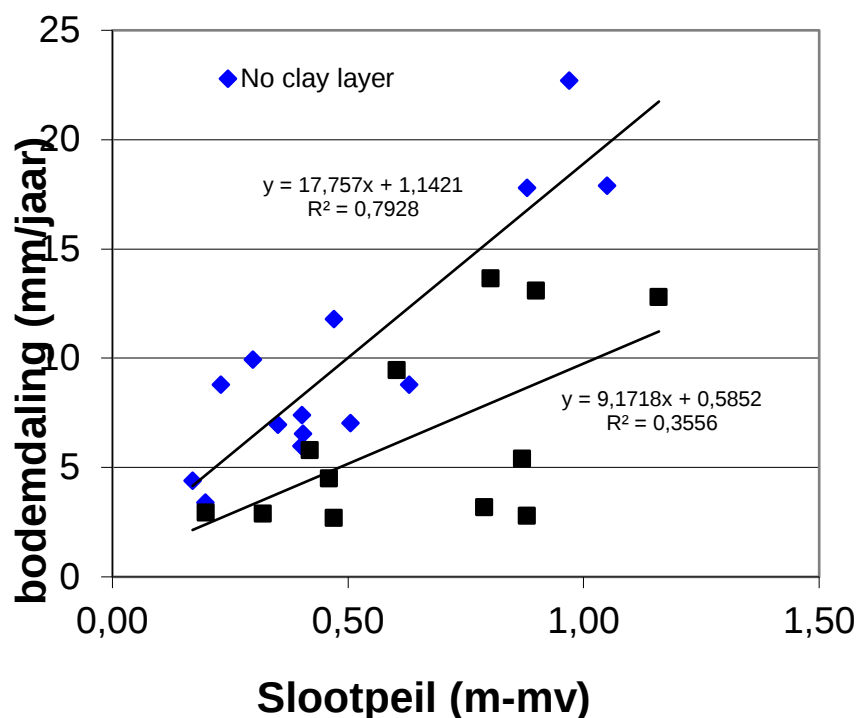


Figuur 70 Gemiddelde verschil in meters tussen slootpeil (voorjaar) en maaiveld gemeten per locatie uitgezet tegen de gemiddelde bodemdalingssnelheid in cm per jaar.



Figuur 71 Vergelijking tussen slootpeil en bodemdalingssnelheid met en zonder kleidek (Van den Akker et al., 2007).

Opvallend in de relaties 2 en 3 is dat ze beide een constante hellingshoek hebben. Hiervoor is in 2007 gekozen om een eenvoudige relatie tussen met en zonder kleidek te maken (mondelinge mededeling Van den Akker, 2025). De originele analyse geeft echter een heel ander beeld, waarbij de hellingshoek zonder klei veel steiler is dan die zonder kleidek (Figuur 72). Dit maakt dat de vergelijking tussen relaties uit 2007 en die gevonden in dit onderzoek in werkelijkheid nog verder uit elkaar lopen.



Figuur 72 Vergelijking tussen slooppeil en bodemdalingssnelheid met en zonder kleidek (analyse 2025) (origineel Van den Akker et al., 2007).

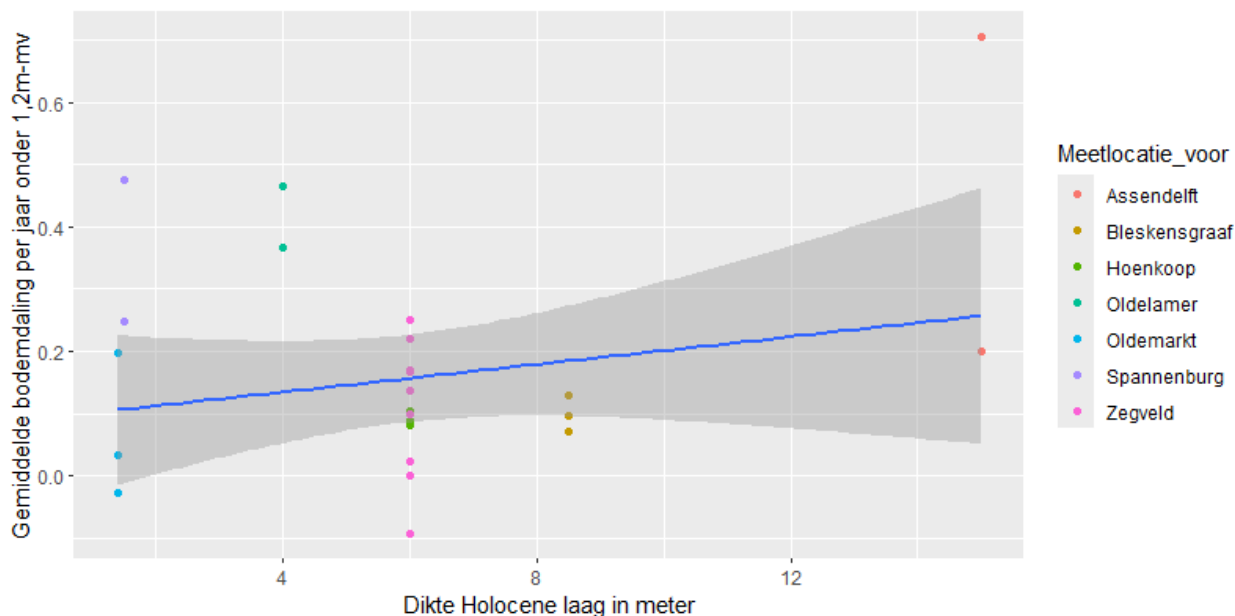
Maaivelddalingssnelheid en dikte holocene deklaag

De dikte van de holocene deklaag verschilt aanzienlijk tussen de diverse locaties: van ca. 1,5 m voor de locaties in Friesland tot meer dan 15 m in Assendelft. In potentie hebben dikkere klei- en veenlagen – mits voldoende ontwaterd – de mogelijkheid meer in te klinken. Verschillende buitenlandse onderzoeken hebben aangetoond dat dikkere veenlagen meer bodemdaling vertonen (Grzywna, 2017; Ikkala et al., 2021), wat kan wijzen op het belang van voortdurende consolidatie en kruip, zelfs over langere perioden. Van Asselen et al. (2025 in press.) vonden in Nederland ook voor de locatie met het dikste veenpakket de grootste jaarlijkse dynamiek van het veenoppervlak, wat toegeschreven kan worden aan poro-elastische vervorming. Op basis van de data uit dit onderzoek wordt er echter geen duidelijke relatie gevonden tussen de dikte van het Holocene pakket en de maaivelddalingssnelheid dieper dan 1,2 m -mv (Figuur 73). Vermoedelijk treden de consolidatieprocessen met name op in het bovenste deel van de verzadigde laag en heeft de dikte van het Holocene pakket daar weinig invloed heeft.

Tabel 56 geeft het lineaire regressiemodel voor de relatie tussen gemiddelde bodemdaling per jaar onder 1.20 m -mv (cm) en de dikte van de holocene laag (m). De determinatiecoëfficiënt R^2 van het model is 0.04396. Er kan geen significante relatie worden aangetoond bij een significantieniveau van 0,05.

Tabel 56 Lineair regressiemodel voor de relatie tussen gemiddelde bodemdaling per jaar onder 1.20 m-mv (cm) en de dikte van de holocene laag (m), $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i$.

Coëfficiënt	Schatting	Standaardfout	t-waarde	$P(> t)$
β_0	0,08986	0,07058	1,273	0,215
β_1	0,01112	0,01038	1,072	0,294



Figuur 73 Gemiddelde bodemdaling per jaar dieper dan 1,2 m -mv in relatie tot de dikte van de Holocene laag (m).

Maaiveldalingssnelheid en veentype

Het veen dat op de diverse locaties wordt gevonden verschilt in trofiegraad. Zo zijn er eutrofe venen (bosveen) in Zegveld, Bleskensgraaf en Hoenkoop, mesotrofe venen (zeggeveen) in Assendelft en oligotrofe venen (veenmosveen) in Spannenburg, Oldemarkt en Oldelamer. Het lijkt erop dat bij toename van de trofiegraad de maaiveldalingssnelheid toeneemt. Dit komt gedeeltelijk overeen met onderzoek van Tolunay et al. (2024), waarin variaties in afbraaksnelheden tussen verschillende soorten veen werden onderzocht van locaties in Zegveld (bosveen), Rouveen (zeggeveen), Bunschoten (veenmos) en de Onlanden (rietveen). Riet- en zeggeveen vertoonden onder zuurstofarme omstandigheden hogere afbraaksnelheden in vergelijking met bos- en mosveen. Zij benadrukken het belang van de botanische samenstelling van veengebieden bij het voorspellen van afbraak- en maaiveldalingssnelheden. In eerder onderzoek van Van Asselen et al. (2018) werd er echter geen relatie gevonden tussen veentype en de consolidatie.

Maaiveldaling en grondbewerking

De locaties Spannenburg en Oldelamer hebben voorafgaand aan het plaatsen van de zakplaatjes een intensieve grondbewerking ondergaan (zie par. 3.6). Er is o.a. geploegd en gespit, waardoor er waarschijnlijk een meer lossere toplaag is ontstaan of veen naar boven is gehaald. Het is mogelijk dat die toplaag in de daaropvolgende jaren weer extra is verdicht, met als gevolg een meer dan gemiddelde daling van het maaiveld. Dit effect is het duidelijkst zichtbaar bij Spannenburg B, waar de gehele bovenste 20 cm sterk is afgenomen. In Zegveld vonden Massop et al. (2024) ook een sterk toegenomen dalingssnelheid van de bovenste bodemlagen in de eerste jaren na bol leggen van het betreffende perceel.

7.2.3 Maaiveldalingssnelheid in de tijd

De maaiveldalingssnelheid is niet stabiel en is in de loop der tijd veranderd. In Tabel 57 is de gemiddelde maaiveldalingssnelheid weergegeven per decennium. Er zitten grote verschillen tussen de dalingssnelheid per decennia. Voor het eerste en laatste decennium per meetpunt is dit deels veroorzaakt doordat er niet het volledige decennium is gemeten. De reeksen voor Oldemarkt beginnen bijvoorbeeld pas in 1978 en de dalingssnelheden voor de jaren 70 zijn dus gebaseerd op maar twee metingen. Om dit effect eruit te filteren, zijn ook maaiveldalingssnelheden weergegeven waar korte reeksen ($n < 5$) zijn verwijderd (Tabel 58). In zijn algemeenheid neemt de maaiveldalingssnelheid over de meetperiode van vijftig jaar af. In de jaren zeventig en tachtig was dit gemiddeld 9 mm/jaar en in de jaren 90, 00 en 10 varieert dit rond de 5 mm/jaar. In de laatste meetperiode (>2020), met alleen waarden van Zegveld, lijkt er zelfs sprake te zijn van een stijging, maar daarbij moet wel worden opgemerkt dat de meetperiode soms erg kort is waardoor een verhoogde waarde de trend kan bepalen.

De verlaagde maaiveldalingssnelheid kan meerdere oorzaken hebben, zoals afname van de drooglegging en de veraarding van het veen. Er zijn echter ook trends zoals de stijging van de lucht- en bodemtemperatuur die tot een versnelling zouden kunnen leiden.

Tabel 57 Gemiddelde maaiveldalingssnelheid per decennium per meetlocatie (cm/jaar).

Meetlocatie	1970	1980	1990	2000	2010	2020
Assendelft 1	2,77	1,35	0,99			
Assendelft 2	1,83	0,75	0,41			
Bleskensgraaf 1	1,57	0,59	-0,06	0,74	-0,78	
Bleskensgraaf 3	0,65	0,38	0,10	0,38	-0,65	
Bleskensgraaf 5	0,48	0,53	0,28	0,57	-0,21	
Hoenkoop B	0,98	0,57	0,10	0,33	0,33	
Hoenkoop D	0,18	0,71	0,08	0,77	-0,37	
Hoenkoop E	0,52	0,31	0,01	-0,06		
Oldelamer 1			1,80	0,66		
Oldelamer 3			1,05	0,64		
Oldemarkt B	1,26	0,63				
Oldemarkt C	0,53	0,76				
Oldemarkt E	0,73	1,43				
Spannenburg B	3,17	2,03	1,16			
Spannenburg D	2,44	1,36	0,84			
Zegveld 11N				0,71	0,36	
Zegveld 11Z				-1,20	0,59	0,69
Zegveld 13N	0,73	0,55	0,34	0,35	0,94	-0,79
Zegveld 13Z				0,47	0,86	-0,73
Zegveld 16M	0,74	0,31	1,35	0,03	1,11	-0,90
Zegveld 20O	0,53	1,13	0,33	0,03	0,53	-0,21
Zegveld 20W	1,05	0,86	0,64	-0,13	-0,14	-2,40
Zegveld 2N				0,46	0,59	-0,13
Zegveld 2Z				0,79	0,18	
Zegveld 3M	1,33	1,35	0,69	0,80		
Zegveld 3N				0,46	0,53	0,59
Zegveld 3Z				1,21	0,92	0,50
Zegveld 8M	-0,67	1,25	0,07	0,54	0,66	-0,89
Zegveld Bos10	0,56	0,94	-0,14	1,74		
Gemiddeld	1,07	0,89	0,53	0,43	0,29	-0,43

Tabel 58 Gemiddelde maaiveld dalingsnelheid per decennium per meetlocatie (cm/jaar) (gecorrigeerd $n < 5$ verwijderd).

Meetlocatie	1970	1980	1990	2000	2010	2020
Assendelft 1	2,77	1,35	0,99			
Assendelft 2	1,83	0,75	0,41			
Bleskensgraaf 1	1,57	0,59	-0,06	0,74		
Bleskensgraaf 3	0,65	0,38	0,10	0,38		
Bleskensgraaf 5	0,48	0,53	0,28	0,57		
Hoenkoop B	0,98	0,57	0,10	0,33		
Hoenkoop D	0,18	0,71	0,08	0,77		
Hoenkoop E	0,52	0,31	0,01	-0,06		
Oldelamer 1			1,80	0,66		
Oldelamer 3			1,05	0,64		
Oldemarkt B						
Oldemarkt C						
Oldemarkt E						
Spannenburg B		2,03	1,16			
Spannenburg D		1,36	0,84			
Zegveld 11N				0,71	0,36	
Zegveld 11Z				-1,20	0,59	
Zegveld 13N	0,73	0,55	0,34	0,35	0,94	
Zegveld 13Z				0,47	0,86	
Zegveld 16M	0,74	0,31	1,35	0,03	1,11	
Zegveld 20O	0,53	1,13	0,33	0,03	0,53	
Zegveld 20W	1,05	0,86	0,64	-0,13	-0,14	
Zegveld 2N				0,46	0,59	
Zegveld 2Z				0,79	0,18	
Zegveld 3M	1,33	1,35	0,69	0,80		
Zegveld 3N				0,46	0,53	
Zegveld 3Z				1,21	0,92	
Zegveld 8M	-0,67	1,25	0,07	0,54	0,66	
Zegveld Bos10	0,56	0,94	-0,14	1,74		
Gemiddeld	0,88	0,88	0,53	0,43	0,59	

Verminderde drooglegging

In dit onderzoek is voor de drooglegging niet gekeken naar grondwaterstanden, maar naar slootpeilen. Dit geeft wellicht een iets vertekend beeld, omdat een verslechterende doorlatendheid van het veen tot een grotere opbolling van de grondwaterstand leidt en het veen daarmee langer nat blijft. Tabel 59 laat zien dat bij de locaties Assendelft, Bleskensgraaf 1 en 3 en Hoenkoop B de drooglegging daadwerkelijk is afgenomen. Echter voor de overige locaties is de drooglegging relatief stabiel of zelfs toegenomen. Die toename zou voor een versnelling van de dalingsnelheid moeten zorgen, maar die wordt op die locaties niet waargenomen.

Tabel 59 Gemiddelde drooglegging per decennium. Verandering drooglegging over de gehele meetperiode. Een positieve waarde betekent een vermindering van de drooglegging; een negatieve waarde een toename van de drooglegging.

Meetlocatie	1970	1980	1990	2000	2010	2020	verandering
Assendelft 1	105	98	96	81	66	39	
Assendelft 2	46	41	37	36	32	14	
Bleskensgraaf 1	89	75	77	50	45	44	
Bleskensgraaf 3	66	44	43	43	46	19	
Bleskensgraaf 5	47	46	43	47	50	-3	
Hoenkoop B	89	77	68	68	35	54	
Hoenkoop D	70	67	75	76	70	0	
Hoenkoop E	46	51	47	58		-11	
Oldelamer 1			99	97		1	
Oldelamer 3			88	89		0	
Oldemarkt B	80	80				0	
Oldemarkt C	80	80				0	
Oldemarkt E	80	80				0	
Spannenburg B	91	101	108			-17	
Spannenburg D	91	105	117			-26	
Zegveld 11N				21	27	-6	
Zegveld 11Z				29	35	35	-6
Zegveld 13N	21	22	17	13	20	23	-2
Zegveld 13Z				20	26	28	-8
Zegveld 16M	58	69	62	50	57	57	1
Zegveld 20O	40	44	39	34	35	39	1
Zegveld 20W	42	44	35	35	40	45	-3
Zegveld 2N				59	57	53	6
Zegveld 2Z				68	60	8	
Zegveld 3M	53	65	56	53		0	
Zegveld 3N				59	55	59	0
Zegveld 3Z				58	55	53	5
Zegveld 8M	20	30	24	22	37	51	-31
Zegveld Bos10	41	62	59	54		-13	
Gemiddeld						2	

Veraarding van het veen en afname organische stof kleidek

Recente boringen op de diverse meetlocaties laten zien dat het veen in de bovenste 50 cm voor een groot deel is veraard de afgelopen decennia (Figuur 74 en Figuur 75). Dit geldt zowel voor de locaties met als zonder een kleidek. Veraard veen heeft een veel lager percentage organische stof en verdere oxidatie zal dan ook minder bijdragen aan maaiveld daling.

Ook de kleidekken van waard- en vooral de weideveengronden zullen de neiging hebben om een steeds lager organischestofgehalte te krijgen. Vaak zit er veel organische stof in die kleidekken, met name bij weideveengronden. Dat kan komen door een veenlaag die vroeger op de kleilaag lag en er al dan niet doorheen is gewerkt. Door de voortdurende afbraak van de organische stof zal het organischestofgehalte dalen naar een nieuw evenwicht. Dit zal decennia duren, waarbij bedacht moet worden dat door grasresten en afgestorven graswortels er voortdurend organische stof wordt toegevoegd aan de kleilaag. Het dynamisch evenwicht dat na vele decennia ontstaat, kent nog een redelijk hoog organischestofgehalte, maar wel in het algemeen lager dan we nu meten. Daardoor zal de afdekkende kleilaag steeds beter functioneren als laag die niet meedoet aan de organischestofafbraak en zullen de CO₂-emissie en maaiveld daling van veen met een kleidek ook steeds lager worden.

	laag nr	boven- grens	onder- grens	hor.code	geo info	veen- soort	org. stof %	lutum %
		cm-mv	cm-mv				% *	% *
 BPK-335499 (2020)	1	0	20	1Ahg	Antropogeen	Veraard veen	36	40
	2	20	50	1Cw	Overig	Veraard veen	65	40
	3	50	65	1Cu	Moerig	Broekveen	80	35
	4	65	130	1Cr1	Moerig	Bosveen	75	35
	5	130	200	1Cr2	Moerig	Bosveen	70	35

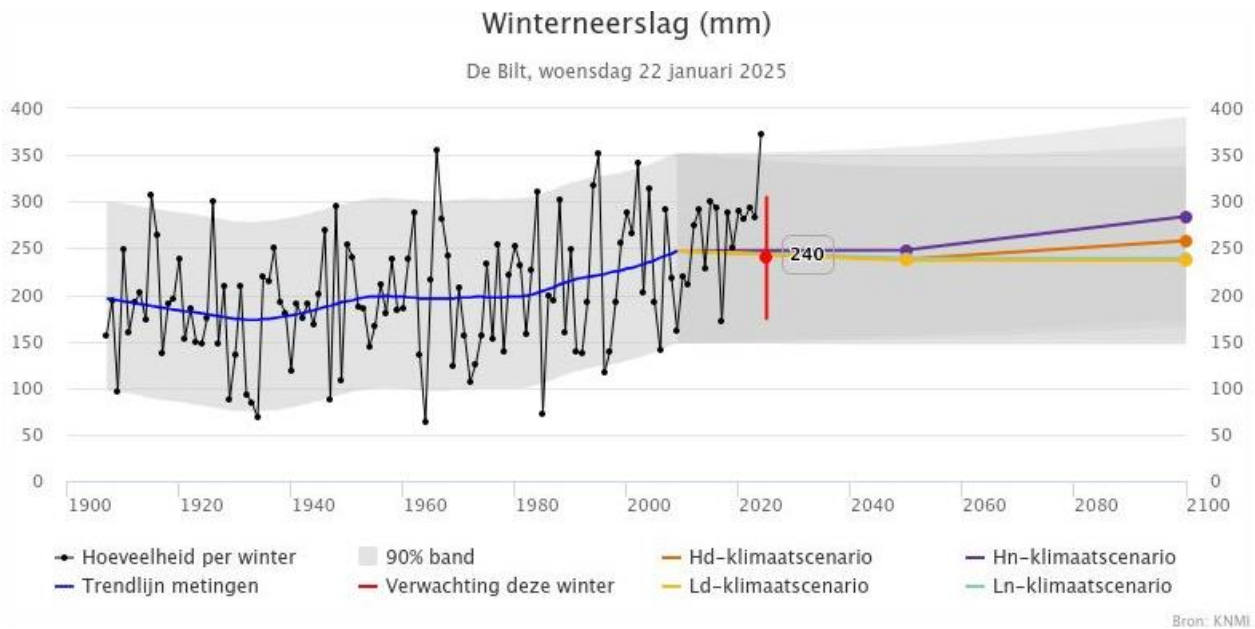
Figuur 74 Boring uit 2020 op Zegveld met veraard veen boven in het profiel.

	laag nr	boven- grens	onder- grens	hor.code	geo info	veen- soort	org. stof %	lutum %
		cm-mv	cm-mv				% *	% *
 PFB-8668 (2003)	1	0	20	1Aa	Antropogeen		27	38
	2	20	35	1Cg	Overig		20	40
	3	35	50	2Cw	Overig	Veraard veen	54	
	4	50	70	2Cu	Moerig	Bosveen	64	
	5	70	115	2Cr	Moerig	Bosveen	70	

Figuur 75 Boring uit 2003 in Hoenkoop met veraard veen onder het kleidek.

Verandering neerslagpatronen

Er is in Nederland een toename van de neerslaghoeveelheid van gemiddeld 800 mm in de jaren zestig naar 925 mm in 2024. De belangrijkste toename van de neerslaghoeveelheden is in de winter en in de lente (Figuur 76). Dit zou betekenen dat het veen in winter en lente meer wordt vernat en daardoor beter in staat is weer te zwellen, waardoor de ontstane krimp uit de zomer weer (vrijwel) volledig teniet wordt gedaan. Dit zou mogelijk de afname van de maaiveld dalingssnelheid gedeeltelijk kunnen verklaren en is ook in lijn met de constatering van Schothorst (1977) over de invloed van (verlaagde) winterpeilen op de bodemdaling (zie par. 2.2).



Figuur 76 Verloop winterneerslag (KNMI).

Toename van de lucht- en bodemtemperatuur

De bodemtemperatuur in de bovenste 100 cm is de afgelopen veertig jaar (1980-2020) met gemiddeld 1,5°C toegenomen (Bakema et al., 2022). De bodemtemperatuur is een van de factoren die meespeelt in bodemprocessen, naast mineralisatie, veenoxidatie en denitrificatie. In zijn algemeenheid leidt een stijging

van de bodemtemperatuur tot een versnelling van bodemprocessen, maar de mate waarin dat gebeurt, is niet eenduidig. Een reden hiervoor kan zijn dat bodemvocht ook belangrijk is, en dat hoge temperaturen zouden kunnen leiden tot een drogere bodem. Bij een te droge bodem kan de activiteit van microben afnemen, waardoor veenafbraak ook af zou kunnen nemen.

In de meeste gevallen wordt in simulatiemodellen een Q_{10} -, Arrhenius- of exponentiële relatie verondersteld, waarbij de processnelheid toeneemt bij een toenemende temperatuur (Bakema et al., 2022).

De hogere luchttemperaturen in de zomer kunnen ook voor extra verdamping zorgen, waardoor de grondwaterstanden verder uitzakken en er meer veen kan oxideren.

Afname consolidatie (verzadigde zone)

In zijn algemeenheid wordt verondersteld dat consolidatie en kruip (zie par. 7.2.4) afnemen in de tijd wanneer de grondwaterstanden niet verder veranderen. Die afname is voor consolidatie afhankelijk van de mate waarin het poriënwater kan wegstromen, terwijl kruip ook nadat het overtollige water is weggestroomd door blijft gaan, maar wel in de tijd af zal nemen. De diepere zakplaatjes (zie par. 7.2.4) laten echter ook in de latere jaren zien dat er nog steeds sprake is van een min of meer constante dalingssnelheid waardoor van een afname van de consolidatie/kruip nog geen sprake lijkt te zijn (Massop et al., 2024). Een verklaring voor de doorgaande daling zou ook kunnen zijn dat de grondwaterstanden juist voortdurend veranderen. In theorie zouden de diepste grondwaterstanden bepalend moeten zijn voor de consolidatie, want die geven de grootste korrelspanning. Die treden echter ieder jaar maar kort op, terwijl het proces wordt onderbroken (wellicht zelfs omgekeerd) zodra de grondwaterstand weer stijgt. Op die manier zou het heel lang kunnen duren voor er een nieuw evenwicht wordt bereikt.

7.2.4 Bodemdalingsprocessen

Om iets te kunnen zeggen over de bijdrage van de diverse bodemdalingsprocessen is gekeken naar de relatieve bijdragen van de diverse bodenlagen aan de bodemdaling. De bodem is hiervoor opgedeeld in een viertal compartimenten (0-40, 40-80, 80-120 en > 120 cm -mv). De bijdrage van de verschillende bodemlagen aan de totale daling van het maaiveld vertoont grote variatie (Tabel 60), maar het gemiddelde van alle locaties geeft wel een duidelijke trend. Zo vindt het grootste deel (67%) van de bodemdaling plaats in de laag tot 80 cm -mv, waarvan de verwachting is dat daar op enig moment in het seizoen zuurstof is toegetreden. Hiervan wordt 60% veroorzaakt door de bovenste 40 cm en 40% van de laag tussen 40-80 cm -mv. De laag dieper dan 1,2 m -mv, waarvan de verwachting is dat deze altijd is verzadigd, draagt 27% bij aan de bodemdaling. Hierbij kan aangetekend worden dat een schatting op basis van het zakplaatje op 1,2 m diepte een voorzichtige schatting is, omdat in sommige sites de grondwaterstand altijd hoger is, en in vrijwel alle sites een grondwaterstand van 1,2 m -mv slechts zelden voorkomt. Ook kan er nog consolidatie/kruip optreden in het deel van de bodem dat periodiek verzadigd is. De werkelijke bijdrage van consolidatie/kruip zou dus nog wat hoger kunnen zijn.

De verdeling van de maaiveld daling komt overeen met eerdere studies van Beuving en Van den Akker (1996), Erkens et al. (2016), Van Asselen et al. (2018) en Massop et al. (2024). Zij geven aan dat dat ongeveer 2/3 van de bodemdaling in Nederlandse veengebieden het gevolg is van oxidatie en krimp, en 1/3 als gevolg van consolidatie en kruip.

De waargenomen daling boven 0,8 m -mv is waarschijnlijk grotendeels veroorzaakt door oxidatie en krimp, maar zoals boven gezegd kan ook consolidatie/kruip tijdens een deel van het jaar optreden. De bijdrage van de laag 0,8 m-1,2 m -mv is gering, omdat aan de ene kant deze laag zelden onderhevig is aan oxidatie/krimp, en aan de andere kant deze laag vaak veel dunner is dan de onderliggende veenlaag, waardoor consolidatie/kruip in deze laag gering is t.o.v. consolidatie/kruip beneden 1,2 m -mv.

Tabel 60 Dalingssnelheid diverse bodemlagen als % dalingssnelheid maaiveld.

Meetlocatie	MV (cm per jaar)	Gemiddelde Slootpeil onder maaiveld (m)	MV en MV-0,4 meter	MV-0,4 meter en MV-0,8 meter	MV-0,8 meter en MV-1,2 meter	MV -1,2 meter
Assendelft 1	1,65	0,99	40%	10%	7%	43%
Assendelft 2	0,92	0,41	43%	33%	2%	22%
Bleskensgraaf 1	0,69	0,72	29%	39%	13%	19%
Bleskensgraaf 3	0,42	0,49	29%	49%	-6%	28%
Bleskensgraaf 5	0,40	0,46	49%	8%	24%	18%
Hoenkoop B	0,50	0,76	25%	36%	22%	17%
Hoenkoop D	0,37	0,71	11%	41%	24%	24%
Hoenkoop E	0,19	0,50	-11%	64%	-8%	54%
Oldelamer 1	1,39	0,98	85%	-15%	3%	27%
Oldelamer 3	0,90	0,88	56%	-8%	1%	52%
Oldemarkt B	0,84	0,80	65%	29%	3%	4%
Oldemarkt C	0,68	0,80	65%	39%	-1%	-4%
Oldemarkt E	1,20	0,80	69%	18%	-4%	16%
Spannenburg B	1,80	1,03	64%	8%	14%	14%
Spannenburg D	1,26	1,08	21%	12%	29%	38%
Zegveld 13N	0,51	0,18	56%	18%	-3%	28%
Zegveld 16M	0,66	0,62	7%	46%	12%	36%
Zegveld 20O	0,53	0,40	25%	-20%	89%	6%
Zegveld 20W	0,64	0,39	37%	28%	-2%	36%
Zegveld 2N	0,40	0,56	23%	68%	-46%	55%
Zegveld 3M	1,16	0,57	42%	26%	6%	25%
Zegveld 8M	0,42	0,29	29%	75%	-38%	35%
Gemiddeld			39%	28%	6%	27%

De locatie Assendelft geeft tot 1997 een geleidelijke daling van de bodemlagen aan. Daarna wordt het slootpeil geleidelijk 40 cm verhoogd en zien we dat het maaiveld ca. 12 cm stijgt. Dit zou betekenen dat een deel van de bodemdaling die voor 1997 is ontstaan voor een deel toch reversibel blijkt te zijn en dat de resulterende stijging tientallen jaren door kan gaan. De metingen laten zien dit met name wordt veroorzaakt door de volumetoename in het deel van de bodem dat verzadigd is.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

De meetset van de 29 locaties geeft een uniek beeld van de maaiveldddaling in de veenweidegebieden in Nederland van de afgelopen vijftig jaar. Ten aanzien van het onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

Meetmethode is betrouwbaar over een langere periode

Het meten van het maaiveld met behulp van acht waterpassingen per locatie is een eenvoudige methode die weinig foutgevoelig is. De omrekening van waterpasgegevens naar NAP-hoogte vindt plaats met behulp van een vast punt. Het is echter gebleken dat deze vaste punten in een aantal gevallen niet stabiel zijn of dat ze na installatie niet meer zijn gemeten.

De zakplaatjes geven een betrouwbaar beeld van de bijdrage van de diverse bodemlagen aan de maaiveldddaling. Wel zijn er bij de metingen van de zakplaatjes meer onregelmatigheden te zien dan bij de waterpasmetingen en zijn ze op een aantal locaties vervangen.

Jaarlijkse maaiveldddalingssnelheden geven grote standaardafwijking en lage betrouwbaarheid

De meetset bestaat voor een belangrijk deel uit alleen een meting in het voorjaar. Mede omdat de vochtcondities in het voorjaar aanzienlijk kunnen verschillen, wordt er een grote standaardafwijking rond de jaarlijkse maaiveldddalingssnelheid gevonden. Ook kunnen we daardoor op de meeste locaties niet statistisch aantonen dat er sprake is van maaiveldddaling. Het lastige is dat de jaarlijkse permanente bodemdaling (7 mm/jaar) veelal een factor 10 kleiner is dan de bodemweging (reversibel) door het jaar heen. Dit pleit ervoor om bij toekomstige locaties meerdere meetmomenten in het voorjaar te gebruiken.

Dataverwerking consistent over lange periode

De metingen werden in het begin van de meetserie handmatig genoteerd en vastgelegd in documenten. Later werden deze overgezet in spreadsheets en daarna werden ze weer overgezet in spreadsheets met een ander format. Dit maakt het systeem kwetsbaar voor fouten. Het is op dit moment niet te achterhalen of er bij diverse overdrachten fouten zijn ontstaan, ook omdat een deel van de ruwe data in de huidige bestanden ontbreekt. Een visuele beoordeling en statistische vergelijking van de meetreeksen (Pearson-analyse) geven aan dat er geen vreemde sprongen in de meetreeksen zitten en dat de dataverwerking ondanks de zeer lange meetperiode betrouwbaar lijkt.

Omstandigheden wijzigen in vijftig jaar

Vijftig jaar is een zeer lange meetperiode. Dit is uniek en maakt het mogelijk langjarige trends te ontdekken. Aan de andere kant zijn lange meetperiodes ook lastig, omdat het vrijwel onmogelijk is de omstandigheden te fixeren. In die periode zijn de klimatologische omstandigheden gewijzigd, waardoor er hoge bodemtemperaturen zijn en er meer neerslag in herfst en winter is. Maar nog belangrijker is dat er op de diverse locaties ingrepen zijn gedaan. Dit kan zijn dat de ontwatering door drainage (intensievere drainage of infiltratiedrains) of door onderbemalingen is aangepast. Of doordat grondbewerking (ploegen, egaliseren) op de percelen heeft plaatsgevonden en doordat er intensiever is gemaaid en beweide. Al deze factoren kunnen invloed hebben op de maaiveldddalingssnelheid. Een deel van die factoren is zichtbaar in de metingen aan slootpeilen en grondwaterstanden, een deel is echter niet te achterhalen omdat ze niet of vrij summier zijn gedocumenteerd. Deze onzekerheid omtrent de omstandigheden en de invloed daarop op de maaiveldddaling betekent dat er enige mate van terughoudendheid moet zijn voor het trekken van conclusies over oorzaak en gevolg van de maaiveldddaling.

Positieve correlatie tussen de diverse meetreeksen

De diverse meetreeksen laten – met uitzondering van twee locaties op Zegveld – een duidelijke onderlinge positieve correlatie zijn. Die positieve relatie duidt erop dat de trend in maaiveldverandering op alle locatie

vergelijkbaar is. Dit kan doordat de maaiveldverandering door dezelfde factoren worden gestuurd (weersomstandigheden) en dat processen van maaiveldddaling, ondanks het verschil in bodemopbouw, sterke overeenkomsten vertonen.

Maaiveldddalingssnelheid over 1970-2020 gemiddeld 7 mm/jaar

De gemiddelde maaiveldddalingssnelheid van alle locaties over de periode 1970-2020 bedraagt 7 mm/jaar. Er is een grote spreiding rond dit gemiddelde: zo wordt in Hoenkoop slecht 2 mm/jaar gemeten en aan de andere kant in Spannenburg en Assendelft meer dan 17 mm/jaar. Historisch onderzoek geeft aan dat ook voordat de ontwatering in Nederland eind jaren zestig sterk werd verlaagd, er de afgelopen eeuwen al een permanente bodemdaling was tussen de 1,3 en 2,0 mm/jaar. Dit betekent dat oxidatie- en consolidatieprocessen in het veen altijd aanwezig zijn geweest ondanks de hoge grondwaterstanden de afgelopen eeuwen. Dit proces is vanaf de jaren zestig versterkt door de sterke ontwatering waardoor de maaiveldddaling drie keer zo hoog is geworden.

Maaiveldddalingssnelheden variëren sterk over de jaren

De maaiveldddalingssnelheden kunnen per jaar sterk verschillend, dit komt doordat de klimatologische omstandigheden in de winter/voorjaar sterk kunnen verschillen. Dus het veen zal op het moment van meten een sterk verschillende vernattingsgraad hebben met als gevolg een andere zwellingsgraad. Dit betekent dat de maaiveldddalingssnelheden niet over een specifiek jaar moeten worden bekeken, maar altijd over een periode van minimaal vijf jaar.

Maaiveldddaling Zegveld 1970-2020 vergelijkbaar met periode 1877-1965

Het gemiddelde van alle Zegveld-locaties voor de afgelopen vijftig jaar ligt op 5 mm/jaar. Opvallend is dat deze snelheid vrijwel vergelijkbaar is met de door Schothorst (1977) gerapporteerde snelheid (6 mm/jaar) in de periode 1877-1965 voor de polder Zegveld. De belangrijkste reden voor de sterke bodemdaling in die periode is de verlaging van het winterpeil.

Maaiveldddalingssnelheid vermindert de laatste twee decennia

De maaiveldddalingssnelheden zoals gemeten per decennium laten zien dat de daling afneemt van ca. 9 mm/jaar in de jaren zeventig naar ca. 5 mm/j in de periode 2010-2020. De afname wordt vaak gerelateerd aan een vermindering van de drooglegging. Deze blijkt echter voor de meeste locaties niet sterk veranderd. De afname in maaiveldddaling moet meer gezocht worden in de toename van de veraarding van het veen in de bovenste 50 cm zoals recente boringen laten zien. Wellicht speelt ook mee dat het veen in de winter meer wordt vernat doordat er in die periode meer neerslag valt dan in vergelijking met de jaren zeventig. Aan de andere kant zou de verhoging van de bodemtemperaturen juist voor een versnelling van het oxidatieproces moeten leiden.

Verskil in maaiveldddalingssnelheid sterk bepaald door grondwaterstand (slootpeil)

Er is een duidelijk relatie tussen het gemeten slootpeil en de maaiveldddalingssnelheid wanneer de diverse meetlocaties worden vergeleken. Opvallend is dat ook bij hoge slootpeilen (< 30 cm -mv) met name in Zegveld nog een aanzienlijke maaiveldddaling worden gemeten. Gemiddeld is de daling van het maaiveld 1,3% (standaardfout 0,2%) van het verschil tussen het slootpeil en het maaiveld. Een vergelijking tussen locaties met en zonder kleidek (< 40 cm) laat geen duidelijk verschil zien in relatie slootpeil-maaiveldddalingssnelheid. Dit in tegenstelling tot eerdere metingen en berekeningen van Van den Akker et al. (2007).

Maaiveldddalingssnelheid mogelijk ook beïnvloed door veentype

In het onderzoek zijn zowel eutrofe, mesotrofe als oligotrofe venen meegenomen. Het algemene beeld geeft aan dat bij toename van de trofiegraad ook de maaiveldddalingssnelheid toeneemt. Dit wordt deels onderschreven door recent onderzoek, waarin het belang van de botanische samenstelling van veengebieden bij het voorspellen van afbraak- en maaiveldddalingssnelheden wordt benadrukt.

Maaiveldddaling 2/3 door oxidatie en 1/3 compactie bepaald

Door een vergelijking te maken van de bijdrage van de diverse bodemlagen aan de maaiveldddaling wordt duidelijk dat ca. 2/3 van de daling plaatsvindt in de lagen waar zuurstof kan doordringen. In die lagen zijn oxidatie en gedeeltelijk krimp de belangrijkste processen. In de lagen die altijd verzadigd zijn, treedt nog

altijd 1/3 van de maaiveldddaling op. Deels veroorzaakt door consolidatie en deels door kruip. Mogelijk dat in het verzadigde deel ook nog anoxische veenafbraak plaatsvindt, maar dit is moeilijk aan te tonen zonder aanvullend lokaal bodemkundig onderzoek.

Maaiveldddaling is mogelijk deels reversibel

Een verhoging van de grondwaterstand kan de snelheid van maaiveldddaling afremmen. Voor de locatie Assendelft waar een dik kleipakket zit, blijkt dat een verhoging van de grondwaterstand zelfs tot een langjarige stijging van het maaiveld kan leiden. Metingen laten zien dat het met name de diepere lagen zijn die weer stijgen en geven daarmee aan dat het consolidatieproces gedeeltelijk reversibel is.

8.2 Aanbevelingen

In dit rapport zijn de meetdata met name gebruikt om een vergelijking te maken tussen de diverse locaties. Het zou interessant zijn om meer een detailanalyse te maken van de individuele locatie om een nog beter beeld te krijgen van de onderliggende processen (zie bv. Massop et al. (2024) voor twee locaties in Zegveld). Wel kennen de meetdata beperkingen, omdat niet altijd duidelijk is in hoeverre de omstandigheden (bodemkundig en hydrologisch) rond de locaties zijn gewijzigd. De volgende vervolgonderzoeken zijn aan te bevelen:

Nieuwe locaties met zakplaatjes

De meetmethode met waterpassing en zakplaatjes is zeer robuust. Het is een vrij lowtech meting zonder tussenkomst van dataloggers en dataverkeer. Nadeel is wel dat er steeds handmatig moet worden gemeten. Omdat we voor het bestuderen van de lange termijn maaiveldddaling met name geïnteresseerd zijn in de voorjaarsmeting, is de arbeidsinspanning beperkt. Echter de analyse uit deze studie toont aan dat, om de betrouwbaarheid van de meetset te verhogen, er wel op meerdere momenten in het voorjaar gemeten zou moeten worden. Uit de metingen met extensometers (Van Asselen et al., 2024c) volgt dat het maaiveld eind januari of begin februari op zijn hoogst is. In het vervolg moet dus ook eerder in het jaar worden gemeten.

Dit pleit ervoor om nieuwe sites in te richten, deels op bestaande locaties, deel op locaties met veentypes die nog weinig zijn onderzocht. Op enkele NOBV-sites zijn inmiddels nieuwe zakplaatjes geplaatst. Voor het bestuderen van de dynamiek van bodemdaling zijn extensometers meer geschikt (Van Asselen et al., 2024a; Bakema et al., 2022).

Invloed hoge winterpeilen op maaiveldddaling

Het huidige onderzoek naar beperken van maaiveldddaling wordt sterk gericht op het verhogen van de grondwaterstanden in de zomer. Dit omdat veenoxidatie in de zomer door de hoge temperaturen het sterkst is. Echter, op basis van eerder onderzoek van Schothorst (1977) zijn ook hoge winterpeilen erg belangrijk om het ingedroogde veen uit de zomer weer voldoende mogelijkheid te geven te vernatten in de winter. Dit effect is ook zichtbaar in de hier gepresenteerde voorjaarsmetingen waarbij er een duidelijk verschil is te zien in maaiveldhoogte tussen de opeenvolgende jaren, veroorzaakt door het verschil in vochtsituatie. Nader onderzoek naar de invloed van vernatting van veen in de winter op de permanente maaiveldddaling is wenselijk.

Invloed veentype en veendikte op maaiveldddaling

In dit onderzoek wordt een verband gezien tussen maaiveldddaling en veentype. Waarschijnlijk speelt de trofiegraad hier een rol in. Dit wordt deels bevestigd door recent wetenschappelijk onderzoek. Voor het inschatten/berekeningen van toekomstige bodemdaling is het belangrijk om dit verder uit te zoeken, omdat nu in bodemdalingsmodellen veelal één oxidatiesnelheid voor alle veentypes wordt gebruikt.

Herijking Van den Akker-relaties

De Van den Akker-relaties (2007), waarin relaties worden gelegd tussen grondwaterstanden/ slootpeilen en bodemdaling, worden veelvuldig gebruikt in de diverse modellen voor het berekenen van maaiveldddaling. In dit onderzoek is een breed pallet aan locaties onderzocht waarmee een relatie tussen slootpeil en maaiveldddaling wordt berekend die duidelijk anders is dan de Van den Akker-relaties uit 2007. Belangrijk verschil is o.a. dat de data in dit onderzoek geen duidelijk verschil vinden tussen locaties met en zonder

kleidek (< 40 cm). Mogelijk zijn de bovenste lagen de afgelopen decennia zodanig van structuur veranderd (o.a. veraarding) dat er nu andere relaties zijn tussen deklaag en bodemdaling. Meer onderzoek moet hier duidelijkheid in brengen.

Maaiveldaling bij hoge grondwaterstanden in de zomer

Op de locatie Zegveld is er een aantal locaties met een hoog slootpeil (< 30 cm). Ook bij deze slootpeilen treedt nog aanzienlijke maaiveldaling op. Mogelijk wordt dit veroorzaakt doordat grondwaterstanden in de zomer diep uitzakken. Er zijn echter ook locaties met infiltratiedrains waar dit gedeeltelijk optreedt. Dit geeft aan dat ook bij hoge grondwaterstanden het proces van bodemdaling nog steeds continueert en dat het volledig stoppen van het proces onmogelijk lijkt. Dit moet ook meegenomen worden in de overwegingen of het zinvol is om de grondwaterstanden extreem te verhogen (< 20 cm -mv), ook vanwege het sterk nadelige effect op de methaanemissie. Buzacott et al. (2024) meten een sterke toename van de methaanemissie bij grondwaterstanden hoger dan 15 cm -mv.

Herinrichting Zegveld

De metingen op de locatie Zegveld laten de afgelopen tien jaar een zeer fluctuerend beeld zien. Dit maakt de metingen onbetrouwbaar. Mogelijk wordt dit veroorzaakt doordat vaste punten verzakken (Massop et al., 2024). Een andere oorzaak kan gevonden zijn in de vele wijzigingen die op de locatie Zegveld hebben plaatsvonden met betrekking tot de hydrologische situatie en het maaiveld. Ook kan het zijn dat er in de periode van rond 2016-2019 fouten zijn gemaakt, omdat toen steeds andere personen de metingen hebben gedaan. Als de metingen in Zegveld worden gecontinueerd, is het belangrijk de condities te herijken en meer te standaardiseren.

Literatuur

- Aben, R.C.H, D. van de Craats, J. Boonman, S.H. Peeters, B. Vriend, C. C. F. Boonman, Y. van der Velde, G. Erkens, M. van den Berg. 2024. CO2 emissions of drained coastal peatlands in the Netherlands and potential emission reduction by water infiltration systems. *Biogeosciences*, 21, 4099–4118, 2024
<https://doi.org/10.5194/bg-21-4099-2024>
- Akker, J.J.H. van den, J. Beuving, R.F.A. Hendriks & R.J. Wolleswinkel, 2007. Artikel 5510: Maaiveld­daling, afbraak en CO2-emissie van Nederlandse veenweidegebieden. Leidraad Bodembescherming, afl. 83, Sdu, Den Haag, 32 p
- Akker, A. M van den. De bodemgesteldheid van het ruilverkavelingsgebied Oldelamer. No. 629. Stiboka, 1966.
- Asselen, van S., Erkens, G., Stouthamer, E., Woolderink, H. A. G., Geeraert, R. E. E., & Hefting, M. M. (2018). The relative contribution of peat compaction and oxidation to subsidence in built-up areas in the Rhine-Meuse delta, The Netherlands. *Science of the Total Environment*, 636, 177-191.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.141>
- Asselen, van S. (2024a). Deltafact: meetmethoden ondiepe bodemdaling. STOWA.
- Asselen, van S., H. Kooi, G. Erkens, G. Bakema, S. van Diepen, P. Conroy en R. Hanssen (2024b). Eerste resultaten van bodemdalingsmeetlocaties en een dynamisch maaiveldhoogtemodel (D-DEM) in het Groene Hart. Deelrapport van Regiodeal Bodemdaling Groene Hart project 44. Deltares.
- Asselen, van S., R Hessel, G Erkens en H van Essen (2024c). NOBV-jaarrapportage 2024, Integratierapport Bodemdaling. NOBV.
- Asselen van S., G. Erkens, C. Fritz, R. Hessel, J. J. H. van den Akker (2025). Effects of subsurface water infiltration systems on land movement dynamics in Dutch peat meadows (in press). *Hydrology and Earth System Sciences*.
- Bakema, G., Bloem, J., Heinen, M., Knotters, M., & van Rooijen, N. (2022). De invloed van klimaatverandering op de bodemtemperatuur: Inventarisatie van de ontwikkeling van de bodemtemperatuur en de invloed op de biotische en abiotische processen in natuurgebieden. (Rapport / Wageningen Environmental Research; No. 3154). Wageningen Environmental Research.
<https://doi.org/10.18174/566436>
- Bakema, G., Dik, P., & Kool, H. (2022). Maaiveld­dynamiek door krimp-zwel en elastische vervormingen, case Rouveen. Rapport / Wageningen Environmental Research; No. 3181. Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/567949>
- Berendsen, H.J.A., 2000. Landschap in delen. Overzicht van de geofactoren. Fysische geografie van Nederland, 2nd edition. Van Gorcum, Assen.
- Beuving, J., 1984. Vocht- en doorlatendheids­karakteristieken, dichtheid en samenstelling van bodemprofielen in zand-, zavel-, klei- en veengronden. Wageningen, ICW. Rapport 10.
- Beuving, J. en J.J.H. van den Akker, 1996. Maaiveld­daling van veengrasland bij twee slootpeilen in de polder Zegveld­derbroek. Wageningen, SC-DLO. Rapport 377.
- Bont, Chr. de, 1991. Het historisch-geografische gezicht van het Nedersticht. Wageningen, SC-DLO. Rapport 133.

Borger, G.J., 1977. De ontwatering van het veen: Een hoofdlijn in de historische nederzettingsgeografie van Nederland. *KNAG Geografisch Tijdschrift* 11 5, 377-387.

Buzacott, A. J. V., Kruijt, B., Bataille, L., van Giersbergen, Q., Heuts, T. S., Fritz, C., Nouta, R., Erkens, G., Boonman, J., van den Berg, M., van Huissteden, J., & van der Velde, Y. (2024). Drivers and Annual Totals of Methane Emissions From Dutch Peatlands. *Global Change Biology*, 30(12), Article e17590. <https://doi.org/10.1111/gcb.17590>

Campbell, D.I., G.L. Gover-Clark, J.P. Goodrich, P. Morcom, L.A. Schipper, A.M. Wall 2021. Large differences in CO₂ emissions from two dairy farms on drained peatland driven by contrasting respiration rates during seasonally dry conditions. *Science of the Total Environment* 760, 143410. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143410>

Chan, P. M., & van den Akker, J. (2022). Bodemdaling door veenoxidatie: Broeikasgasemissies in veenweidegebied, waar hebben we het over? *Bodem*, 32(4), 6-8. <https://edepot.wur.nl/651766>

Evans C.D., J.M. Williamson, F. Kacaribu, D. Irawan, Y. Suardiwerianto, M. Fikky Hidayat, A. Laurén, S.E. Page. 2019. Rates and spatial variability of peat subsidence in Acacia plantation and forest landscapes in Sumatra, Indonesia. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.12.028>

Evans, C.D., Peacock, M., Baird, A.J., Artz, R.R.E, Burden, A., Callaghan, N., Chapman, P.J., Cooper, H.M., Coyle, M., Craig, E., Cumming, A., Dixon, S., Gauci, V., Grayson, R.P., Helfter, C., Heppell, C.M., Holden, J., Jones, D.L., Kaduk, J., Levy, P., Matthews, R., McNamara, N.P., Misselbrook, T., Oakley, S., Page, S.E., Rayment, M., Ridley, L.M., Stanley, K.M., Williamson, J.L., Worrall, F., Morrison, R., 2021. Overriding water table control on managed peatland greenhouse gas emissions. *Nature* 593, 548–552, <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03523-1>

Doorn, C.J. van, 1940. Het oude Miland en zijn waterstaatkundige ontwikkeling. Utrecht, Proefschrift RU

Fockema Andreae, S.J., 1950. Het Nedersticht. Studiën over waterschapsgeschiedenis IV. Leiden.

Freeman, B.W.J., Evans, C.D., Musarika, S., Morrison, R., Newman, T.R., Page, S.E., Wiggs, G.F.S., Bell, N.G.A., Styles, D., Wen, Y., Chadwick, D.R., Jones, D.L., 2022. Responsible agriculture must adapt to the wetland character of mid-latitude peatlands. *Glob Chang Biol.* 28(12), 3795-3811. doi: 10.1111/gcb.16152.

Gottschalk, M.K.E., 1956. De ontginning der Stichtse venen oosten van de Vecht. In; *Tijdschrift Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap* LXXIII, pp. 207 - 223.

Grzywna, A. 2017. The degree of peatland subsidence resulting from drainage of land. *Environ Earth Sci* (2017) 76:559. DOI 10.1007/s12665-017-6869-1.

Heller S., B. Tiemeyer, W. Oehmke, P. Gatersleben, U. Dettmann 2025. Wetter, but not wet enough—Limited greenhouse gas mitigation effects of subsurface irrigation and blocked ditches in an intensively cultivated grassland on fen peat. *Agricultural and Forest Meteorology* 362 (2025) 110367. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2024.110367>

Hoving, I.E., Van Riel, J.W., Massop, H.T.L., Hendriks, R.F.A, Van den Akker, J.J.H, Van Houwelingen, K., 2021. Precisiewatermanagement met pompgestuurde onderwaterdrains op veenweidegrond. Rapportage onderzoeksperiode 2016-2020. Wageningen Livestock Research, Rapport 1293.

Hoving, I.E., J.W. van Riel, H.T.L. Massop, J.J.H. van den Akker en K. van Houwelingen, 2023. Statistische analyse veldexperimenten waterinfiltratiesystemen in het westelijke veenweidegebied van Nederland. Rapportage van veldonderzoeken die hebben plaatsgevonden in de periode 2004-2021. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1347.

-
- Ikkala, L., Ronkanen, A.-K., Utriainen, O., Klove, B., Marttila, H., 2021. Peatland subsidence enhances cultivated lowland flood risk. *Soil & Tillage Research* 212 (2021), 105078. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105078>.
- Janssen, F.B., 1986. Maaiveld dalingen in het Friese veenweidegebied. *Cultuurtechnisch Tijdschrift* jrg. 26, nr. 4 (dec 1986/jan 1987), p. 245-252.
- Linden, H. van der, 1981. Bijdrage tot de rechtsgeschiedenis van de openlegging der Hollands-Utrechtse laagvlakte. De Cope.
- Luten, W. Diepe grondbewerking op veengrasland met schalterlaag: verslag van een proefveld te Spannenburg van 1977 t/m 1980= Deep tillage on peat grassland with laminar flag: report of an experimental field at Spannenburg, 1977-1980. No. 95. Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, 1984.
- Massop H.T.L, R. Hessel, J.J.H van den Akker, S. van Asselen, G. Erkens, P.A. Gerritsen, F.H.G.A. Gerritsen. 2024. Monitoring long-term peat subsidence with subsidence platens in Zegveld, The Netherlands. *Geoderma* 450 (2024) 117039. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.117039>
- Rienks en Walther, 1953. Binnendijken en sliperdijken yn Fryslân. Bolswert.
- Rienks, W. A., & Gerritsen, A. L. (Eds.) (2005). *Veenweide 25x belicht: een bloemlezing van het onderzoek van Wageningen UR*. (Alterra Speciale Uitgaven; No. 2005/11). Alterra. <https://edepot.wur.nl/21196>
- Schothorst, C. J. (1966). *Klink van veengrond na diepere ontwatering*. (Verspreide overdrukken. Instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding; No. no. 38). <https://edepot.wur.nl/356790>
- Schothorst, C.J., 1967. Bepaling van de componenten van de zakking na grondwaterstands daling. *Landbouwk. Tijdschr.* 79,11.
- Schothorst, C. J. Verslag van het ontwaterings-proefobject in de Lopikerwaard over 1968. No. 503. ICW, 1969.
- Schothorst, C.J., 1977. Subsidence of low moor peat soils in the western Netherlands. *Geoderma* 17: p. 265-291.
- Schothorst, C. J., and D. Hettinga. Het effect van polderpeilverlaging in een proefobject in de Alblasserwaard. No. 697. ICW, 1972.
- Schothorst, C. J., and D. Hettinga. Verslag van het ontwateringsproefobject in polder Assendelft. No. 985. ICW, 1977.
- Schothorst, C. J., and D. Hettinga. Het effect van profielbewerking bij een droogtegevoelige veenweidegrond in Noordwest-Overijssel. No. 1225. ICW, 1980.
- Steur, G.G.L., 1978. De agrarische ontwikkeling van Hollands Midden. In: *Luchtatlas van Nederland*. Onder auspiciën van de Kon. Ned. Aardrijksk. Gen. Romen, Bussum, p. 101 – 103.
- Tanneberger F., L. Appulo, S. Ewert, S. Lakner, N. Ó Brolcháin, J. Peters, W. Wichtmann. 2020. The Power of Nature-Based Solutions: How Peatlands Can Help Us to Achieve Key EU Sustainability Objectives. *Adv. Sustainable Syst.* 2021, 5, 2000146. DOI: 10.1002/adsu.202000146
- Tolunay, D., Kowalchuk, G. A., Erkens, G., & Hefting, M. M. (2024). Aerobic and anaerobic decomposition rates in drained peatlands: Impact of botanical composition. *Science of the Total Environment*, 172639. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172639>

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3420
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3420
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
