



**S. (Sofie) E. ten Bosch**  
Scientific Assistant, EPFL  
(vml. student TU Delft)



**F. (Rik) Bisschop**  
Senior Specialist  
Geotechniek Arcadis

# ZAKT NEDERLAND WERKELIJK ZO SNEL?

## DEEL 1: HET VEENWEIDEGEBIED

### Inleiding

In het deltagebied van Nederland komen veel slappe grondlagen (veen en klei) voor, die gevoelig zijn voor bodemdaling. Bodemdaling draagt onder andere bij aan een verhoogde kwetsbaarheid voor overstromingen, verminderde begaanbaarheid en vernatting van landbouwgronden, beschadigingen aan infrastructuur, pijpleidingen en gebouwen door differentiële bodemdaling en problemen met houten funderingen die boven het grondwater aanwezig zijn. Samen veroorzaken al deze problemen een verhoging in onderhoudskosten voor zowel waterkeringen als gebouwen en infrastructuur in Nederland.

Verschillende oorzaken spelen een rol bij bodemdaling waarbij verschillende processen optreden. Kimenai et al. (2020) hebben recent de relevante processen in kaart gebracht en gekwantificeerd voor bodemdaling bij een project waarbij de grondwaterstand verlaagd zou worden. Overigens veroorzaakt niet alleen een verlaging van de

grondwaterstand bodemdaling, maar ophogingen vormen ook een belangrijke oorzaak. Om de effecten van bodemdaling te kunnen inschatten, is begrip noodzakelijk van de processen welke bijdragen aan de totale daling en hoe deze variëren in tijd en diepte. Als functie van de oorzaak van de bodemdaling en de processen die hierbij een rol spelen, zijn er verschillende strategieën mogelijk om de gevolgen van bodemdaling te beheersen. Een voorbeeld is het toepassen van licht ophoogmateriaal als de daling voornamelijk door belasting wordt veroorzaakt en het verhogen (of niet meer verlagen) van het waterpeil in (veen)-weidegebieden.

Kimenai et al. (2020) gingen in op de bodemdaling in een gebied met relatief dunne veen- en leemlagen op enige diepte (2 m) uit een warmere periode in de Weichselien-ijstijd, waarbij niet alleen rekening is gehouden met bodemdaling in de vorm van zetting, maar ook krimp en oxidatie zijn meegenomen. In dit eerste artikel is ingegaan

op de verschillende processen die een rol spelen bij bodemdaling in veenweidegebieden (Holoceen). Hierbij is niet alleen rekening gehouden met aerobe oxidatie maar ook met anaerobe oxidatie. De modellen die hiervoor zijn ontwikkeld, zijn getoetst aan de hand van metingen op twee locaties, de Krimpenerwaard en Zeevang polder (achterland Markermeerdijken). Het tweede artikel gaat in op de bodemdaling bij ophogingen in de vorm van een weglichaam en waterkering.

### Bodemdalingsprocessen

Figuur 2 laat voor drie verschillende situaties, (veen)weidegebieden, waterkeringen en bebouwd gebied de relevante bodemdalingsprocessen zien. Voor (veen)weidegebieden spelen met name oxidatie (aerobe afbraak van organisch materiaal) en krimp (volumeverlies door uitdroging) boven de grondwaterstand een rol. Dit proces wordt versterkt door waterpeilverlagingen. Daarnaast veroorzaken deze verlagingen een verhoging van de belasting (korrelspanning) op de ondergrond onder de grondwaterstand. Dit heeft zetting tot gevolg welke bestaat uit initiële compressie, primaire consolidatie en kruip. Onder de grondwaterstand treedt daarnaast anaerobe afbraak van organisch materiaal op.

Bij waterkeringen spelen onder de grondwaterstand dezelfde processen een rol. Het gedeelte van een dijklichaam boven de grondwaterstand dat bestaat uit klei en/of organisch materiaal ondervindt naast oxidatie en krimp ook zetting als gevolg van het eigen gewicht van het dijklichaam. Dit wordt ook wel klink genoemd.

Bij bebouwde en opgehoogde gebieden zoals woonwijken en/of infrastructuur zal voornamelijk sprake zijn van zetting als gevolg van de verhoging van de belasting op de ondergrond. Oxidatie en krimp zullen alleen nog optreden zolang de oorspronkelijke ondergrond niet door de aangebrachte ophoging onder de grondwaterstand wegzakt. Klink van het ophoogmateriaal zal geen rol spelen, omdat zand een inert materiaal betreft waardoor oxidatie en uitdroging geen rol spelen. Een effect dat wel kan leiden tot klink van zand is de verdichting van los tot matig gepakt zand ten gevolge van trillingen.



**Figuur 1** – Projectgebied in Krimpenerwaard polder.

## SAMENVATTING

Bodemdaling is tegenwoordig een veel besproken onderwerp binnen de geotechniek en speelt bij meerdere situaties in Nederland een rol. Vaak worden grove aannames gedaan en wordt niet in detail gekeken naar processen die in specifieke situaties relevant zijn. In deze tweedelige serie is voor verschillende situaties gekeken naar de relevante processen van bodemdaling en is nagegaan

hoe goed bodemdaling ingeschat kan worden met de huidige rekenmodellen. In dit eerste deel gaan wij in op de bodemdaling in veenweidegebieden aan de hand van twee situaties, de Krimpenerwaard en de Zeevang polder (achterland Markermeerdijken).

### BODEMDALING PROCESSEN

De belangrijkste processen die bodemdaling in het (veen)weidegebied beïnvloeden zijn oxidatie (vergaan van organisch materiaal), krimp (uitdroging) en zetting als gevolg van een belastingverhoging (waterpeilverlaging).

### BODEMDALING DOOR OXIDATIE

Modellen om de bodemdaling door oxidatie te berekenen, zijn over het algemeen gebaseerd op een empirische parameter die beschrijft welk bestandsdeel van een grondlaag boven het grondwaterpeil per jaar verdwijnt. Een voorbeeld hiervan is vergelijking 1 van Van der Meulen et al. (2007):

$$\Delta h_{ox} = h_{dry} \cdot (1 - e^{-V_{ox} \cdot \Delta t})$$

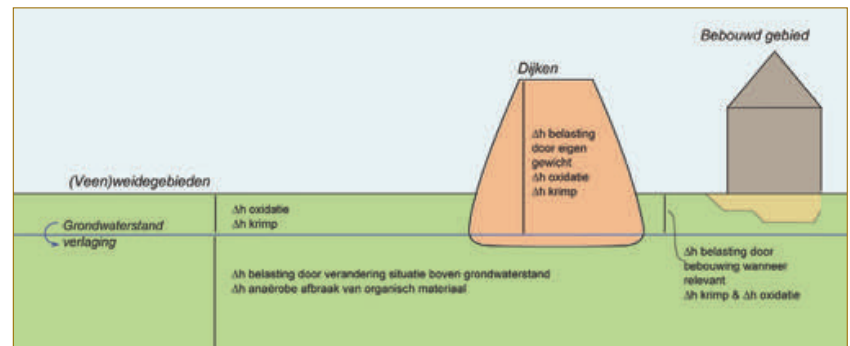
Waarbij  $\Delta h_{ox}$  [m] de dalingscomponent betreft, geïntroduceerd door de afbraak van organisch materiaal boven de grondwaterstand op tijdstip  $t$  [jaar],  $V_{ox}$  [m/m/jaar] is de reksnelheid van de oxidatie van het organisch materiaal,  $\Delta t$  [jaar] is de tijdstap en  $h_{dry}$  [m] is de initiële totale dikte van de veenlaag boven de waterstand. Vaak wordt voor  $V_{ox}$  een waarde van 0,015 m/m/jaar gebruikt voor de snelheid van de veenafbraak, maar in de studie van Van der Meulen et al. (2007) is niet duidelijk onderbouwd waar deze waarde vandaan komt.

Sommige vergelijkingen, zoals beschreven in Fokker et al. (2019) en Bootsma et al. (2020), bevatten een factor die karakteriseert hoeveel resthoogte er van de grondlaag boven het grondwater overblijft. Veen bevat ook anorganisch materiaal of gestabiliseerd organisch materiaal dat niet beschikbaar is voor afbraak, waardoor er bij gelijkblijvende omstandigheden sprake is van een resthoogte/laag boven de grondwaterstand. Fokker et al. (2019) heeft dit op de volgende wijze meegenomen in de vergelijking van Van der Meulen et al. (2007) (vergelijking 2):

$$\Delta h_{ox} = (1 - e^{-V_{ox} \cdot \Delta t}) \cdot (h(t) - \lambda_{r,ox} h_0)$$

Waarin  $h(t)$  de dikte is van de grondlaag boven het grondwater aan het begin van de tijd  $\Delta t$  die verandert door oxidatie,  $\lambda_{r,ox}$  [-] de fractie van de hoogte/dikte is die bestaat uit anorganische of gestabiliseerde organische delen en  $h_0$  [m] de initiële dikte/hoogte van de grondlaag boven het grondwater.

**Figuur 2 –**  
Drie algemene landschapssituaties in Nederland met verschillende bodemdalingsprocessen.



Naast deze formules waarbij een specifieke component van de bodemdaling in het landelijke gebied wordt benaderd, worden ook de formules van Van den Akker et al. (2007) veel gebruikt, waarin indirect alle bodemdalingscomponenten voor een standaard situatie zitten verwerkt. De bijdragen van verschillende processen kan met het gebruik van deze formules dus niet worden uitgesplitst. Het zijn lineaire relaties tussen het grondwaterniveau en de bodemdalingscomponent (vergelijking 3). De empirische formules zijn gebaseerd op metingen in veenweidegebieden (Zegveldpolder), waarbij onderscheid is gemaakt tussen de situatie voor een veenondergrond met of zonder een toplaag van klei op de veenlaag:

$$\Delta h_t = 23,537 \cdot GLG - 6,68 \quad \text{zonder top kleilaag (kleidek < 10 cm)}$$

$$\Delta h_t = 23,537 \cdot GLG - 10,46 \quad \text{met top kleilaag (kleidek < 40 cm)}$$

Waarbij  $\Delta h_t$  [mm/jaar] de bodemdalingssnelheid betreft en de  $GLG$  [m onder maaiveld] de gemiddelde laagste grondwaterstand. Bovenstaand genoemde formules voor het benaderen van de afbraak van organisch materiaal, geven een vereenvoudigde versie van de werkelijkheid weer, omdat in realiteit factoren als temperatuur, pH, grondeigenschappen en de compositie van het organisch materiaal ook een rol spelen.

Naast oxidatie, de aerobe afbraak van veen waarbij koolstofdioxide ( $CO_2$ ) vrijkomt, kan afbraak van organisch materiaal ook anaeroob plaatsvinden waarbij methaan ( $CH_4$ ) het eindproduct is. Het anaerobe proces verloopt minder efficiënt dan de aerobe afbraak van organisch materiaal. Op dit moment wordt deze component vrijwel altijd verwaarloosd bij bodemdalingstudies. Om deze

component in deze studie te introduceren is aangenomen dat de snelheid van de anaerobe afbraak ongeveer 25% is van de snelheid van de aerobe afbraak van organisch materiaal, een schatting gebaseerd op Zander et al. (2020).

### KRIMP DOOR UITDROGING

Krimp speelt ook een belangrijke rol bij de ontwatering van veen, maar het is lastig om hier oxidatie en krimp uit elkaar te houden. Deze component lijkt impliciet meegenomen te zijn in de formules opgesteld voor de bodemdaling ten gevolge van de afbraak van organisch materiaal. In bodemdalingstudies voor veenweidegebieden wordt krimp ook niet altijd als een specifiek losstaand proces benoemd. Voor krimp is in Fokker et al., 2019 de volgende vergelijking opgesteld analoog aan de empirische vergelijking voor oxidatie:

$$\Delta h_{sh} = (1 - e^{-V_{sh} \cdot \Delta t}) \cdot (h(t) - \lambda_{r,sh} h_0)$$

Waarbij  $V_{sh}$  [m/m/jaar] de krimpssnelheid van de ondergrond is en  $\lambda_{r,sh}$  [-] de fractie van de dikte van de kleiondergrond boven de grondwaterstand die overblijft na volledige uitdroging. De input voor deze empirische vergelijking is gebaseerd op metingen in de Flevoland polder voor zowel organische als niet organische klei.

### Zetting door belasting

In veenweidegebieden veroorzaken waterpeilverlagingen een verhoging van de korrelspanning. Voor de berekening van het effect hiervan op de zetting zijn welbekende modellen beschikbaar in Nederland, het wat verouderde Koppejan model, het NEN-Bjerrum model en het abc-isotachen model (CROW, 2022). Deze laatste twee modellen zijn vergelijkbaar wat betreft theoretische achter-



grond. Het NEN-Bjerrum model is gebaseerd op lineaire rek, terwijl het abc-isotachen model uitgaat van natuurlijke rek. Deze modellen berekenen de bodemdaling die optreedt door consolidatie en kruip. Edil et al. (1979) beschrijven een tertiaire kruip component, die mogelijk veroorzaakt wordt door de samendrukbaarheid van de organische deeltjes zelf en/of gasbellen als gevolg van de afbraak van organische componenten. Deze component wordt tot op heden in Nederland verwaarloosd. Ook initiële compressie wordt vaak verwaarloosd.

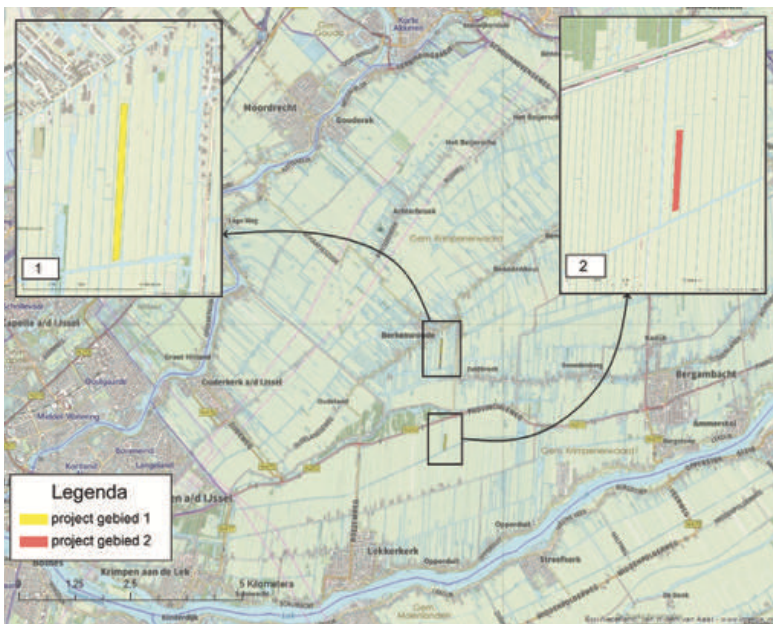
### Discussie

Voor de beoordeling van de bodemdaling in veenweidegebieden kan uitgegaan worden van de beschikbare empirische modellen voor de snelheid van oxidatie. Krimp door uitdroging zal impliciet verwerkt zijn in deze modellen. Onderscheid in type veen is niet mogelijk. Voornamelijk is hier nog maar beperkte informatie over beschikbaar. In gebieden met een kleiondergrond daarentegen zal krimp waarschijnlijk het dominante proces zijn. Onderscheid is mogelijk tussen organische en schone klei. Oxidatie zal voor organische klei ook

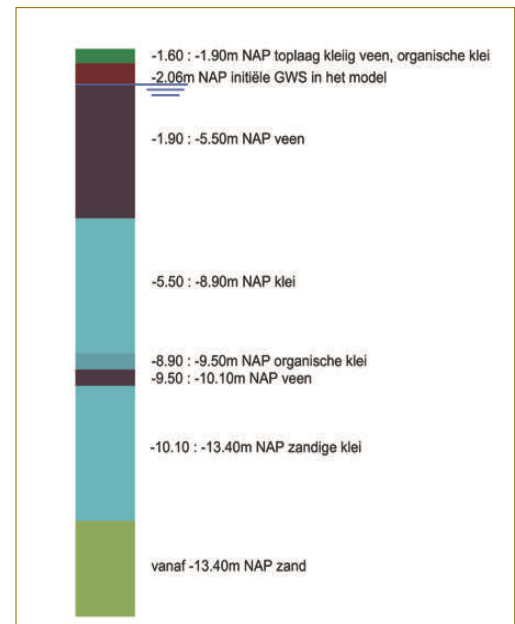
impliciet in deze modellen terugkomen. Oxidatie en krimp treden op boven de grondwaterstand. Bij een peilverlaging neemt de korrelspanning onder de oorspronkelijke grondwaterstand toe, met zetting tot gevolg. Deze zetting kan berekend worden met boven genoemde modellen. Onduidelijk is of deze zetting impliciet in de modellen voor oxidatie en/of krimp is meegenomen.

### Bodemdaling veenweidegebieden

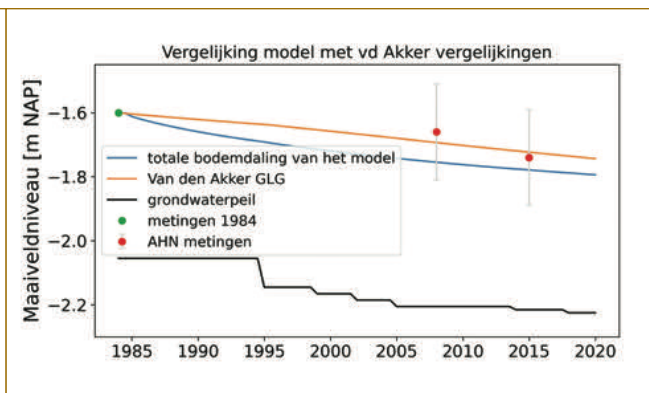
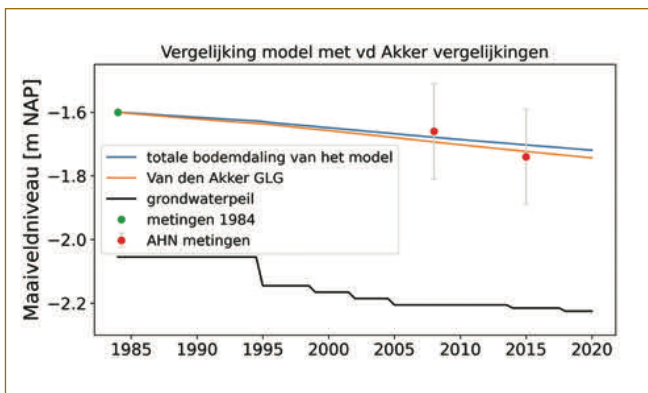
Voor de genoemde locaties is geëvalueerd of het met de huidige modellen mogelijk is een betrouwbare inschatting te krijgen van de gemeten



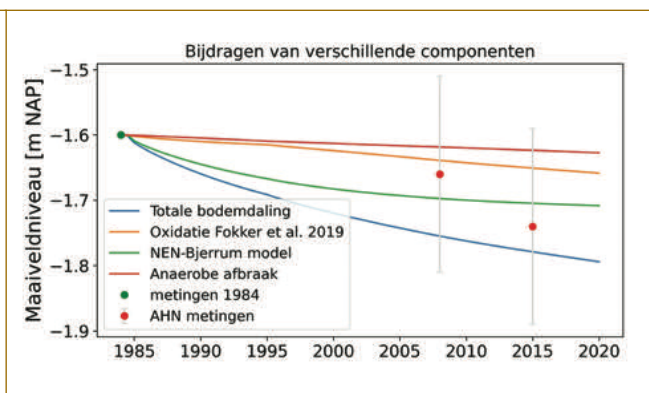
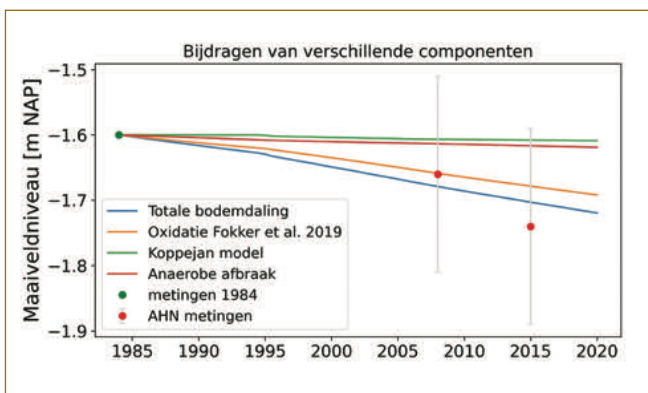
**Figuur 3 -**  
Projectlocaties in de Krimpenerwaardpolder.



**Figuur 4 -**  
Het grondprofiel voor één van de locaties in de Krimpenerwaardpolder gebruikt als input voor het model (niet op schaal).



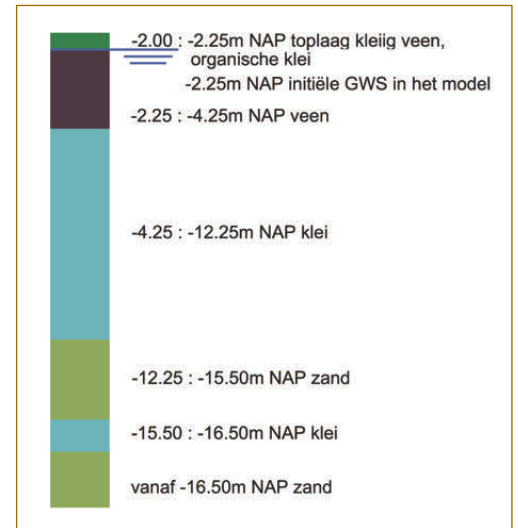
**Figuur 5 -**  
Vergelijking van de modelresultaten voor de Krimpenerwaardpolder met de veelgebruikte Van den Akker vergelijkingen. Het model is gebaseerd op de genoemde aerobe en anaerobe modellen met zowel het (a) het Koppejan model als (b) het NEN-Bjerrum.



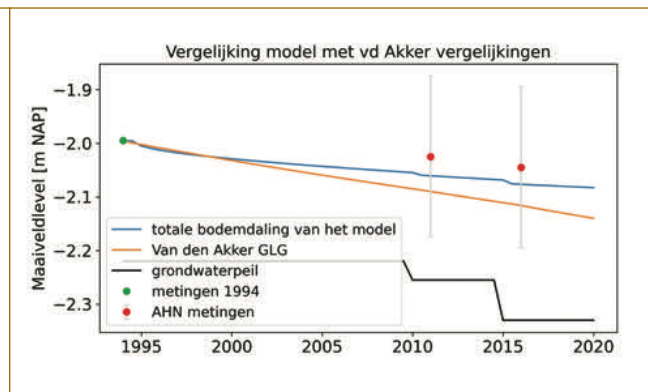
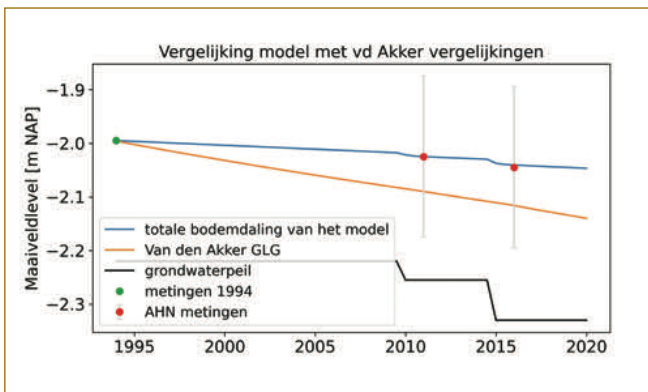
**Figuur 6 -**  
Bijdragen van verschillende bodemdalingscomponenten over de tijd voor de Krimpenerwaardpolder, voor de genoemde aerobe en anaerobe modellen met zowel het (a) Koppejan model als (b) het NEN-Bjerrum model.



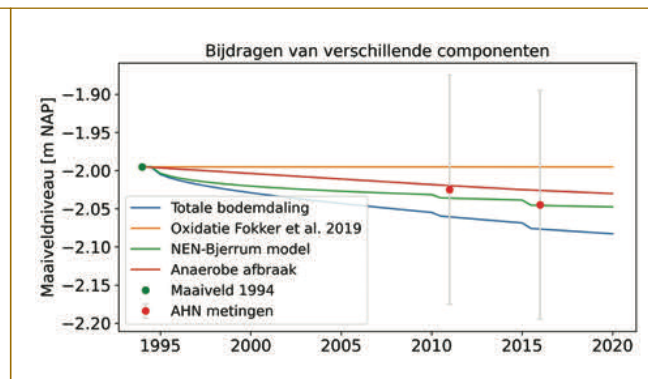
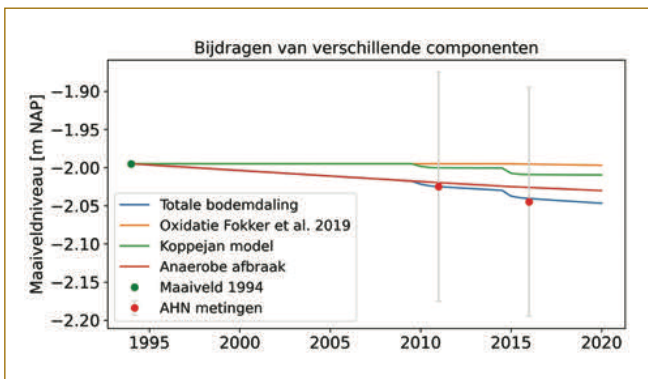
**Figuur 7** – Project locatie achter de Markermeerdijken in Polder Zeevang, nabij Wardeer.



**Figuur 8** – Het grondprofiel voor de locatie in Polder Zeevang gebruikt als input voor het model (niet op schaal).



**Figuur 9** – Vergelijking van de modelresultaten voor de Polder Zeevang met de veelgebruikte Van den Akker vergelijkingen. Het model is gebaseerd op de genoemde aerobe en anaerobe modellen met zowel het (a) het Koppejan model als (b) het NEN-Bjerrum model.



**Figuur 10** – Bijdragen van verschillende bodemdalingscomponenten over de tijd voor de Polder Zeevang, voor de genoemde aerobe en anaerobe modellen met zowel het (a) Koppejan model als (b) het NEN-Bjerrum model.

bodemdaling. In veenweidegebieden zijn over het algemeen geen betrouwbare satellietmetingen beschikbaar. De locaties waar metingen beschikbaar zijn betreffen verharde oppervlakken (wegen, erven, etc.), welke niet representatief zijn voor begroeide oppervlakken, zoals veenweides. Dit betekent ook dat de Bodemdalingskaart v2.0 voor deze situaties niet bruikbaar is.

#### AANPAK

Voor de twee veenweidegebieden in de Krimpenerwaard (Figuur 3) is op basis van hoogtemetingen uit 1984, de AHN-2 (2008) en AHN-3 (2015) de opgetreden bodemdaling afgeleid. Voor de Polder

Zeevang (Figuur 7) is dit gedaan aan de hand van boorprofielen uit 1994 en wederom de AHN-2 (2011) en AHN-3 metingen (2016). Aan de hand van de grondopbouw (figuren 4 en 8) en informatie over de peilbesluiten van het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard en Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier is de bodemdaling berekend met de eerder geïntroduceerde modellen. Per tijdstap is voor elke grondlaag een nieuwe positie berekend gebruikmakende van de berekende daling, die vervolgens gebruikt is als startpunt voor de nieuwe tijdstap, zoals weergegeven in de onderstaande vergelijking:

$$h_{top}[i + 1] = h_{top}[i] - \Delta h[i]$$

$$\text{met: } \Delta h[i] = \Delta h[i]_{oxidatie} + \Delta h[i]_{krimp} + \Delta h[i]_{anaerobe\ afbraak} + \Delta h[i]_{zetting}$$

In het model is uitgegaan van een tijdstap van 0,5 jaar. Deze is begrensd door de beschikbare informatie over de aanpassingen van het waterpeil, tijdstap enige (tientallen) jaren en doordat in de modellen de invloed van verschillende seizoenen niet zijn meegenomen.

#### GEHANTEERDE MODELLEN

Voor het berekenen van bodemdaling als gevolg



van anaerobe afbraak van organisch materiaal zijn geen modellen bekend. Deze is globaal ingeschat op basis van theorie en enkele aannames, zie vergelijking 6.

$$\Delta h_t = (1 - e^{V_{an} \cdot \Delta t}) \cdot (h(t) - \lambda_{r,ox} h_0)$$

De vergelijking van Fokker et al. (2019) is gebruikt met een  $V_{an}$  in plaats van de  $V_{ox}$  parameter, waarbij  $V_{an}$  [m/m/jaar] de snelheid is als gevolg van anaerobe afbraak. De waarde van  $V_{an}$  is gebaseerd op Zander et al. (2020) en de aanname is gedaan dat bodemdaling door anaerobe afbraak vooral komt uit de zone tussen de waterpeil uit het peilbesluit en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG), (zone  $h_0$ ). In deze zone varieert het watergehalte over de tijd, dat een versnellend effect kan hebben op de afbraak van organisch materiaal (Denef et al. 2001). Echter moet hier wel gezegd worden dat deze aanname, voor de berekening van de anaerobe afbraak, ook een indirecte secundaire aerobe afbraak kan representeren, die in het model verwaarloosd is omdat uitgegaan wordt van een gemiddelde grondwaterstand (= waterpeil peilbesluit).

De zetting als gevolg van peilverlagingen is zowel met Koppejan als met het NEN-Bjerrum model berekend. De modellen gaven verschillende uitkomsten. Het NEN-Bjerrum zettingsmodel gaf een significante (niet realistische) initiële kruip. Deze overschatting is mogelijk veroorzaakt door het gebruik van een te lage POP waarde (7,5 kPa). Bij het Koppejan model treedt er geen kruip op voordat er enige grondwaterstandverlaging is geïntroduceerd in het model. Dit is ook niet correct omdat er voorgaande waterpeilverlagingen zijn geweest.

## RESULTATEN

Figuur 5 geeft een vergelijking tussen de berekende bodemdaling, waarbij gebruik is gemaakt van zowel het Koppejan-model als het NEN-Bjerrum model voor de zetting en van Fokker et al. (2019) voor de oxidatie. Met de genoemde aannames en aanpak is de anaerobe bijdrage beperkt (ca. 10 tot 20% van de totale bodemdaling). Figuur 6 laat de bijdragen van de verschillende dalingscomponenten aan de totale bodemdaling zien. Met het Koppejan zettingsmodel is de bijdrage van oxidatie het grootst. Bij gebruik van het NEN-Bjerrum model domineert de initiële kruip de bodemdaling, waardoor er rekenkundig minder grond boven het grondwater aanwezig is. Dit vermindert de bijdrage van oxidatie aan de bodemdaling. Voor de tweede projectlocatie in de Krimpenerwaard zijn dezelfde patronen gevonden.

De resultaten van de berekeningen en de gemeten bodemdaling voor de Polder Zeevang zijn weergegeven in figuren 9 en 10. Het verschil met de

Krimpenerwaard is dat de veenlaag vanaf het begin al onder de grondwaterstand ligt en er geen of nauwelijks een bijdrage is van oxidatie in de totale bodemdaling.

## Conclusies

Het model waarmee in beide situaties de actuele bodemdaling het best benaderd wordt is een combinatie van Fokker et al. (2019) voor de bijdrage van de aerobe en anaerobe oxidatie en het Koppejan model. Volgens het model van Fokker et al. (2019) zal de bodemdaling doorgaan tot al het organisch materiaal dat boven de grondwaterstand beschikbaar is voor afbraak worden afgebroken. Het inerte aandeel van de grond zal een bepaalde resthoogte boven het grondwaterstand geven. Genoemd model toont ook aan dat de snelheid van bodemdaling afneemt met de tijd, zolang het waterpeil niet verder verlaagd wordt. Door de uitbreiding van het model voor anaerobe oxidatie kan ook in het geval van een waterpeilverhoging ingeschat worden wat dit voor gevolgen heeft voor de bodemdaling, al is er nog veel onbekend rondom deze bodemdalingscomponent.

Overigens kan genoemd worden dat het NEN-Bjerrum model een meer geëigend model is voor de berekening van zettingen. Meer onderzoek is noodzakelijk naar de berekening van de kruip met dit model bij kleine toenames van de spanningen. De met dit model berekende kruip kan overigens niet zomaar gelijkgesteld worden aan de actuele bodemdaling, omdat dit vaak verschillende processen zijn: kruip versus oxidatie en/of krimp. Echter kruip wordt vaak uit praktische overwegingen en gezien de onzekerheden over bodemdaling wel afgestemd op de autonome bodemdaling en daarmee het lange termijn gedrag.

Ook de veelgebruikte formules van Van den Akker et al. (2007) zijn vergeleken met de gemeten bodemdaling in het landelijk gebied en gaven resultaten die in de buurt komen van de gemeten bodemdaling. Het blijft echter belangrijk te realiseren dat dit empirische formules zijn waar alle componenten in verwerkt zitten en het dus niet mogelijk is de bijdrage van specifieke componenten te onderscheiden. Ook voor de andere eerder genoemde huidige modellen is het vaak nog onduidelijk welke waarde voor parameters gebruikt moet worden en welke processen er precies in de componenten verwerkt zitten, doordat de waarden in de papers soms via backfitting zijn bepaald of de definities van verschillende componenten niet altijd duidelijk worden toegelicht.

Daarnaast kunnen we ons afvragen hoe de bodemdaling zal veranderen als een plot in het landelijk gebied bebouwd is of gaat worden voor een waterkering, infrastructuur of een woonwijk. De rele-

vante mechanismen die de huidige autonome bodemdaling in een landelijk gebied bepalen zullen niet meer of minder relevant zijn wanneer het gebied bebouwd (opgehoogd) wordt. Hiermee dient rekening te worden gehouden bij het opstellen van de restzettingseisen. Dit scenario is ook bekeken aan de hand van twee case studies en zal worden toegelicht in het volgende artikel.

Graag willen wij de Alliantie Markermeerdijken, het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en het Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard bedanken voor het gebruik van de data in dit onderzoek.

## Bronnen

- Bootsma, H., Kooi, H., & Erkens, G. (2020) Atlantis, a tool for producing national predictive land subsidence maps of the Netherlands. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, 382, 415-420.
- CROW, (2022) CROW-CUR rapport 162 Construeren met grond, <https://kennisbank.crow.nl/Kennismodule/>.
- Denef, K., Six, J., Bossuyt, H., Frey, S. D., Elliott, E. T., Merckx, R., and Paustian, K. (2001) Influence of dry-wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics. Soil Biology and Biochemistry, 33(12-13):1599–1611.
- Edil, T.B., & Dhowian, A.W. (1979) Analysis of long-term compression of peat. Geotechnical engineering, 10:159-178.
- Fokker, P. A., Gunnink, J. L., Koster, K., & de Lange, G. (2019) Disentangling and parameterizing shallow sources of subsidence: Application to a reclaimed coastal area, Flevoland, the Netherlands. Journal of Geo-physical Research: Earth Surface, 124(5), 1099-1117.
- Kimenai, A.C.M., Bakker, G. & Tiggelman, L. (2020) Bepaling maaiveldzakking is meer dan alleen geotechniek, Geotechniek, 36-40.
- Van den Akker, J. J. H., Beuving, J., Hendriks, R. F. A., & Wolleswinkel, R. J. (2007) Maaiveld-daling, afbraak en CO<sub>2</sub>-emissie van Nederlandse veenweidegebieden. Leidraad Bodembescherming, afl, 83, 83.
- Van der Meulen, M. J., van der Spek, A. J., de Lange, G., Gruijters, S. H., van Gessel, S. F., Nguyen, B. L., Maljers, D., Schokker, J., Mulder, J.P.M. & van der Krogt, R. A. (2007) Regional Sediment Deficits in the Dutch Lowlands: Implications for Long-Term Land-Use Options. Journal of Soils and Sediments, 7(1), 9-16.
- Zander, F., Heimovaara, T., and Gebert, J. (2020) Spatial variability of organic matter degradability in Tidal Elbe Sediments. Journal of Soils and Sediments, pages 1–15. ●