

Verticale beweging van de veenbodern: meettechnieken en ervaringen te Zegveld

DION VAN DEIJL, SANNEKE VAN ASSELEN, BERNARD VOORTMAN, GILLES ERKENS EN GÉ VAN DEN EERTWEGH

Wij presenteren in dit artikel de eerste resultaten van de gemeten verticale bodembeweging van twee verschillende meetsystemen te Zegveld (Utrecht). De meetsystemen verschillen van elkaar door de posities, type ankers en sensoren die gebruikt worden om de bodembeweging te registreren. Het ene meetsysteem (extensometer) werkt met ankers op verschillende dieptes in de bodern en de ander (VSM-sensor) werkt met een rooster dat op het maaiveld ligt. Het grootste deel van de tijd lijken de meetresultaten bijzonder veel op elkaar. De bodern beweegt op en neer in de orde van centimeters. Het type anker en sensor lijken daarmee weinig verschil te maken. In combinatie met satellietdata kunnen beide meetsystemen een belangrijke rol spelen in de opgave van boderndaling in het veenweidegebied.

Artikel

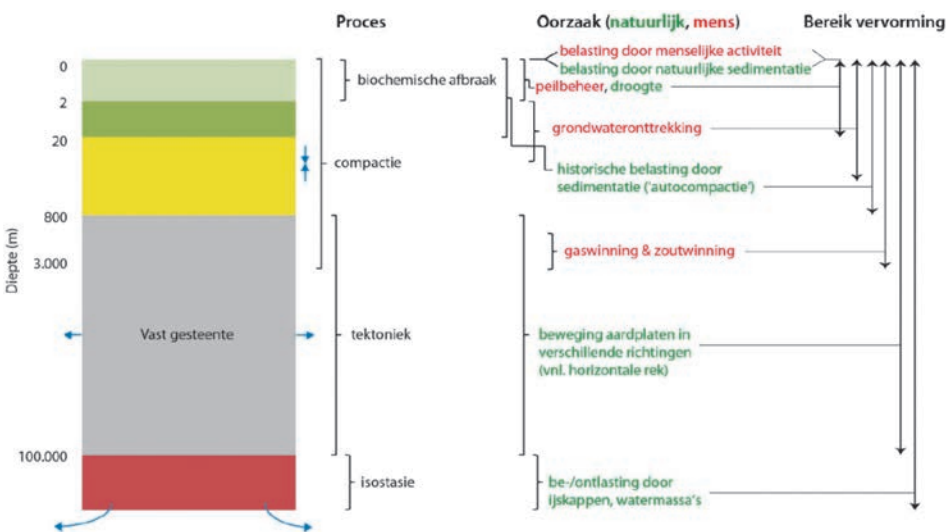
Inleiding

Veenboderns, die veelvuldig voorkomen in Nederland (geschat areaal 220.000 ha; van den Born et al., 2019), zijn doorgaans continu in beweging door geologische, grondmechanische en biogeochemische processen en het klimaat. In een natuurlijk systeem groeit veen als er dusdanig natte condities ontstaan waardoor plantenmateriaal niet, of slechts heel langzaam, wordt afgebroken, maar in plaats daarvan accumuleert in mogelijk meters dikke pakketten. Als de omgevingscondities veranderen, bijvoorbeeld doordat het klimaat droger en/of warmer wordt, er grote overstromingen plaatsvinden waarbij mineraal materiaal op het veen wordt afgezet, of er natuurlijke drainage ontstaat, kan de veengroei stoppen en afbraak van het veen door micro-organismen in de bodern optreden. Als het slappe veen wordt belast door minerale afzettingen na een overstroming vanuit een rivier of zee, wordt het makkelijk samengedrukt, waardoor het maaiveldniveau daalt en accommodatieruimte wordt gecreëerd (van Asselen e.a., 2009). In Nederland begon grootschalige veenvorming ongeveer 6.000 jaar geleden (Hijma en Cohen, 2011).

Sinds ongeveer 1.000 jaar ontginnen en ontwateren mensen in Nederland veengebieden (Erkens e.a., 2016). Daardoor daalde de veenbodern, een proces dat nog steeds in veel Nederlandse veenweidegebieden plaatsvindt. Dit heeft verschillende negatieve gevolgen zoals schade aan huizen en infrastructuur, vernatting van landbouwgrond, toenemende overstromingsrisico's, verzilting en uitstoot van broeikasgassen (o.a. CO₂, CH₄), die vrijkomen bij afbraak (oxidatie) van organisch materiaal. Waar voorheen de bodembeweging en boderndaling sec onder de aandacht stonden en tot peilaanpassingen leidden, is er in de loop

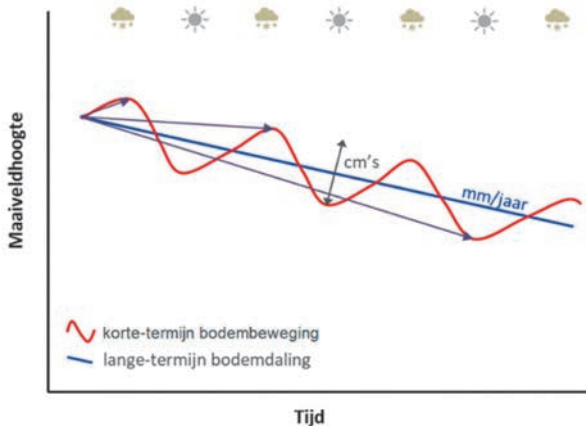
van de jaren steeds meer belangstelling gekomen voor de emissie van broeikasgassen uit de veenbodems en reductie daarvan. De belangstelling en doelstellingen ten aanzien van de reductie van broeikasgasemissie en bodemdaling, en de eerder genoemde relatie tussen bodemdaling door veenoxidatie en broeikasgasemissie, heeft geleid tot meer metingen en monitoring van de bodembeweging in veengebieden. In een advies van de Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur is de noodzaak omschreven tot het beperken van de bodemdaling met maatregelen (Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur, 2020). Zo zijn er maatregelen die ingrijpen in de waterhuishouding van een veenperceel en daarmee kunnen leiden tot verminderde bodembeweging en -daling.

Goede monitoring van bodemdaling is belangrijk om te bepalen waar bodemdaling optreedt en wat effecten zijn van maatregelen tegen bodemdaling. Dit geeft inzicht in waar en in welke mate bodemdaling optreedt en mogelijk in wat de belangrijkste oorzaak van bodemdaling is. Op basis hiervan kunnen vervolgens doelgerichte maatregelen worden genomen. In veenweidegebieden is het meten van bodemdaling een uitdaging. De grootste uitdaging zit in het betrouwbaar meten van de hoogteverandering op millimeterschaal en op dag- en weekbasis. Dit is een uitdaging omdat in een veenweideperceel de maaiveldhoogte op gedetailleerde schaal onregelmatig is, waar gedurende het jaar en het groeiseizoen ook nog de gewashoogte varieert. Daarbij speelt dat een bodem van een slappe ondergrond met de weersomstandigheden en drainagetoestand beweegt. Een veelal opgaande beweging vindt plaats op natte en koude momenten en een neergaande beweging onder droge en warme omstandigheden (Schothorst, 1977), terwijl tegelijkertijd effecten van onder andere de drainagetoestand van een perceel een rol spelen. Ook de opbouw van de ondergrond, diepe geologische processen, en menselijke invloeden beïnvloeden bodembeweging (Afbeelding 1). In de bovenste meters van de bodem domineren de bodemdalingsprocessen krimp-zwel, compactie en biogeochemische afbraak (o.a. Hendriks, 1991; STOWA, 2020).



Afbeelding 1: Bodemdaling, processen en oorzaken – schematisch overzicht (STOWA, 2020).

Deze ondiepe bodembeweging van een slappe ondergrond is daarmee sterk afhankelijk van meteorologische en hydrologische omstandigheden. Deze beweging kan daarbij in de verticaal gemakkelijk een orde van grootte groter zijn (centimeterschaal) dan de lange-termijn bodemdaling die optreedt in veel Nederlandse veenweidegebieden (millimeterschaal op jaarbasis). Het is daarom belangrijk om onder verschillende meteo-hydrologische omstandigheden de bodembeweging te meten en onderliggende processen te kennen voor het betrouwbaar bepalen van de bodemdaling op lange-termijn (Afbeelding 2).



Afbeelding 2: Bodembeweging en bodemdaling aan maaiveld – schematische voorbeeldweergave van waarnemingen in de tijd (van Asselen e.a., 2022).

Van oudsher vinden metingen van de hoogte van het maaiveld en van de bodembeweging handmatig plaats met instrumenten en opstellingen aan maaiveld en in de bodemkolom. Metingen aan bijvoorbeeld zakbakens in de bodem werden meerdere malen per jaar en jaarlijks gedaan om de verticale positie van de plaatjes te bepalen (o.a. Schothorst en Hetinga, 1972; Beuving en van den Akker, 1996). Op basis van langjarige metingen van de bodembeweging is op bepaalde meetlocaties de eventuele bodemdaling vastgesteld, veelal uitgedrukt in een gemiddelde maaiveldddaling [mm/jaar]. De metingen die hieraan ten grondslag liggen hebben een lage tijdsresolutie van ongeveer een jaar.

Op soortgelijke wijze zijn waterpasmetingen op maaiveldniveau gebruikt voor het bepalen van maaiveldhoogteverandering (bijvoorbeeld Pleijter en van den Akker, 2007; Hoekstra en van Schie, 2022; de Jong en van Schie, 2022). Hierbij wordt met waterpastoestel en baak volgens een vastgesteld patroon en frequentie de maaiveldhoogte ingemeten met mm-schaal precisie. Op basis van de puntmetingen kan, afhankelijk van de punt dichtheid, een min of meer vlakdekkend beeld van de maaiveldhoogte(verandering) van een perceel worden afgeleid. Een nadeel van landmeten is dat het zeer arbeidsintensief is, zeker als een vlakdekkend beeld moet worden geschetst, en dat het momentopnames zijn waarbij niet precies bekend is waar in de dynamiecurve wordt gemeten (rode lijn in Figuur 1), terwijl dit *zeer bepalend* is voor het bepalen van de lange-termijn bodemdaling op basis van laag-frequente maaiveldhoogtemetingen in de ruimte, zoals hierboven al is toegelicht.

Gezien de ruimtelijke en temporele variatie van de bodemhoogte in veenweidegebied, en de afhankelijkheid hiervan van meteorologische en hydrologische condities, zouden discrete laag-frequente bodemhoogtemetingen mogelijk beter uitgevoerd worden bij een bepaalde hydrologische toestand van het gehele (klei-op-)veenbodemsysteem ter plekke. De bodembewegingsdynamiek zal veel beter kunnen worden bepaald met hoogfrequente of continue metingen.

Een vlakdekkend beeld van maaiveldhoogte(verandering) kan worden verkregen met metingen vanuit de lucht, op basis van lasertechnieken (LiDAR) of radarsatellietbeelden (InSAR). Toepassing van deze technieken op het immer bewegende veenweidegebied, waarbij het liefst op millimeterschaal bewegingen worden gedetecteerd, is echter een uitdaging. Lasergolven ondervinden veel invloed van de hoogte van het gewas, waardoor beweging van het maaiveld zelf op millimeterschaal vaak niet betrouwbaar bepaald kan worden. Daarbij is het net als een waterpassing een laagfrequente meting. Het gebruik van radarsatellietbeelden voor het nauwkeurig en vlakdekkend schatten van bodembewegingen in veenweidegebied is veelbelovend, met een redelijke frequentie aangezien er elke paar dagen een nieuw radarsatellietbeeld beschikbaar is, maar nog in ontwikkeling.

In dit artikel presenteren wij een alternatieve methode om verticale bodemhoogte op één locatie continu elk uur te monitoren, in millimeters nauwkeurig met een extensometer en bodembewegingssensor (VSM-sensor). Het continue monitoren van één of meerdere niveaus in de bodem geeft inzicht in de mate van bodembeweging en in sturende processen. Er kunnen daarbij relaties worden bekeken met bijvoorbeeld weersomstandigheden en grondwaterstandsfluctuaties. Dergelijke nauwkeurige metingen kunnen ook goed worden gebruikt voor validatie van bijvoorbeeld bodembewegingsschatting op basis van radarsatellietbeelden.

Twee typen sensoren zijn vlak naast elkaar getest in een veenweideperceel op proefboerderij KTC Zegveld. Er is gemeten vanaf februari 2020 en de metingen gaan nog steeds door (stand juni 2022). In dit artikel worden de twee meetopstellingen en de tussentijdse bevindingen beschreven.

Nieuwe methodes en meettechnieken kunnen een basis bieden om vanuit gemeten maaiveldhoogten in de tijd een daling of stijging van het maaiveld nauwkeurig te bepalen, op verschillende tijdschalen. Vanuit de geodesie wordt er hier een geruime tijd wetenschappelijk onderzoek aan verricht, onder andere door de TU Delft (bijvoorbeeld door Hansen e.a., 2001). Meer recent worden diverse meettechnieken toegepast in het kader van het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweide (NOBV) en de Hoogwaterboerderij Zegveld. Eén daarvan is op basis van radar interferometrie (InSAR; bijvoorbeeld NOBV, 2021), waarmee de beweging van het maaiveld continu gevolgd en bepaald kan worden vanuit de ruimte. Omdat deze methode validatie met metingen aan de grond behoeft, heeft KnowH2O samen met Moisture Matters in 2019 een sensor en meetopstelling gemaakt, om hoog-frequent (elk kwartier) de hoogte van het maaiveld te meten. Deze 'Vertical Soil Movement' (VSM) sensor meetopstelling

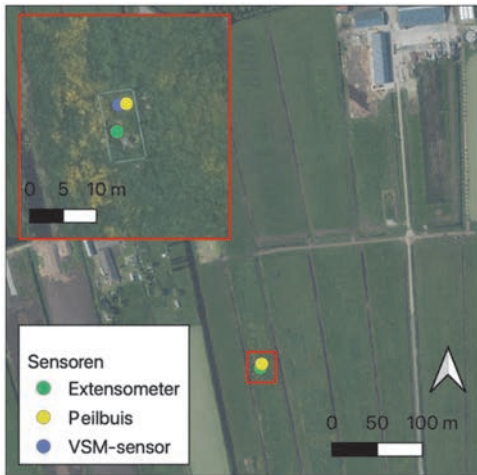
is geplaatst te Zegveld op 3 en 4 februari 2020 op perceel 11 van de proefboerderij, met medewerking van Avallo Advies. De meetopstelling is verankerd in het zandpakket onder de veenbodem en de opstelling is voorzien van een peilbuis met een sensor om de grondwaterstand continu te meten. In het kader van het NOBV is in de loop van april van dat jaar op hetzelfde perceel een extensometer door Deltares geplaatst. Deze meter heeft verschillende meetdieptes. Sindsdien werken KnowH2O en Deltares samen op het vlak van het meten van de bodembeweging te Zegveld en hebben we de meettechniek en de gemeten bewegingen vergeleken.

Meetlocatie, materialen, en methoden

De twee meetopstellingen zijn geplaatst op perceel 11 van proefboerderij KTC Zegveld (Afbeelding 3). Dit perceel maakte voorheen deel uit van de percelen met 'hoog peil' (Beuving en van den Akker, 1996). De berekende maaiveldafval in de periode 1966-2003 varieert van minder dan 0,1 m tot 0,3 m (o.a. van den Akker et al., 2018). De ondergrond in dit gebied bestaat over het algemeen uit ruim 6 m veen op een Pleistocene zandondergrond. De bovenste decimeters bestaan vaak uit kleiig, veraard veen. Daaronder bevindt zich een dik pakket mineraalarm bos- en zeggeveen. Op een diepte van 4 à 5 m komt vaak nog een kleiig interval voor. Op de locatie van de proefopstelling begint de (Pleistocene) zandondergrond op ongeveer 6,5 m diepte.

De twee meetopstellingen staan ongeveer 5 meter van elkaar vandaan. Direct naast de VSM-sensor aan de oostzijde is een freatische peilbuis geplaatst in de veenbodem met een filter van 1 m lengte op een diepte van 1-2 m-m.v. Een drukopnemer op telemetrie is in de peilbuis geplaatst, met een meetresolutie van 0,5 cm. De freatische grondwaterstand wordt continu gemeten en elke 15 minuten opgeslagen. Om de data van de maaiveldhoogte te interpreteren kijken we onder andere naar neerslag en referentiegewas-verdamping gegevens. Neerslag wordt op locatie dagelijks handmatig gemeten (dagsom neerslag, KNMI station 470). De referentiegewasverdamping volgens Makkink wordt bepaald te Schiphol (dagsom ETref MAK, KNMI station 240).

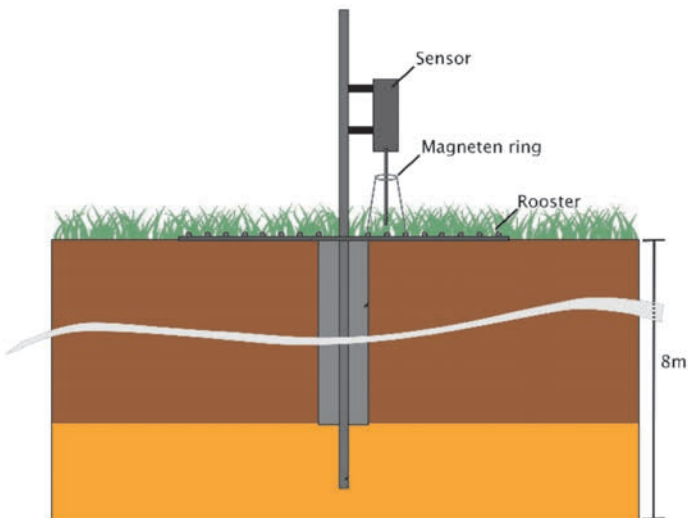
Ten tijde van de installatie vond lokale ont- en afwatering plaats door twee evenwijdige sloten ten oosten en westen van perceel 11 (1,16 ha). Het perceel is ongeveer 30 m breed. De kavelsloten aan weerszijden worden beheerd door KTC Zegveld. Op 9 juni 2020 is op perceel 11 als onderdeel van de 'Hoogwaterboerderij' (www.hoogwaterboerderij.nl) een systeem met drainagebuizen aangelegd op een afstand van 6 m en op 0,8 m diepte, als waterinfiltratiesysteem. De bediening was in 2020 en 2021 handmatig, door de in-/uitstroomopening van het systeem aan te sluiten op de kavelsloot. Daardoor is het gehanteerde slootpeil ook het waterpeil in de aanvoerleiding naar de drainagebuizen. In 2022 is een pompsysteem geïnstalleerd (mondelinge mededeling Van Houwelingen, 2022).



Afbeelding 3: Kaart met rechtsboven in het erf van boerderij Zegveld en op perceel 11 de meetopstellingen.

VSM-sensor KnowH2O en Moisture Matters

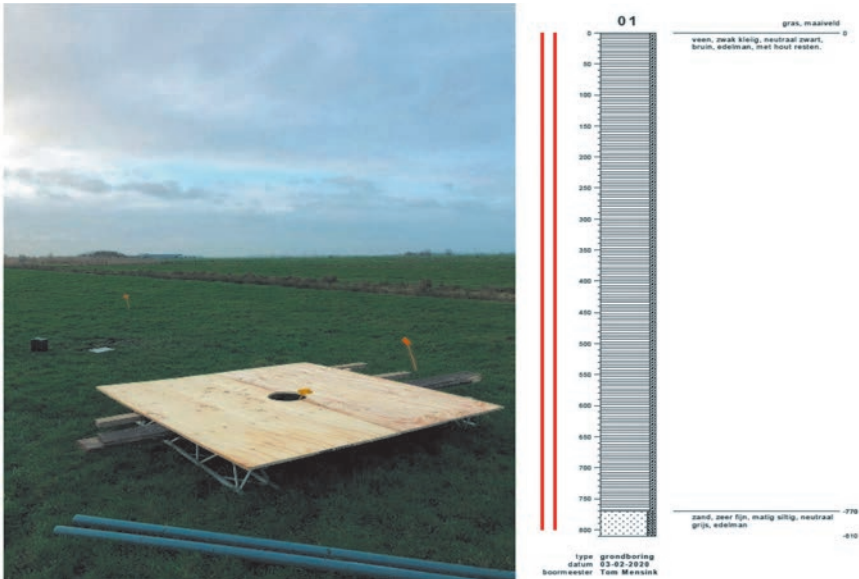
De VSM-sensor meet de verticale positie van het maaiveld ten opzichte van de zandlaag onder het veenprofiel (Afbeelding 4). De sensor is geplaatst op 3 en 4 februari 2020. In die zandlaag is een stalen pin verankerd die de referentie vormt voor een stalen rooster van 1 m² dat aan maaiveld op de veenbodem ligt. Rond om de stalen pin zit een mantelbuis tot op de zandlaag om mogelijke kleeeffecten te voorkomen. De positie van het rooster ten opzichte van de stalen pin wordt gemeten met een magnetische lineaire positiesensor (Afbeelding 6), vergelijkbaar met de sensor die Nijp et al. (2019) gebruikten. De meetnauwkeurigheid bedraagt maximaal 0,2 mm. Meetgegevens worden elke 15 minuten opgeslagen met een datalogger, die via telemetrie ontsloten is.



Afbeelding 4: Schematische tekening meetopstelling VSM-sensor (KnowH2O en Moisture Matters).

De stroomvoorziening van het geheel wordt verzorgd door een PV-installatie met zonnepanelen en een accu. Het geheel is ingemeten op NAP via een door-gaande waterpassing (datum 4-2-2020).

Tijdens de installatie is voorzichtigheid in acht genomen ten aanzien van de betreding en eventuele verdichting van het maaiveld, door te werken vanaf een houten vlonder (Afbeelding 5).



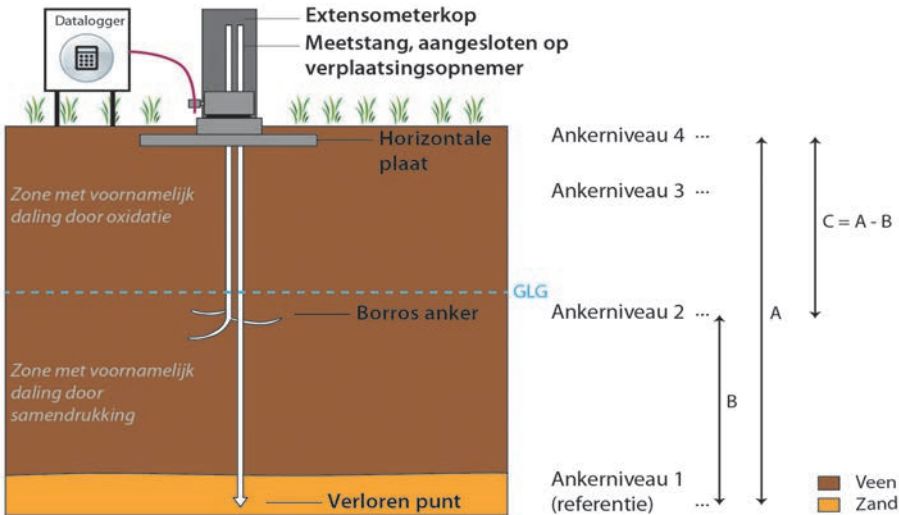
Afbeelding 5: Links: houten vlonder voor de aanleg van de VSM-sensor. Rechts: boorbeschrijving schaal 1:50 gemaakt tijdens de aanleg (Avallo Advies, 2020).



Afbeelding 6: Foto's van veldopstelling van VSM-sensor te Zegveld.

Extensometer (Deltares)

De Deltares extensometer staat ongeveer 5 meter van de VSM-sensor vandaan op dezelfde lijn in het perceel (afstand tot de kavelsloot is identiek). Verticale beweging wordt op deze locatie gemeten op 5 diepten (Tabel 1 en Afbeelding 7), ten opzichte van een (zesde) referentieanker in de stabiele zandondergrond. Tabel 1 geeft tevens aan waarom voor een bepaalde ankerdiepte is gekozen. Deze extensometer is speciaal ontwikkeld voor het continu meten van verticale beweging in zeer slappe (veen- en klei)grond en meet sinds 16 april 2020. Door op verschillende (anker)niveaus te meten kan de bijdrage aan de totale deformatie in de tijd per bodemlaag worden afgeleid.



Afbeelding 7: Schematische weergave van een Deltares extensometer-opstelling met vier ankerniveaus. De extensometer in perceel 11 heeft in totaal zes ankerniveaus (inclusief het referentieniveau).

Tabel 1: Zes ankerniveaus (inclusief het referentieniveau) van extensometer Deltares te Zegveld

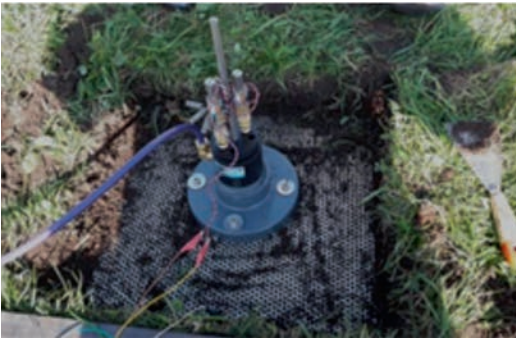
| Anker | Hoogte t.o.v. maaiveld (m) | Hoogte t.o.v. NAP (m) | Onderbouwing ankerdiepte |
|-------|----------------------------|-----------------------|---|
| 1 | -9,98 | -12,24 | Referentieanker; beweging van andere ankers wordt gemeten ten opzichte van dit stabiele niveau |
| 2 | -6,48 | -8,74 | Beweging meten op de grens van het veen- en zandpakket; mogelijk vindt er nog beweging plaats in de bovenste 3,5 meters van het zandpakket. |
| 3 | -5,05 | -7,31 | Beweging meten in het veenpakket, net boven de kleilaag; verschil in deformatie van het veenpakket boven en onder de kleilaag bepalen |
| 4 | -0,82 | -3,08 | Beweging meten in de zone met fluctuerende grondwaterstand; meestal zal de grondwaterstand boven dit niveau blijven |
| 5 | -0,38 | -2,64 | Beweging meten van de onverzadigde toplaag |
| 6 | -0,05 | -2,31 | Beweging meten van het maaiveldniveau |

Er wordt gebruik gemaakt van verschillende typen ankers

- Ankerniveau 1 is een massieve punt met gekoppelde stangen tot aan maaiveld. Het anker staat in de zandondergrond en dient als referentie voor de metingen. De beweging van dit anker is daarom op 0 gesteld en de overige metingen worden ten opzichte van dit anker gepresenteerd. Voor het plaatsen van dit anker is eerst een sondering gezet. Op basis van de sondeergegevens kan goed bepaald worden op welke diepte de stabiele (Pleistocene) zandlaag begint (dit geeft een hoge weerstand). Het anker is vervolgens met het sondeervoertuig in de stabiele zandlaag weggedrukt.
- Ankerniveau 2-3-4 is een Borros-anker. Voor het plaatsen van het Borros-anker is voorgeboord met een guts. Nadat het anker op diepte is gebracht zijn de ankerhaken aan de onderkant van de staaf hydraulisch in de naastgelegen slappe bodemlaag gedrukt. Voor één extensometer kunnen er op meerdere niveaus Borros-ankers worden geplaatst, afhankelijk van de dikte van het Holocene pakket.
- Ankerniveau 5 is met een installatiediepte van 0,4 m onder maaiveld te ondiep voor een Borros-anker. Daarom is hiervoor een ander type anker gebruikt. Het bestaat uit een verticaal staafje met onderaan een horizontale staalstrip. De strip wordt vanuit een smalle gegraven sleuf horizontaal de ongeroerde grond in gedraaid. De sleuf wordt aangevuld met uitgekomen grond.
- Ankerniveau 6 bestaat uit een vierkante geperforeerde RVS-plaat van 0,5 x 0,5 m² die is ingegraven op ongeveer 0,05 m onder maaiveld. De plaat zorgt ervoor dat dit meetniveau met de grond meebeweegt. Het is niet mogelijk om de horizontale plaat precies op maaiveld te plaatsen omdat dat te verstoringgevoelig is door bijvoorbeeld grasgroei. De extensometerkop is op deze plaat bevestigd.

Rondom de ankerstaven is een pvc-ribbelslang aangebracht om kleeft en krachten door de bewegende grondlagen op de meetstaven te voorkomen. De ankerstaven komen uit in de extensometerkop, die is bevestigd op de RVS-plaat en zo anker 6 vormt (Afbeelding 8). In de extensometerkop worden met verplaatsingsopnemers de hoogteveranderingen van alle ankers ten opzichte van het referentieanker gemeten. Er wordt gebruik gemaakt van lineaire potentio-meters. Het meetpunt wordt afgeschermd met een beschermkap die 0,3 à 0,35 m boven maaiveld uitsteekt.

De verplaatsingsopnemers van de verschillende ankerniveaus van de extensometers zijn verbonden met een datalogger in een kast naast het meetpunt (Afbeelding 8). Er wordt automatisch en continu elk uur een meting gedaan.



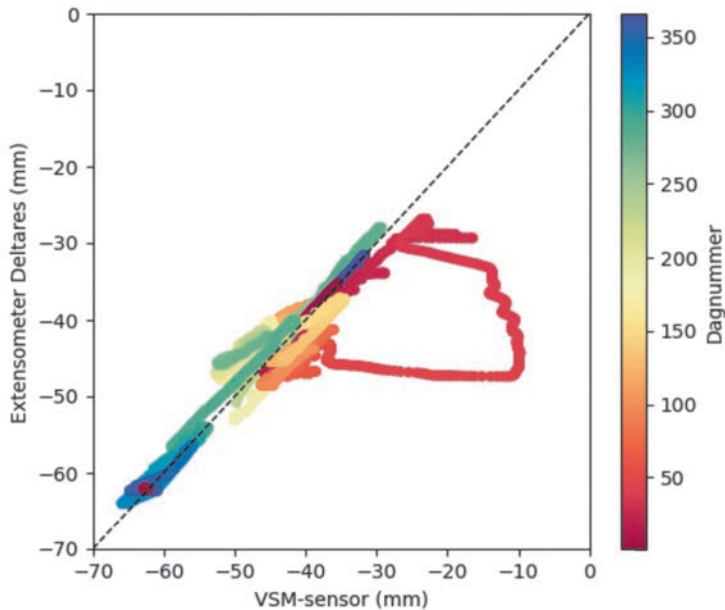
Afbeelding 8 Links: de bovenkant van een extensometer met een RVS plaat en de extensometerkop. Rechts: De meetsensoren van de extensometer, afgedekt met een kap, zijn met kabels bevestigd aan een datalogger met zonnepaneel.

Meetgegevens

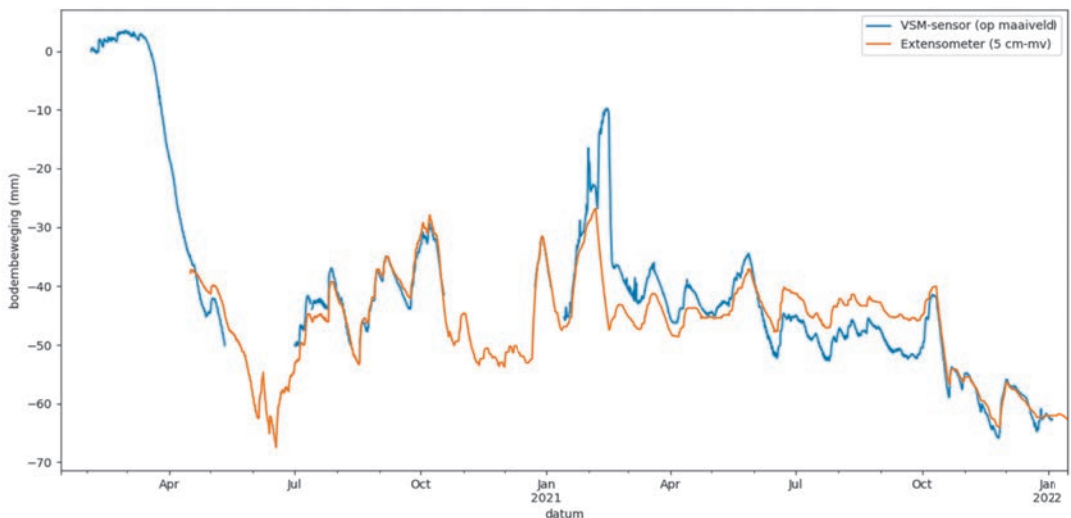
Afbeelding 9 en 10 geven een scatterplot en een tijdreeksgrafiek van de verticale beweging van het maaiveld, gemeten met de VSM-sensor (KnowH2O), en de metingen van de extensometer (Deltares), met een anker op een diepte van 0,05 m. De metingen startten begin februari 2020 onder zeer natte condities (grondwaterspiegel aan maaiveld). De VSM-sensordata laten vanaf maart 2020 een sterke daling zien. Ook de Deltares extensometerdata laten vanaf half april tot half juni 2020 een vergelijkbare daling zien. Daarna fluctueren de data enkele centimeters van de twee sensoren nagenoeg gelijk in de tijd.

Door de bodemdaling in het voorjaar van 2020 is het rooster van de VSM-sensor op de mantelbuis gaan liggen. Hierdoor kon de VSM-sensor niet verder dalen in het jaar 2020. Er ontstonden onbetrouwbare hoogtemetingen in de meetreeks voor hoogtes onder de mantelbuis, tot dit begin 2021 werd verholpen.

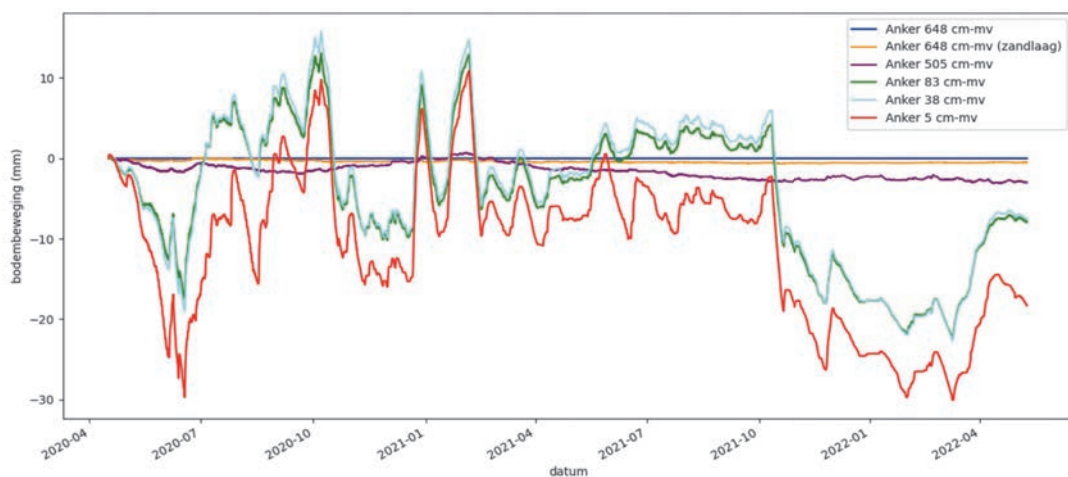
Begin februari 2021 laten beide sensoren een piek zien in de hoogtemetingen, die samenvalt met een vorstperiode met neerslag. De veenbodem vriest op van maaiveld naar beneden en de bodemhoogte neemt toe. De amplitude van de VSM-sensor is groter dan die van de Deltares extensometer. Dit verschil kan worden verklaard door variatie in bodembeweging binnen het perceel en/of door deformatie door vorstwerking van de bovenste 0,05 m van de bodem. De VSM-sensor meet de beweging van het maaiveldniveau en het bovenste anker van de Deltares extensometer meet de beweging op 0,05 m diepte. Na de vorstperiode in februari 2021 zien we dat tot oktober 2021 de twee sensoren eenzelfde dynamiek laten zien, maar de meetlijnen kruisen elkaar in juni 2021. Vanaf oktober 2021 lopen deze weer gelijk. We zijn met analyses bezig om deze waarnemingen te verklaren (in prep.).



Afbeelding 9: Scatterplot van de metingen met de twee meetopstellingen. X- en Y-as in [mm]. NB: de afwijkende data (in de vorm van een soort 'rechthoek' rechts) zijn veroorzaakt tijdens een vorstperiode, waarbij het maaiveld omhoog kwam, maar de sensor op 5 cm-maaiveld geen opwaartse beweging heeft gemeten. Zie Afbeelding 10, februari 2021.



Afbeelding 10 Bodembeweging: meetgegevens van de VSM-sensor (maaiveld) in blauw en extensometer van Deltares (0,05 m-maaiveld) in oranje op perceel 11 te Zegveld. Weergegeven meetperiode: 4-2-2020 t/m 16-1-2022. Y-as in [mm].



Afbeelding 11 Bodembeweging: metingen van vijf ankers van de Deltares extensometer op perceel 11 te Zegveld. Weergegeven meetperiode: 15-4-2020 t/m 15-5-2022. Y-as in [mm]. De rode lijn is het niveau van 5 cm-maaiveld. De blauwe en groene lijnen geven respectievelijk de beweging van de niveaus 38 cm-maaiveld en 82 cm-maaiveld weer. De paarse lijn geeft de beweging van het niveau net boven de kleilaag weer, op 505 cm-maaiveld. De oranje lijn geeft de beweging van de top van de zandondergrond weer.

Afbeelding 11 toont de beweging van de verschillende ankerniveaus vanaf april 2020. In het begin van de meetreeks zien we daling van alle niveaus, hetgeen goed te verklaren is met dalende grondwaterstanden en drogere omstandigheden in het voorjaar. Vanaf 9 juni 2020 zijn de drainagebuizen op perceel 11 aangelegd. Vanaf dat moment zien we een dynamisch systeem met (soms plotselinge) pieken en dalen die niet zozeer samenhangen met seizoensinvloeden, maar meer met veranderingen in de grondwaterstand als gevolg van het al dan niet aansluiten van de drains op de kavelsloot. Ten opzichte van het begin van de metingen is het maaiveldniveau maximaal circa 30 mm uitgezakt en tot ongeveer 10 mm omhooggekomen (rode lijn); een totale beweging van 40 mm in de meetperiode. Opvallend is dat de twee meetniveaus onder het maaiveldniveau ook een behoorlijke dynamiek laten zien: een daling van circa 20 mm en een stijging van circa 15 mm (blauwe en groene lijnen). Dit geeft aan dat op de meetlocatie een belangrijk deel van de maaivelddynamiek wordt veroorzaakt door processen in de (doorgaans) verzadigde veenlaag dieper dan 0,82 m-maaiveld. Het zal hierbij vooral gaan om veranderingen in hydrostatische druk door aan- en afvoer van grondwater, waardoor de verzadigde veenondergrond vervormt. Het onderste deel van de veenlaag, onder het ingesloten kleilaagje, vertoont weinig deformatie, maar toch is hier wel een lichte seizoensgebonden trend te zien met een lichte daling in lente en zomer, en een lichte stijging in herfst en winter (paarse lijn). De top van de zandondergrond vertoont nauwelijks verticale beweging (oranje lijn).

Eerste bevindingen en conclusies

De meetapparatuur in het veld werkt meestal goed en is na een paar aanpassingen aan de VSM-sensor goed opgesteld. De betrouwbaarheid van de afzonderlijke metingen is goed. Inhoudelijk zijn de continue metingen van de hoogte

van het maaiveld en de bodemhoogte op 5 cm diepte vergelijkbaar, waarbij verschillen veelal verklaarbaar zijn door de positie van de ankers aan maaiveld of net daaronder. Lopende analyses moeten uitsluitsel geven over verschillen die nog niet geduid zijn.

Om de gemeten hoogten naar daling of stijging in de tijd om te rekenen meten we nog een tijdlang door. Zo krijgen we én betere apparatuur in betere opstellingen én betere metingen, die een kwantitatief antwoord geven op vragen inzake bodemdaling en maatregelen die gericht zijn op realisatie van reductie hiervan. De continue bodemhoogte-metingen in o.a. het kader van het NOBV en in het kader van het project 'Drukdrainage in de Alblasserwaard – Vijfheerenlanden gaan door in 2022 en de jaren erna. In een volgend artikel gaan we nader in op de resultaten hiervan.

Hoe verder?

We blijven nog een tijd doormeten op perceel 11 van KTC Zegveld met beide opstellingen dicht bij elkaar, om de metingen in de loop van 2023 weer met elkaar te vergelijken. We passen de apparatuur aan, indien nodig. We zijn sinds maart 2021 met twee VSM-sensoren aan het meten te Molenaarsgraaf. We meten daar de bodembeweging quasi-continu op een proefperceel met regelbare drainage met subirrigatie (AWIS) en op een referentieperceel (<https://www.blauwzaam.nl/projecten/blauwgroen/pilot-drukdrainage/>). In het kader van het NOBV zijn meerdere extensometers van Deltares ingezet op diverse plekken. De metingen van deze sensoren worden ook met andere meettechnieken vergeleken. We zien effectieve toepassingen voor ons in grootschalige (A)WIS-projecten van bodembeweging sensoren die quasi-continu meten op meetpunten in combinatie met vlakdekkende metingen op bepaalde tijdstippen gedurende bepaalde meteo-hydrologische omstandigheden.

Dankwoord

We danken Karel van Houwelingen/KTC Zegveld voor het beschikbaar stellen van de meetlocatie op perceel 11, Floris Heuff/RWS voor het meedenken tijdens de opstartfase, Jon en Tom Mensink/Avallo Advies voor het meedenken over de fundering en samenwerking bij plaatsing van de opstelling van de VSM-sensor, de peilbuis en de drukopnemer, Jelmer Nijp voor het delen van zijn ervaringen met de magneet verplaatsingssensor, Enno van Waardenberg en Dennis Peters, beide werkzaam bij Deltares, voor het ontwikkelen en installeren van de Deltares extensometer.

Referenties

- Avallo Advies** (2020). Boorprofielen Zegveld – perceel 11.
- Asselen, S. van, Erkens, G, Zandbergen, S. en de Graaf, F.** (2022) Bodemdaling meten met LiDAR, Land+Water nr 7/8, 32-33, juli 2022.
- Asselen, S. van, E. Stouthamer en Th.W.J. van Asch** (2009) Effects of peat compaction on delta evolution: a review on processes, responses, measures, and modelling; in: *Earth Science Reviews*, vol 92(1), pag 35-51.
- Born, G.J. van den, A. van Hinsberg en F. van Dam** (2019) Veenweidegebieden in transitie; in: *Landschap*, vol 4, pag 223-227.

Beuving, J. J., en J.J.H. van den Akker (1996) Maaiveldsdaling van veen-grasland bij twee slootpeilen in de polder Zegvelderbreek - vijftienvintig jaar zakkingsmetingen op het ROC Zegveld; Rapport. D.L.O. - Staring Centrum, Wageningen, DLO-SC. 377: 158.

Jong, H. de, en A. van Schie (2022) Toekomstbestendige Polder Lange Weide. Samenvatting bevindingen en inzichten 2020-2021; HDSR, Houten, 2022.

Erkens, G., M. van der Meulen, and H. Middelkoop (2016) Double trouble: subsidence and CO2 respiration due to 1,000 years of Dutch coastal peatlands cultivation; in: *Hydrogeology Journal*, vol 24, pag 551-568.

Hendriks, R.F.A. (1991) Afbraak en mineralisatie van veen - literatuuronderzoek. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 199.

Hijma, M.P., en K.M. Cohen (2011) Holocene transgression of the Rhine river mouth area, The Netherlands/Southern North Sea: palaeogeography and sequence stratigraphy; in: *Sedimentology*, vol 58(6), pag 1453-1485.

Hoekstra, J., en A. van Schie, 2022. Sturen met Grondwater. Bedrijvenproef Spengen 2017-2021; Eindrapportage (mei 2022), HDSR, Houten, 2022.

Nijp, J.J., K. Metselaar, J. Limpens, H.M. Bartholomeus, M.B. Nilsson, F. Berendse en S.E.A.T.M. van der Zee (2019) High-resolution peat volume change in a northern peatland: spatial variability, main drivers, and impact on ecology; in: *Ecohydrology*, vol 12, pag 1-17.

NOBV (2021) Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV) -Data-analyse 2020-2021. URL: <https://www.nobveenweiden.nl/wp-content/uploads/2021/11/NOBV-Data-analyse-2020-2021.pdf>.

Pleijter, M., en J.J.H. van den Akker (2007) Onderwaterdrains in het veenweidegebied: toelichting op de methode en inrichting; Wageningen, Alterra, rapport 1586.

Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur (2020) Stop bodemdaling in veenweidegebieden: het Groene Hart als voorbeeld; https://www.rli.nl/sites/default/files/advies_stop_bodemdaling_in_veenweidegebieden_-_def.pdf, Digitale uitgave - ISBN 978-90-77166-90-1 NUR 740.

Schothorst, C.J. en D. Hettinga (1972) Het effect van polderpeilverlaging in een proefobject in de Alblasserwaard; Wageningen, ICW Nota 697.

Schothorst, C.J., (1977) Subsidence of low moor peat soils in the western Netherlands. *Geoderma* 17, 265-291.

STOWA (2020) Deltafact Bodemdaling. Versie 3.1, Stowa. Auteurs: Sanneke van Asselen (Deltares) Henk Kooi (Deltares), Jan J.H. van den Akker (Wageningen University & Research - Wageningen Environmental Research).

Van den Akker et al., 2018. Effect van hydrologische maatregelen op maaiveldsdaling. Presentatie in kader van 100 jarig bestaan van WUR. https://www.fryske-akademy.nl/fileadmin/inhoud/beelden/homepage/Nijs_en_aginda/Eveneminten/Faanweidesymposium/G1_-_WUR_-_Jan_van_den_Akker.pdf

Summary Vertical movement of peat soil: measurement techniques and experiences in The Netherlands at Zegveld

This paper presents two measurement devices for near-continuous measurements of the vertical movement of peat soils at a location on the Zegveld experimental farm in the Utrecht province of The Netherlands. We also present preliminary results of the peat soil movement data, measured at the soil surface and at different depths in a vertical soil profile. We compare both devices and measurement data for the period February 4, 2020 through January 16, 2022. The measurement period still continues (status June 2022). The framework in which the data are gathered is the challenging issue of reduction of greenhouse gas emissions and long-term peat soil subsidence at present by hydrological and other soil management measures.

Auteurs

DION VAN DEIJL,
KnowH2O, Hydroloog,
deijl@knowh2o.nl

SANNEKE VAN ASSELEN,
Deltares, Fysisch Geograaf,
Sanneke.vanAsselen@deltares.nl

GILLES ERKENS
Deltares, Bodemdalingsexpert,
Gilles.Erkens@deltares.nl

BERNARD VOORTMAN,
Moisture Matters, Hydroloog,
Bernard.Voortman@moisture-matters.nl

GÉ VAN DEN EERTWEGH,
KnowH2O, Hydroloog,
eertwegh@knowh2o.nl

