

Sturingsmogelijkheden grondwaterstanden in laagveengebieden



Sturingsmogelijkheden grondwaterstanden in laagveengebieden

Auteur(s)

Laura Nougues

Sturingsmogelijkheden grondwaterstanden in laagveengebieden

Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Contactpersoon	Meinte de Hoogh
Trefwoorden	Doelstelling Water en Bodem Sturend, laagveengebied, bodemdaling, CO ₂ uitstoot

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	10-02-2025
Projectnummer	11210358-001
Document ID	11210358-001-BGS-0001
Pagina's	30
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Laura Nougès	

Samenvatting

Deze studie is opgezet naar aanleiding van de Water en Bodem Sturend (WBS) kamerbrief van november 2022. Hierin staat dat de grondwaterstanden in de laagveengebieden opgehoogd moeten worden naar 20 tot 40 cm onder maaiveld om bodemdaling te minimaliseren en CO₂ uitstoot te reduceren. In dit rapport wordt onderzocht welke kansen de doelstelling van het verhogen van de grondwaterstand biedt en hoe groot deze opgave is.

In de praktijk kan er niet direct op grondwaterstanden worden gestuurd maar kan dit via de slootpeilen beïnvloed worden. Daarom wordt in deze studie met behulp van daarvoor geschikte numerieke modellen gekeken naar de effecten van opgelegde slootpeilen op grondwaterstanden, de haalbaarheid van de WBS grondwaterstand doelstelling, bodemdaling en CO₂ uitstoot.

Om de mate van de WBS opgaven in beeld te krijgen, is de SOMERS PeatParcel2D module gebruikt om de grondwaterdynamiek te simuleren binnen landbouwpercelen in het laagveengebied voor drie opgelegde slootpeilen: 1) huidig slootpeil (2022), 2) 30 cm onder maaiveld, en 3) 20 cm onder maaiveld. Deze grondwaterstanden zijn vervolgens ingezet als invoer voor de SOMERS AAP module om de CO₂ uitstoot te modelleren en voor Atlantis om de bodemdaling te voorspellen.

De resultaten suggereren dat het in beperkte mate haalbaar is om de voorgenomen grondwaterstand te realiseren met (enkel) slootpeilverhogingen. Met de huidige slootpeilen en een milde toetsingsdoelstelling voldoet slechts 12% van het laagveengebied aan de doelstelling. Met een verhoogd slootwaterpeil op 20 cm onder maaiveld loopt dit op naar 53%. De percelen die hier nog niet aan de doelstelling voldoen bevinden zich voor het grootste deel in het noorden van het land rondom Friesland en Groningen. Over het algemeen zijn dit ook brede percelen met diepe slootpeilen.

Wanneer er naar het effect van de peilverhoging op de CO₂ uitstoot en bodemdaling wordt gekeken, lijkt er wel significante winst behaald te kunnen worden. Het is daarom belangrijk om vast te stellen **waarom** de grondwaterstanden in het laagveengebied verhoogd moeten worden en **waarmee** de grootste effecten behaald kunnen worden:

- Om de **CO₂ uitstoot te verminderen** moet de focus liggen op het verhogen van de slootpeilen in percelen die momenteel hoge emissies hebben; percelen met lage slootpeilen en brede percelen.
- Om **bodemdaling te beperken** moet de nadruk worden gelegd op het verhogen van de slootpeilen in gebieden met dikke veenlagen, of waar de grens van 40 cm ver overschreden wordt.

Daarbij is het ook voorstelbaar dat bij bepaalde bodemsamenstellingen de doelstelling ook niet gehaald hoeft te worden. Gebieden met dunne veenlagen waar weinig bodemdaling optreedt, zouden op het gebied van bodemdaling hun peilen niet hoeven verhogen. In plaats van het sturen op een bepaalde grondwaterstand wordt er aanbevolen om op de neveneffecten te sturen.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Introductie	6
1.1	Leeswijzer	6
2	Methodologie	7
2.1	SOMERS	9
2.1.1	PeatParcel2D	10
2.1.2	AAP	10
2.2	Atlantis	11
2.3	Beoordeling WBS doelstelling	12
2.4	Aandachtspunten gebruikte modellen	12
2.4.1	SOMERS	13
2.4.2	Atlantis	13
3	Resultaten	15
4	Discussie	20
5	Conclusies	23
6	Aanbevelingen voor vervolg onderzoek	24
	Referenties	25
A	SOMERS model validatie en kalibratie	27
B	Atlantis model kalibratie	28
C	Atlantis compactie parametrisatie	29

1 Introductie

In de Water en Bodem Sturend (WBS) kamerbrief van november 2022 is een aantal structurerende keuzes gemaakt met betrekking tot bodemdaling in laagveengebieden. Zo wordt er onder meer de ambitie uitgesproken dat de grondwaterstanden in deze gebieden opgehoogd moeten worden naar 20 tot 40 cm onder maaiveld, om bodemdaling en broeikasgasuitstoot te reduceren.

Ondiepe bodemdaling wordt veroorzaakt door drie processen:

1. Bodemdaling door oxidatie van veen en organische stof rijk materiaal,
2. Bodemdaling door compactie van slappe bodemlagen.
3. Bodemdaling door de rijping van drooggelegde kleigebieden.

Deze processen worden voornamelijk beïnvloed door ontwatering van de bodem, waardoor organisch materiaal onder invloed van zuurstof kan oxideren en waar de bodem onder zijn eigen gewicht vervormt door het verminderen van de waterdruk (Erkens et al., 2021). De grens van 40 cm streeft ernaar om deze processen af te remmen. In dit onderzoek wordt er alleen gekeken naar bodemdaling door oxidatie en compactie. Bodemdaling door rijping van drooggelegde kleigebieden is niet opgenomen in de berekeningen vanwege het gebrek aan landelijke gegevens over rijpingsparameters.

De grens van 20 cm streeft ernaar om methaanemissies te verminderen. Deze spelen namelijk een rol van betekenis bij grondwaterstanden tot 20 cm onder maaiveld (Erkens et al., 2022). Daarentegen is de uitstoot van CO₂ significanter bij droge omstandigheden. Deze studie richt zich alleen op de uitstoot van CO₂ en dus de doelstelling van grondwaterstanden op maximaal 40 cm onder maaiveld. Methaan uitstoot is nog niet opgenomen in SOMERS, het emissieregistratie model dat in deze studie is gebruikt.

Dit onderzoek komt voort uit een drieluik van onderzoekslijnen om meer inzicht te krijgen over hoe de WBS keuzen doorwerken. De eerste lijn richt zich op het in kaart brengen van gebieden die het meest kwetsbaar zijn voor bodemdaling en die prioriteit moeten krijgen bij het tegengaan van bodemdaling. In de tweede lijn wordt onderzocht wat de verhoging van de grondwaterstanden tot 20 tot 40 cm onder maaiveld aan effecten met zich meebrengt in het laagveengebied en hoe groot de vernattingsopgave is. In de derde onderzoekslijn worden de kosten voor verschillende manieren van bodemdalingsbestendig inrichten van nieuwbouwlocaties in beeld gebracht. Gezamenlijk leveren de onderzoekslijnen een ruimtelijke duiding van de gevoeligheden voor, en de effecten van mogelijke maatregelen tegen bodemdaling en CO₂ uitstoot.

Dit rapport volgt de tweede onderzoekslijn en onderzoekt de opgave voor het verhogen van grondwaterstanden in het laagveengebied tot 20 tot 40 cm onder maaiveld. Het is onbekend in hoeverre deze doelstelling al gehaald wordt met het huidige peilbeleid, welk peilbeleid nodig is op specifieke locaties om de doelstelling te halen en wat dit vervolgens betekent voor bodemdaling en CO₂ uitstoot.

1.1 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt de methodologie toegelicht en worden de gebruikte modellen beschreven. Hoofdstuk 3 presenteert de studie resultaten. In Hoofdstuk 4 worden deze resultaten bediscussieerd. De conclusies worden behandeld in Hoofdstuk 5, gevolgd door aanbevelingen voor een vervolgonderzoek in Hoofdstuk 6.

2 Methodologie

In de praktijk kan er niet direct op een grondwaterstand gestuurd worden maar wordt dit via de slootpeilen beïnvloed. Om de mate van de WBS opgaven in beeld te krijgen, is een grondwatermodel gebruikt om de grondwaterdynamiek te simuleren binnen landbouwpercelen in het laagveengebied voor drie opgelegde slootpeilen:

1. Huidig slootpeil (2022),
2. 30 cm onder maaiveld,
3. 20 cm onder maaiveld.

Deze grondwaterstanden zijn vervolgens gebruikt als invoer om CO₂ uitstoot en bodemdaling te voorspellen. De twee modellen die gebruikt zijn om de analyses uit te voeren zijn:

1. **SOMERS (Soil Organic Matter Emission Registration System):** een emissieregistratie model waar gebruik wordt gemaakt van twee modules: PeatParcel2D om grondwaterstanden te modelleren, een AAP wat vervolgens de CO₂ uitstoot modelleert.
2. **Atlantis:** een bodemdalingsmodel.

Met het gekozen grondwatermodel, PeatParcel2D, is het mogelijk om op perceelschaal berekeningen uit te voeren. Echter, om de modelrekeningstijden te beperken naar een aantal dagen, zijn alle percelen in het laagveengebied gegroepeerd per kenmerkende karakteristieken, oftewel binnen een parameterruimte. De parameterruimte is opgebouwd uit vier landelijk karteerbare parameters die grondwaterstanden sterk beïnvloeden, namelijk:

- bodemopbouw (17 klassen)
- perceelsbreedte (5 klassen)
- drooglegging (5 klassen)
- hydrologische druk (5 klassen)

Door het indelen van alle percelen op subklasse niveau, blijven er 2566 combinaties over die gedraaid moeten worden, in plaats van de normaal gesproken 180 000 individuele percelen. In Tabel 1 zijn de subklassen van de verschillende parameters weergegeven.

Tabel 1: Opbouw parameter ruimte van het veenweidegebied op subklasse niveau.

Parameter	Bron	Subklasse
Bodemopbouw	Bodemkaart (BRO, 2021)	Moerig op klei (hVk)
		Moerig op moerig (hVb)
		Moerig op zand (hVz)
		Klei op klei (kVk)
		Klei op moerig (pVb)
		Klei op zand (kVz)
		Zand op zand (zVz)
		Moerig op moerig (hVs)
		Moerig op zand (Vp)
		Klei op moerig (kVs)
		Zand op zand (zWP)
		Klei op moerig (Avk)
		Klei op zand (kWp)
		Moerig op klei (Wo)
		Moerig op zand (vWz)
Zand op zand (zWp)		
Moerig op zand (iWp)		
Perceelsbreedte	Agrarisch Areaal Nederland (AAN) (PDOK, 2022)	0 tot 30 m
		30 tot 50 m
		50 tot 75 m
		75 tot 140 m
		> 140 m
Drooglegging	Verschil tussen maaiveldniveau van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN4, 2021) en slootpeilen ontvangen door waterschappen	0 tot 35 cm
		35 tot 55 cm
		55 tot 75 cm
		75 tot 110 cm
		> 110 cm
Hydrologische druk	Landelijk Hydrologisch Model (LHM) (Janssen et al., 2020)	< -0,8 mm/dag
		-0,8 tot -0,3 mm/dag
		-0,3 tot 0,3 mm/dag
		0,3 tot 0,8 mm/dag
		> 0,8 mm/dag

De gemodelleerde perceelbreedtes en droogleggingen zijn de mediane waarden van alle percelen die in die klassen vallen, zie Tabel 2 voor de gekozen waarden. De gemodelleerde dagelijkse hydrologische druk waarden zijn afgeleid van de LHM kwelfluxen, waarbij mediane waarden zijn berekend per subklasse van alle percelen die in die categorie vallen. Er is hierbij bewust gekozen om de mediaan te nemen van alle percelen in de klasse, omdat het gemiddelde anders erg beïnvloed wordt door modeextremen van het LHM. Een gevolg van deze methode is dat de flux door het jaar relatief vlak is, terwijl de bandbreedte van alle kwelfluxen die binnen een klasse vallen juist erg breed is. De dynamiek en flux zijn namelijk sterk afhankelijk van de regionale hydrologische situatie, welke kan variëren door de tijd.

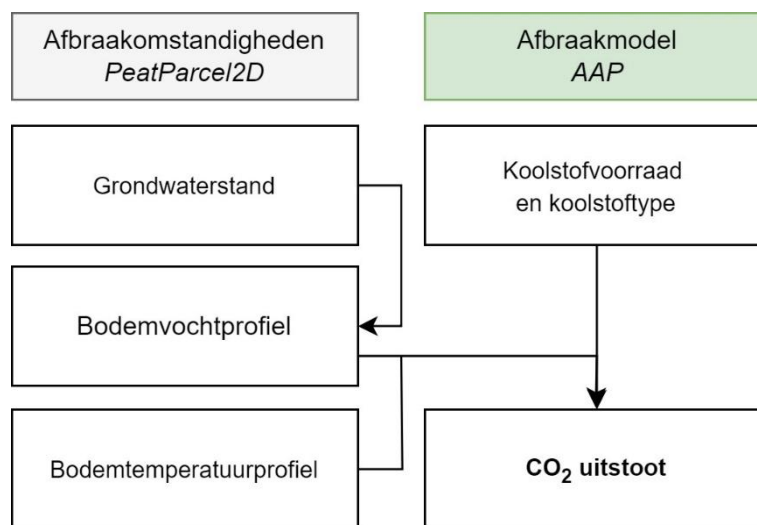
Tabel 2: Gemodelleerde perceelbreedtes en droogleggingen bij de verschillende parameterruimte klassen.

Perceelbreedte klasse	Gemodelleerde perceelsbreedte [m]	Drooglegging klassen	Gemodelleerde drooglegging [cm]
0 tot 30	20.26	0 tot 35	26
30 tot 50	39.59	35 tot 55	45
50 tot 75	60.64	55 tot 75	63
75 tot 140	94.94	75 tot 110	89
> 140	174.39	> 110	132

Er is voor SOMERS en Atlantis gekozen omdat dit modellen zijn die met relatief korte rekentijden (enkele dagen) landelijke voorspellingen kunnen maken, waarbij alsnog rekening wordt gehouden met de heterogeniteit van de bodem. In Hoofdstuk 2.1 en 2.2 worden deze modellen kort toegelicht. Hoofdstuk 2.3 beschrijft vervolgens de beoordeling van de WBS doelstelling.

2.1 SOMERS

In SOMERS (2.0) wordt een koppeling gemaakt tussen een module voor de afbraakcondities van het organisch materiaal en een module voor de daadwerkelijk afbraak (Erkens et al., 2022) (Figuur 1). PeatParcel2D modelleert de belangrijkste omgevingsvariabelen voor veenafbraak, te weten de grondwaterstand, het bodemvocht en de bodemtemperatuur in de diepte en tijd. Vervolgens berekent de AAP (Aerobe Afbraak Potentie) module op basis van de afbraakcondities de daadwerkelijk afbraak, wat resulteert in een CO₂ uitstoot die de daadwerkelijke uitstoot benadert.



Figuur 1: Schematische weergave van de modellen in SOMERS 2.0. PeatParcel2D modelleert de belangrijkste omgevingsvariabelen voor afbraak van het organisch materiaal, zoals grondwaterstand, bodemvocht en bodemtemperatuur in de diepte en tijd. Vervolgens berekent het AAP model op basis van de afbraakcondities de daadwerkelijk afbraak, die resulteert in een CO₂ uitstoot die de daadwerkelijke uitstoot benadert (Erkens et al., 2022).

2.1.1 PeatParcel2D

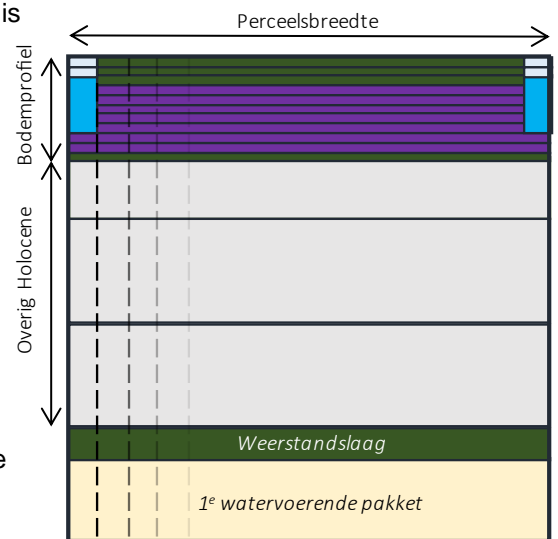
Om de WBS doelstelling te toetsen is het grondwatermodel uit PeatParcel2D gebruikt om de grondwaterdynamiek te simuleren binnen landbouwpercelen in het laagveengebied voor de drie opgelegde slootpeilsenario's.

De grondwaterdynamiek wordt met het 2D MODFLOW6 model op perceelschaal gesimuleerd (Langevin et al., 2017) in PeatParcel2D. De grondwaterstand wordt op dagbasis, voor een gespecificeerde periode gesimuleerd. Dit wordt gedaan over een lengte profiel van de kortste afstand van een perceel tussen twee sloten. Om de rekentijd van het model beheersbaar te houden, worden de grondwaterstanden in deze studie alleen voor een periode van één jaar gemodelleerd. Om de grondwaterdynamiek niet te beïnvloeden met extreem droge of natte jaren, is hier een gemiddeld weerjaar voor gekozen. Uit een eerder uitgevoerde studie door Deltares, is gevonden dat 2013 representatief is voor een gemiddeld weerjaar in Noordoost Nederland en 2015 voor West Nederland (Erkens et al., 2022).

De opbouw van de bovenste 1.2 m van de bodem is gebaseerd op de bodemkartering volgens de BRO bodemkaart van 2021. Het bovenste deel heeft een fijne discretisatie (0.5 m x 5 cm) omdat de meeste grondwaterfluctuatie hier plaatsvindt. Het resterende Holocene pakket en het eerste watervoerende pakket worden gebaseerd op de schematisatie van het Landelijk Hydrologisch Model (Hunink et al., 2020), zie Figuur 2 voor een voorbeeld van de opzet van een modelgrid in PeatParcel2D.

2.1.2 AAP

Om de invloed van de opgelegde slootpeilen op de CO₂ uitstoot in kaart te brengen, is de SOMERS AAP-module gebruikt. Hiermee is voor alle landbouwpercelen in het laagveengebied een CO₂ uitstoot gesimuleerd op basis van de grondwaterreeksen verkregen met PeatParcel2D.



Figuur 2: Voorbeeld van de opzet van een modelgrid van PeatParcel2D, dat wordt gediscrèteerd aan de hand van de perceelkenmerken en de bodemopbouw.

De AAP-module is een veenafbraakmodel dat is opgezet om tijdsefficiënt, en voor grote gebieden inschattingen te maken van de CO₂ uitstoot door aerobe microbiële afbraak van lang-cyclisch bodemkoolstof in de onverzadigde zone. Lang-cyclisch koolstof is voor dit doel gedefinieerd als het aandeel koolstof dat voor 1850 is vastgelegd in de bodem. De aanpak is gebaseerd op het werk van Boonman et al. (2022), waarin de omgevingsvariabelen bodemvocht en bodemtemperatuur in de onverzadigde zone als dominante factoren worden gezien bij het bepalen van afbraaksnelheid van organisch materiaal door microben. Het model houdt geen rekening met het effect van secundaire factoren, zoals pH van de bodem of nutriëntenconcentraties, zoals complexere modellen wel doen. Op dit moment is het nog niet mogelijk om deze factoren landelijk te berekenen, omdat de brondata ontbreekt of het is rekentechnisch niet haalbaar.

In Bijlage A wordt een korte beschrijving gegeven van hoe de SOMERS modulen gevalideerd en gekalibreerd zijn. Voor meer technische informatie over SOMERS, zie de SOMERS 2.0 – Technische beschrijving (Melman et al., 2024).

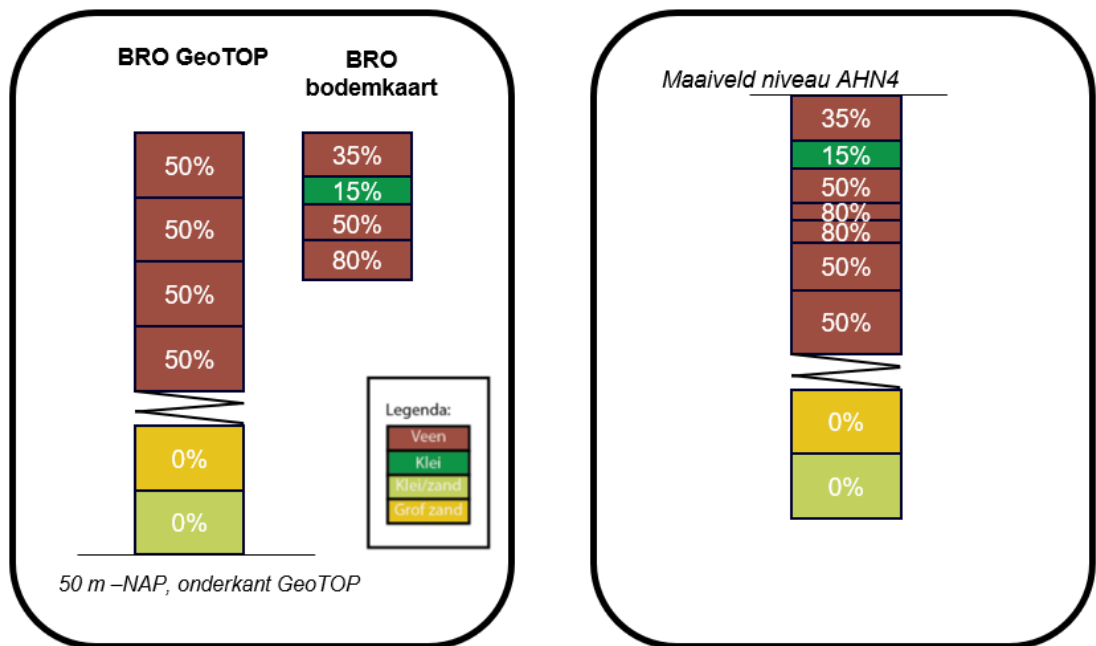
2.2 Atlantis

Het bodemdalingsmodel Atlantis (Bootsma et al., 2020) is gebruikt om de invloed van de opgelegde slootpeilen op bodemdaling te analyseren. Atlantis is een model dat ontwikkeld is om op een efficiënte en geautomatiseerde manier bodemdalingsvoorspelling te maken op een nationale schaal. In Bijlage B wordt een korte beschrijving gegeven van hoe Atlantis gekalibreerd is. Meer informatie over het model kan verkregen worden in Bootsma et al. (2020) en Erkens et al. (2021).

In deze studie bestaat het modelgebied uit alle veenweidegebieden in de kustvlakte van Nederland. Het modelgebied is gediscrètiseerd in een raster van rechthoekige cellen van 100 x 100 x 0.5 m. Dit sluit aan op de resolutie van de nationale BRO GeoTOP model (Stafleu et al., 2020), dat gebruikt wordt als basis voor het ondergrondmodel in Atlantis. Naast GeoTOP, wordt de bovenste 1.2 m van het ondergrondmodel aangevuld met de nationale bodemkaart 2023 (de Vries et al. 2003). De relevante bodemeigenschappen en compactie-parameters worden per lithoklasse (klassen waarin lithologie en zandkorrelgrootteklassen zijn gecombineerd in één legenda) toegewezen. Zie Bijlage C voor de gebruikte parametrisatie. Daarnaast krijgt elke cel een organische stofgehalte toegewezen. Voor de bovenste 1,2 m is gebruik gemaakt van het organisch stofgehalte in de gekarakteriseerde bodemprofielen. Voor veenvoxels (cellen bestaande uit veen) in GeoTOP is een vast organisch stofgehalte van 50% gehanteerd. Het AHN4 (AHN, 2021) vormt het referentiemaatveld voor de start van de modellering. Zie ter illustratie Figuur 3 waarin de verschillende inputbestanden samengevoegd worden.

Naast het ondergrondmodel, vormt de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) een belangrijke input van Atlantis. In de praktijk wordt de GLG berekend als het gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden over een periode van acht jaar. In deze studie zijn de grondwaterstanden, berekend met PeatParcel2D, vertaald naar een GLG. Aangezien de PeatParcel2D grondwaterstanden alleen voor een periode van één jaar gemodelleerd worden, kan de officiële definitie van de GLG niet worden gehanteerd. In plaats daarvan wordt de GLG per perceel geschat als het gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden binnen de jaarlijkse PeatParcel2D simulatie. Deze GLGs zijn vervolgens herschaald naar cellen van 100 x 100 m om aan te sluiten bij de GeoTOP discretisatie.

Ondergrond model



Figuur 3: Voorbeeld van samenvoeging van GeoTOP en bodemkaart (links). De bodemkaart wordt gebruikt voor de bovenste 1,2 m en de rest wordt aangevuld vanuit GeoTOP. Het AHN4 wordt gebruikt als referentiemaiveld niveau voor de start van de modellering (rechts).

2.3 Beoordeling WBS doelstelling

Er wordt geschat dat CO₂ uitstoot voornamelijk gevoelig is voor de duur van de uitzakking. Als de grondwaterstand één dag ver uitzakt, zal dit niet veel betekenen voor de CO₂ uitstoot. Dit zal pas een rol spelen nadat de grondwaterstand meerdere dagen ver uitgezakt is. In deze studie wordt er daarom een tijdscomponent toegevoegd aan de beoordeling van de WBS doelstelling:

Een perceel voldoet als de grondwaterstand, op 1/3 perceelbreedte, niet langer dan 31 (*strenge doelstelling*) of 60 (*milde doelstelling*) achtereenvolgende dagen onder 40 cm onder maaiveld valt.

Waarbij de met PeatParcel2D berekende grondwatertijdreeksen gebruikt worden om de doelstelling te beoordelen. De afstandsmaat van 1/3 van de perceelsbreedte wordt vaker toegepast als een representatief punt voor de gemiddelde grondwaterdynamiek in een perceel (Erkens et al., 2022).

In tegenstelling tot CO₂ uitstoot, is bodemdaling gevoeliger voor de diepte van de uitzakking. Om die reden wordt er naast een analyse over de overschrijdingsduur ook gekeken naar de mate van overschrijding. Deze wordt berekend als de som van de dieptes waarmee de grondwaterstand de 40 cm grens overschrijdt. Als de grondwaterstanden diep uitzakken, dan worden nieuwe, dieper gelegen, bodemlagen blootgesteld aan compactieprocessen

2.4 Aandachtspunten gebruikte modellen

De resultaten die in dit rapport gepresenteerd worden hebben een aantal uitgangspunten waar rekening mee gehouden dient te worden. Het is een prognose vanuit een set van modelaanname, die voornamelijk gebaseerd zijn op grove, landelijke data. Hieronder worden de belangrijkste aandachtspunten per model verder toegelicht.

2.4.1 SOMERS

Parametrisatie

De SOMERS berekeningen zijn gemaakt voor kenmerkende situaties in Nederland (zie beschrijving Parameterruimte aan het begin van in Hoofdstuk 2). Het werken met deze subklassen zorgt voor een aantal onzekerheden:

- De subklassen perceelsbreedte, drooglegging en hydraulische druk vertegenwoordigen een grotere bandbreedte waarvan slechts één specifieke situatie is doorgerekend.
- Er wordt gebruik gemaakt van gestandaardiseerde omstandigheden voor het weer en kwel/wegzijing, waardoor de jaar-tot-jaar variatie niet terug komt in de resultaten.

Landelijke kaarten

Er is gebruik gemaakt van landelijke bronbestanden. Hierdoor kunnen invoerwaarden op perceelsniveau afwijken van de daadwerkelijke situatie. Daarnaast wordt er in deze studie niet gekeken naar bestaande water infiltratie systemen. Er wordt alleen gekeken naar de invloed van peilaanpassingen in sloten op de grondwaterstand.

2.4.2 Atlantis

Model discretisatie

Met de huidige model discretisatie kunnen er geen ruimtelijke verschillen worden gezien over afstanden kleiner dan 100 m.

Bodem parametrisatie

Op dit moment, wordt er in Atlantis geen onderscheid gemaakt aan de bodem parametrisatie binnen grondsoorten (klei, veen, zand, leem). Als er naar de kleigebieden gekeken wordt, wordt er bijvoorbeeld geen onderscheid gemaakt tussen jonge klei en oude klei, of tussen rivierklei en zeelei.

Gebruikte GLG

Om de GLG te berekenen moet de grondwaterstand voor een periode van minimaal 8 hydrologische jaren (1 april t/m 31 maart) tweewekelijks gemeten worden. Vervolgens wordt de GLG berekend als de gemiddelde grondwaterstand van de drie laagste grondwaterstanden per jaar.

In deze studie zijn de grondwaterreeks alleen voor één jaar doorgerekend om de model rekentijden te beperken. Hierdoor was het niet mogelijk om de daadwerkelijke GLG's te vinden uit de PeatParcel2D runs. In plaats daarvan, is de GLG berekend als het gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden in het gemodelleerde jaar.

Nauwkeurigheid resultaten

De absolute hoeveelheid maaiveld daling die de kaarten laten zien zijn goede schattingen, maar de waarden moet vooral op lokaal niveau geen hoge nauwkeurigheid worden toegedicht. Als richtgetal wordt voorgesteld om er rekening mee te houden dat de berekende daling lokaal 50% lager of hoger kan zijn. Dit betreft vooralsnog een 'gevoelsmatige' expertschatting zonder analytische onderbouwing.

Een van de redenen is dat Atlantis landelijke kaarten gebruikt als input, zoals de BRO bodemkaart en de grondwaterstanden uit PeatParcel2D, wat elk ook een onzekerheidsmarge heeft. Voor een nauwkeurig regionaal of lokaal beeld zal veelal meer lokaal onderzoek nodig zijn.

Oxidatie beperking

In Atlantis wordt er alleen voor het diepte bereik tussen 30 cm boven GLG en maaiveld oxidatie processen gemodelleerd. Dit kan leiden tot bodemdalingsonderschattingen door oxidatie. Metingen tonen aan dat zuurstof namelijk zelfden dieper dan 70 cm onder maaiveld aangetroffen wordt als dominante oxidator (Boonman, et al. 2024).

3 Resultaten

Met de huidige slootpeilen voldoet 12% van het laagveengebied aan de milde grondwaterstandsdoelstelling bij een gemiddeld weerjaar. Bij de strenge doelstelling voldoet 2% van het laagveengebied. Een ruimtelijk beeld van de percelen die op basis van de huidige slootpeilen voldoen aan de strenge (Figuur 4) en milde doelstelling (Figuur 5) geven een eerste indruk van de grootte van de opgave om de doelstelling te halen in alle veenweide percelen. De percelen die voldoen aan de milde eis bevinden zich vooral in West Nederland.

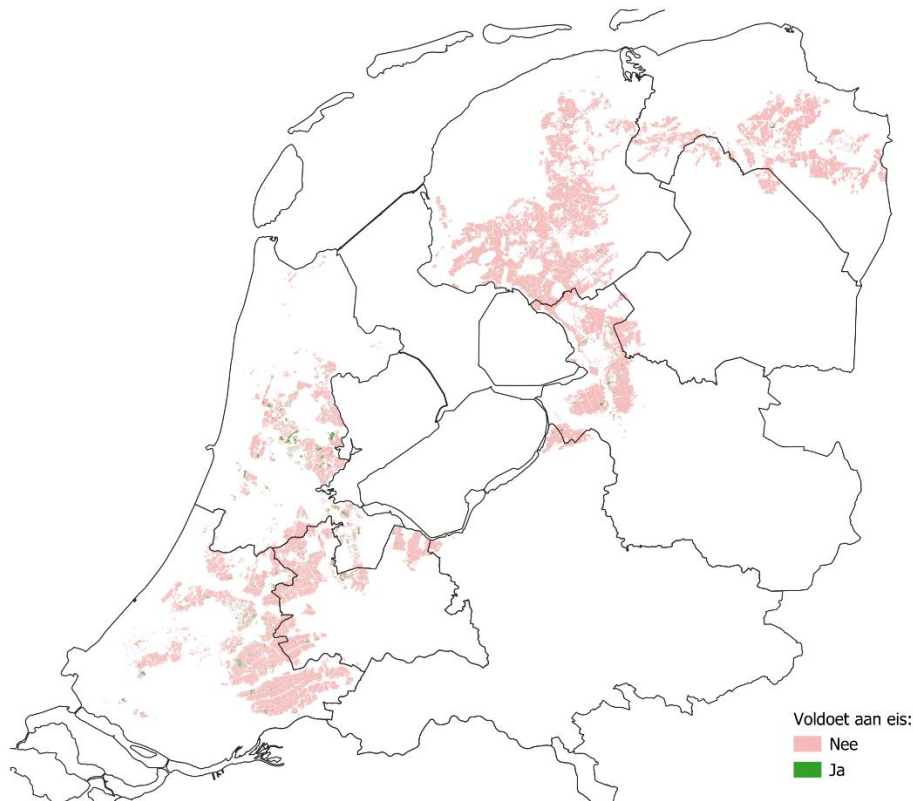
Tabel 3: Percentage van het laagveengebied wat voldoet aan de strenge en milde doelstelling bij verschillende slootpeilen.

Maximaal 31 achtereenvolgende dagen onder het minimumniveau (<i>strenge doelstelling</i>)			Maximaal 60 achtereenvolgende dagen onder het minimumniveau (<i>milde doelstelling</i>)		
% voldoet met huidige slootpeil	% voldoet met slootpeil vastgezet op 30 cm onder maaiveld	% voldoet met slootpeil vastgezet op 20 cm onder maaiveld	% voldoet met huidige slootpeil	% voldoet met slootpeil vastgezet op 30 cm onder maaiveld	% voldoet met slootpeil vastgezet op 20 cm onder maaiveld
2	15	36	12	22	53

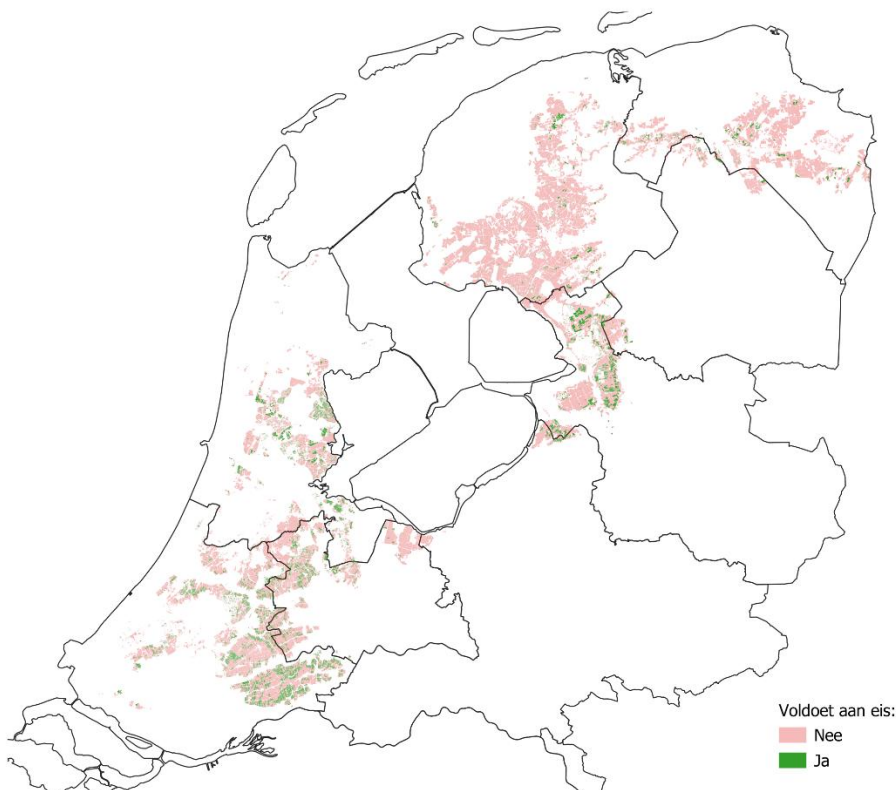
Met een verhoogd slootwaterpeil op 20 cm onder maaiveld en een milde toetsingsdoelstelling voldoet alsnog maar 53% van het laagveengebied aan de doelstelling. De meeste percelen die niet voldoen liggen in het noorden van het land, voornamelijk rondom Friesland en Groningen. Deze percelen zijn over het algemeen breed.

Figuur 6 toont de mate van overschrijding op basis van de huidige slootpeilen. Hieruit blijkt dat de gebieden die het meest gevoelig zijn voor het diep uitzakken van grondwaterstanden zich ook voornamelijk rondom Friesland en Groningen bevinden.

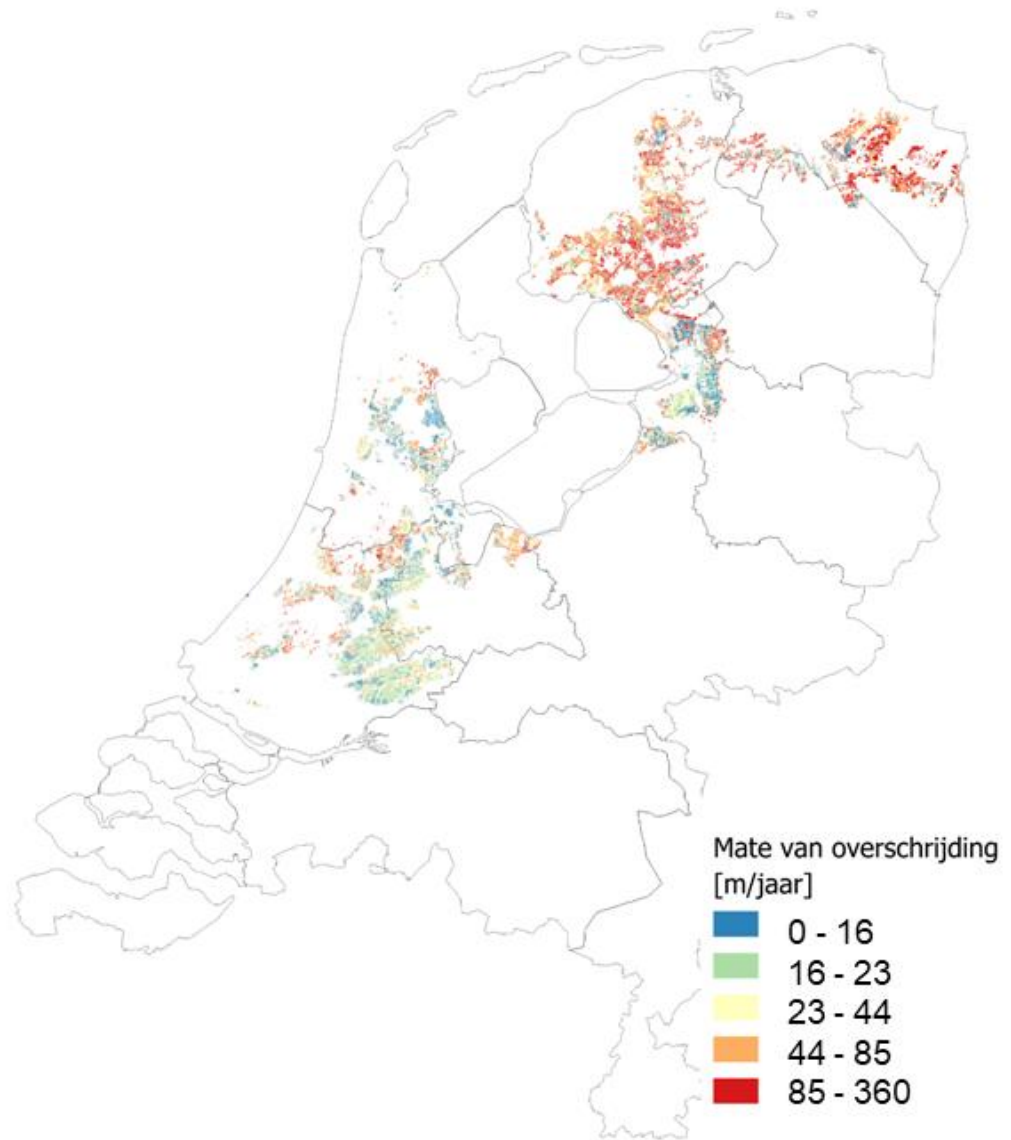
In Figuur 7 wordt de mogelijke reductie in CO₂ uitstoot weergegeven voor de drie verschillende peilscenario's. Figuur 8 toont vervolgens de bijbehorende verschillen in bodemdaling.



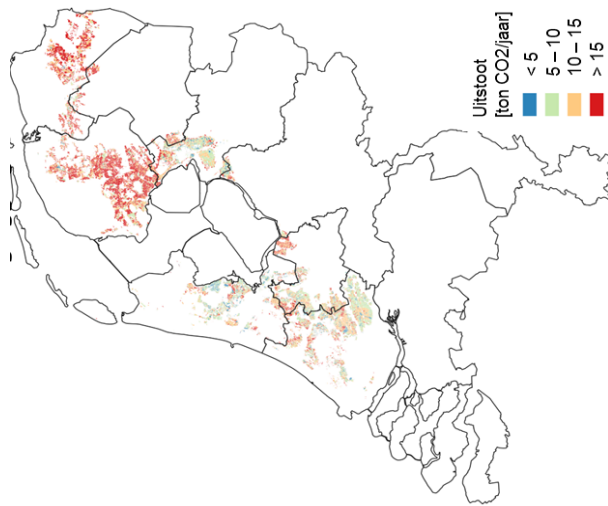
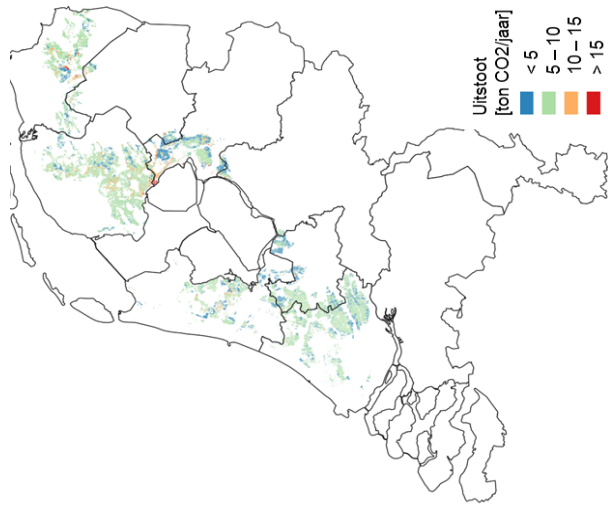
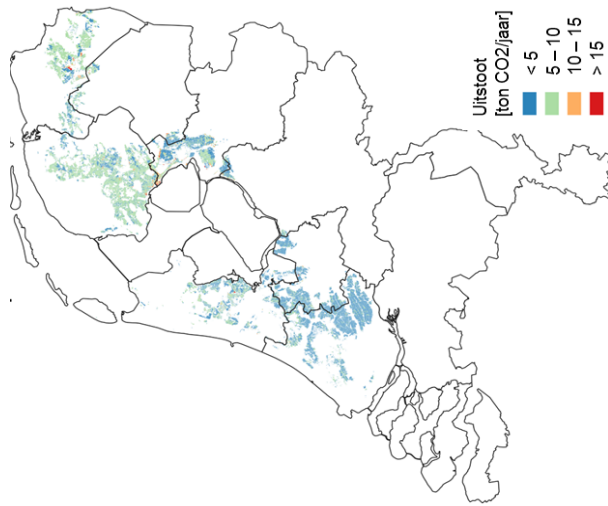
Figuur 4: Percelen die voldoen aan de **strengere** doelstelling waarbij de grondwaterstanden maximaal 30 dagen achtereenvolgend onder 40 cm vallen met **de huidige slootpeilen**.



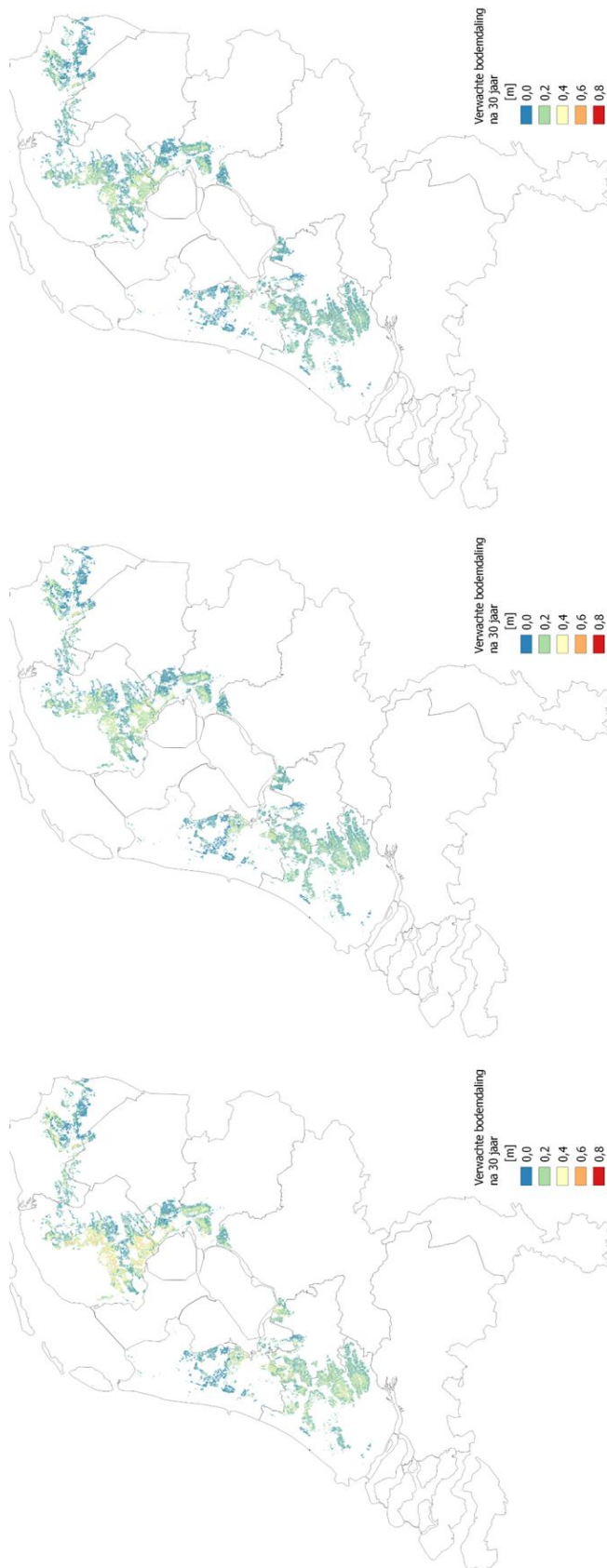
Figuur 5: Percelen die voldoen aan de **milde** doelstelling waarbij de grondwaterstanden maximaal 60 dagen achtereenvolgend onder 40 cm vallen met **de huidige slootpeilen**.



*Figuur 6: De mate waarmee de grondwaterstandsbe grenzing van 40 cm wordt overschreden per perceel over een jaar heen, op basis van **de huidige slootpeilen**.*



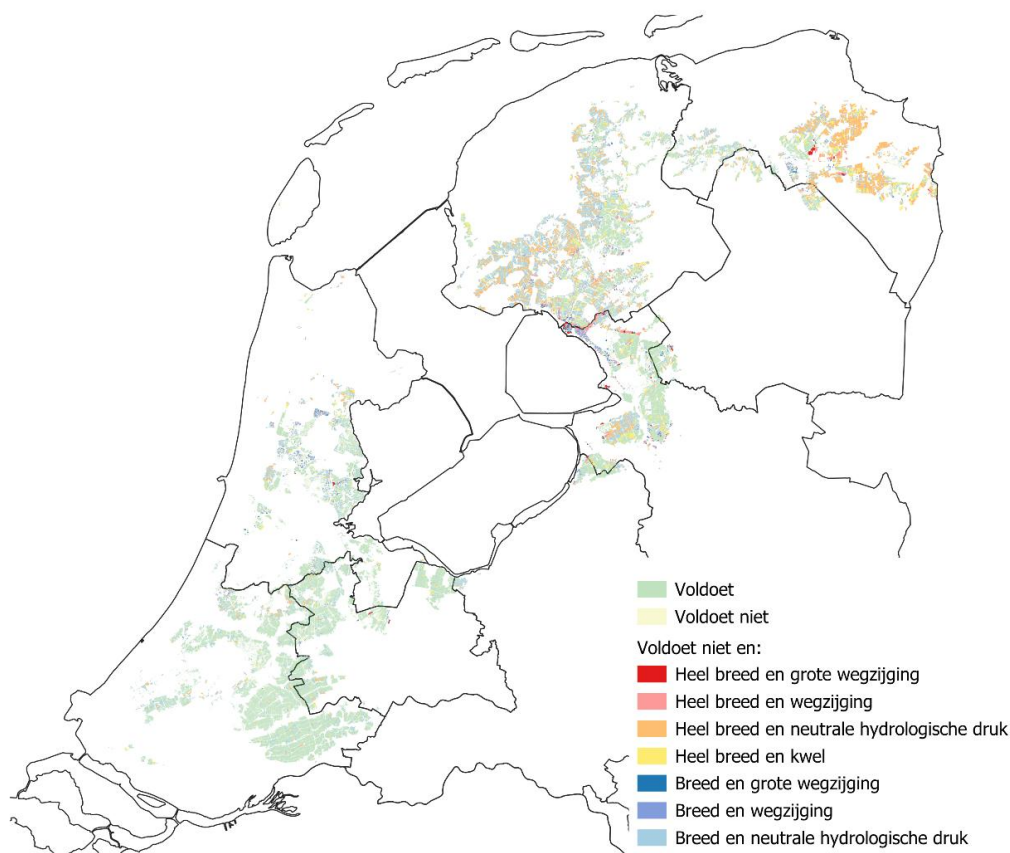
Figuur 7: CO₂ uitstoot per perceel in ton CO₂/jaar berekend met SOMERS. Van links naar rechts: uitstoot met huidige slootpeilen, uitstoot met vaste slootpeil op 30 cm onder maaiveld en uitstoot met vaste slootpeil op 20 cm onder maaiveld.



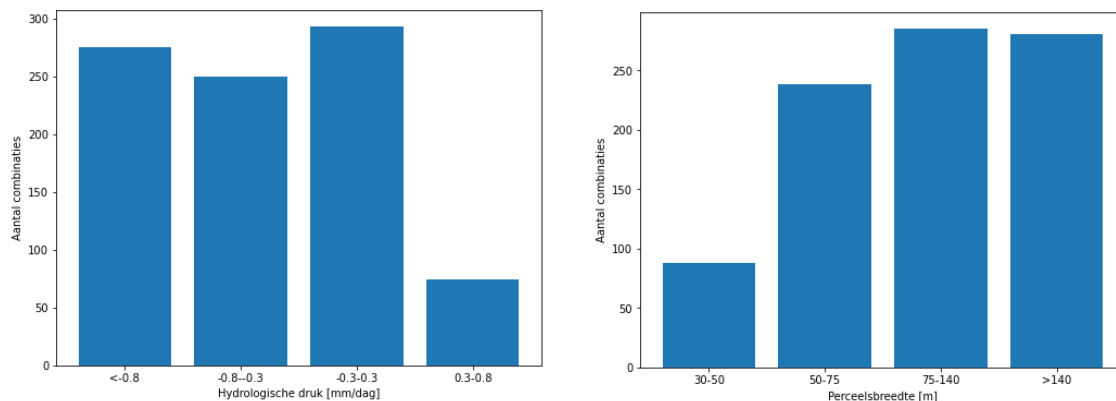
Figuur 8: Bodemdaling per cel van 100 x 100 m na 30 jaar in meter en berekend met Atlantis. Van links naar rechts: bodemdaling met huidige slootpeilen, bodemdaling met vast slootpeil op 30 cm onder maaiveld en bodemdaling met vast slootpeil op 20 cm onder maaiveld.

4 Discussie

Zoals aan het begin van het rapport beschreven, spelen de perceelbreedte en hydrologische druk een belangrijke rol in de grondwaterstandsdynamiek. Dit zijn ook perceelkarakteristieken die niet, of moeilijk veranderd kunnen worden (denk bijvoorbeeld aan het uitgraven van een nieuwe sloot). In Figuur 9 wordt een overzicht gegeven van de type percelen die niet voldoen de mildste grondwaterstandsdoelstelling (verhoogd slootwaterpeil op 20 cm onder maaiveld en een milde toetsingsdoelstelling). Hieruit is te zien dat veel van deze percelen brede percelen zijn (breder dan 75 m), relatief veel wegzijging hebben (meer dan 0.3 mm/dag) of een combinatie hebben van beide karakteristieken. Een verdeling van de perceelkarakteristieken voor de 47% die niet voldoet aan de doelstelling is te zien in de histogram in Figuur 10.



*Figuur 9: Perceelsbreedte en hydraulische druk karakteristieken van percelen die niet voldoen aan de **milde grondwaterstandsdoelstelling** bij een **vast slootpeil op 20 cm onder maaiveld**.*

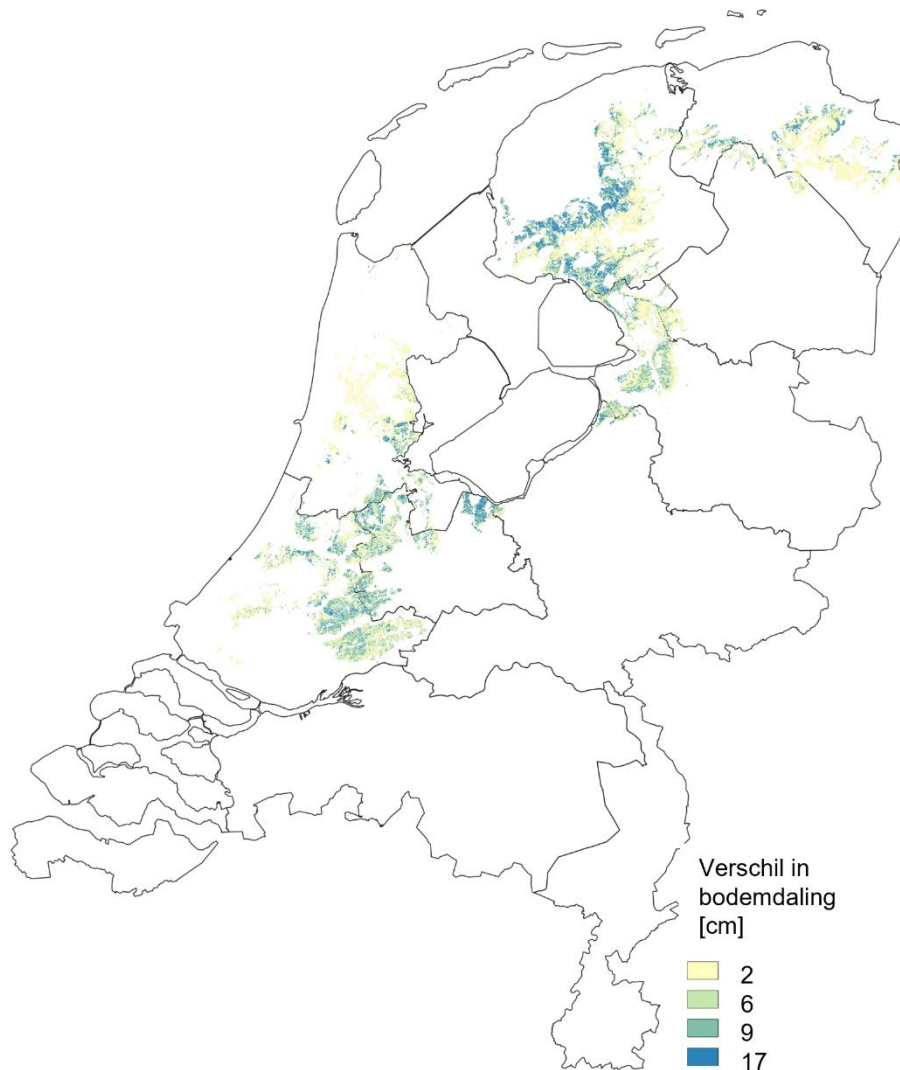


Figuur 10: Verdeling van de perceelskarakteristieken bij de percelen die niet voldoen aan de **milde grondwaterstanddoelstelling met een vast slootpeil op 20 cm onder maaiveld**. Links naar rechts: verdeling hydraulische druk, verdeling perceelsbreedte.

De WBS doelstelling van een grondwaterstand 40 cm onder maaiveld is bedacht om bodemdaling te minimaliseren en CO₂ uitstoot te reduceren. De resultaten suggereren echter dat het in beperkte mate haalbaar is om de voorgenomen grondwaterstand ophogingen tot 40 cm onder maaiveld te realiseren met (enkel) slootpeilverhogingen.

In Figuur 7 wordt de mogelijke reductie in CO₂ uitstoot weergegeven bij de drie verschillende peilscenario's. Uit deze figuur is op te maken dat een slootpeil verhoging tot 20 cm onder maaiveld tot aanzienlijke uitstoot reducties kan leiden. Met name in Friesland en Groningen, waar op dit moment vaak lage slootpeilen gehanteerd worden. Hier zou een dergelijke peilverhoging de CO₂ uitstoot per perceel per jaar met een aantal tonnen CO₂ kunnen verlagen. In West Nederland, waar de jaarlijkse uitstoot op basis van de huidige peilen over het algemeen wat lager is, leidt een peilverhoging tot een kleinere reductie in uitstoot.

In Figuur 8 kan de vermindering in bodemdaling in het laagveengebied worden gezien op basis van de drie peilscenario's. De mogelijke winst die behaald kan worden met het opzetten van de slootpeilen is vooral terug te vinden in gebieden met dikke veenlagen, zoals de Krimperenwaard en het westelijke gedeelte van Friesland. Gebieden met dunne veenlagen en/of een kleiige deklaag lijken, ongeacht het peilscenario, niet heel gevoelig te zijn voor bodemdaling. Dit is in Figuur 11 terug te zien waar de bodemdalingsverschillen tussen een situatie met de huidige peilen en vaste slootpeilen op 20 cm onder maaiveld worden getoond.



*Figuur 11: Verschil in bodemdaling tussen een scenario waar de **huidige slootpeilen** zijn aangehouden en een scenario met **vaste slootpeilen op 20 cm onder maaiveld**.*

In deze gebieden is het verhogen van de slootpeilen om bodemdaling tegen te gaan minder interessant. Dit zijn gebieden zoals Noord-Holland en het oostelijke deel van Friesland. Daarnaast wordt er, zoals in Hoofdstuk 2.3 beschreven, verwacht dat bodemdaling voornamelijk gevoelig is voor de mate van overschrijding en minder voor de duur van overschrijding. Zoals terug te zien is in Figuur 6 zijn gebieden rondom Friesland en Groningen kwetsbaar voor het diep uitzakken van grondwaterstanden.

Dit betekent dat hoewel de grondwaterdoelstelling bij een slootpeil verhoging tot 20 cm onder maaiveld niet gehaald wordt in ongeveer de helft van het laagveengebied, deze verhoging nog steeds een significante invloed heeft op de CO₂ uitstoot en bodemdaling.

5 Conclusies

In dit onderzoek is gekeken naar wat de ophoging van de grondwaterstanden tot 40 cm onder maaiveld aan kansen met zich meebrengt en hoe groot deze opgave is op basis van de huidige peilen. Dit is gedaan naar aanleiding van de WBS brief waar er voor een vernatting van het laagveengebied gepleit wordt om bodemdaling te minimaliseren en CO₂ uitstoot te reduceren.

Uit dit onderzoek blijkt dat het in beperkte mate haalbaar is om de voorgenomen grondwaterstand te realiseren met (enkel) slootpeilverhogingen. Wanneer er echter naar het effect van de peilverhoging op de daaropvolgende CO₂ uitstoot en bodemdaling wordt gekeken, kunnen beide gevolgen aanzienlijk worden beperkt. Het is daarom belangrijk om vast te stellen **waarom** de grondwaterstanden in het laagveengebied verhoogt moeten worden en **waarmee** de grootste effecten behaald kunnen worden:

- Om de **CO₂ uitstoot te verminderen** moet de focus liggen op het verhogen van de slootpeilen in percelen die momenteel hoge emissies hebben; percelen met lage slootpeilen en brede percelen.
- Om **bodemdaling te beperken** moet de nadruk worden gelegd op het verhogen van de slootpeilen in gebieden met dikke veenlagen, of waar de grens van 40 cm ver overschreden wordt.

Daarbij is het ook voorstelbaar dat bij bepaalde bodemsamenstellingen de grondwaterstandsdoelstelling ook niet gehaald hoeft te worden. Gebieden met dunne veenlagen waar er weinig bodemdaling optreedt zouden met betrekking tot het beperken van bodemdaling hun peilen niet hoeven verhogen. In plaats van het sturen op een bepaalde grondwaterstand, wordt er aanbevolen om te sturen op de te beperken proces.

6 Aanbevelingen voor vervolg onderzoek

In deze studie is niet onderzocht in hoeverre het benodigde water voor peilverhoging ook beschikbaar is. In een vervolgonderzoek is het wenselijk om dit beter in beeld te brengen. Hiermee kan de haalbaarheid worden onderzocht om CO₂ uitstoot en bodemdaling in de praktijk tegen te gaan bij het huidige landgebruik. Dit zal het beste in samenwerking met het Deltaprogramma Zoet Water gedaan kunnen worden, waarbij een waterbalans op kan worden gesteld voor verschillende slootpeilscenario's. Het is dan ook belangrijk om andere aspecten mee te nemen in de analyse zoals waterkwaliteit en verzilting. Daarnaast moet in deze analyse rekening worden gehouden met verschillende klimaatscenario's, aangezien deze studie enkel is uitgevoerd op basis van een gemiddeld weerjaar. Dit schetst een positiever beeld dan dat van een droog jaar, wat naar verwachting steeds vaker zal voorkomen.

Dit onderzoek heeft zich gericht op een landelijke schaal. In een vervolgonderzoek zou een lokale casus, waar op kleiner detailniveau gewerkt kan worden, een goede aanvulling zijn omdat meer specifieke bodemkaarten en GLG tijdreeksen gebruikt kunnen worden om lokaal de modelnauwkeurigheid te vergroten. Zo kan er voor gebieden die in deze studie niet voldeden aan de WBS doelstelling onderzocht worden of het mogelijk is de doelstelling te halen met andere maatregelen, zoals waterinfiltratie systemen of infiltratiegreppels.

Tot slot, kan een onderzoek naar de historische diepe grondwaterstanden nog bijdragen aan een beter beeld van de te verwachten bodemdaling. Hierin kan worden onderzocht hoever de grondwaterstanden maximaal uit mogen zakken om verdere compactie van onderliggende lagen te voorkomen. Wanneer grensspanningen van lagen in de ondergrond in kaart worden gebracht, kan het effect van een (tijdelijke) grondwateruitzakking ten tijde van een watertekort op de bodemdalingsprocessen beter worden ingeschat.

Referenties

Akker, J.J.H. van den, J. Beuving, R.F.A. Hendriks, R.J. Wolleswinkel (2007) Maaiveldaling, afbraak en CO₂-emissie van Nederlandse veenweidegebieden. In: Leidraad Bodembescherming, afl. 83, 1-30.

AHN. (2021). AHN4 Viewer. *AHN.nl*.

Basisregistratie Ondergrond (BRO). (2021). *Bodemkaart van Nederland [Dataset]*. Rijkswaterstaat. <https://www.basisregistratieondergrond.nl>

Boonman, J., Hefting, M. M., van Huissteden, C. J. A., van den Berg, M., van Huissteden, J., Erkens, G., Melman, R., & van der Velde, Y. (2022). *Cutting peatland CO₂ emissions with rewetting measures*, <https://doi.org/10.5194/bg-2021-276>.

Boonman, J., Harpenslager, S. F., van Dijk, G., Smolders, A. J., Hefting, M. M., van de Riet, B., & van der Velde, Y. (2024). *Redox potential is a robust indicator for decomposition processes in drained agricultural peat soils: A valuable tool in monitoring peatland wetting efforts*. *Geoderma*, 441, 116728.

Bootsma, H., Kooi, H., Erkens, G. (2020). *Atlantis, a tool for producing national predictive land subsidence maps of the Netherlands*. <https://doi.org/10.5194/piabs-382-415-2020>

Erkens, G., Kooi, H., Melman, R. (2021). *Actualisatie bodemdalingsvoorspellingskaarten*. Deltares. Document ID 11206724-002-BGS-0001

Erkens, G., Melman, R., Jansen, S., Boonman, J., Hefting, M., Keuskamp, J., Bootsma, H., Nougues, L., van den Berg, M., & van der Velde, Y. (2022). *SOMERS: Subsurface Organic Matter Emission Registration System*. Deltares. <https://www.nobveenweiden.nl/wp-content/uploads/2022/12/SOMERS-1.0-rapport-2022-v4.0.pdf>

Hunink, J., van Walsum, P., Vermeulen, P., Pouwels, J., Bootsma, H., Janssen, G., Swierstra, W., Prinsen, G., Meshgi, A., Veldhuizen, A., de Lange, W., Hummelman, J., Bos – Burgering, L. & Kroon, T., (2020). *Veranderingsrapportage LHM 4.0*. Deltares rapport nummer 11203718-000, 143 pp.

Janssen, G., van Walsum, P., America, I., Pouwels, J., Hunink, J., Vermeulen, P., Meshgi, A., Prinsen, Mulder, N., Visser, M. & Kroon, T. (2020). *Veranderingsrapportage LHM 4.1*. Deltares rapport.

Langevin, C. D., Hughes, J. D., Banta, E. R., Niswonger, R. G., Panday, S., & Provost, A. M. (2017). *Documentation for the MODFLOW 6 groundwater flow model* (No. 6-A55). US Geological Survey.

Melman, R., Jansen, S., Nougues, L., Reusen, J., Erkens, G. (2024). *NOBV Rapportage 2024: SOMERS 2.0 – Technische beschrijving*. Deltares.

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2022). *Kamerbrief over rol Water en Bodem bij ruimtelijke ordening*. <https://open.overheid.nl/repository/ronl-c35e65eba0903d738ae26dab222462337b0d8de7/1/pdf/water-en-bodem-sturend.pdf>

PDOK. (2022-26-01). *Agrarisch Areaal Nederland (AAN)*. PDOK.nl. <https://www.pdok.nl/geo-services/-/article/agrarisch-areaal-nederland-aan->

Stafleu, J., Hummelman, J., de Bruijn, R., Koster, K., Stam, J., Maljers, D., & Schokker, J. (2020). *Totstandkomingsrapport GeoTOP - met nieuwe methodiek lagenmodellering*. Utrecht: TNO.

Vries, F. de, Groot, W. de, Hoogland, T., & Denneboom, J. (2003). *Toelichting bij inhoud, actualiteit en methodiek en korte beschrijving van additionele informatie*.

A SOMERS model validatie en kalibratie

Bij het ontwikkelen van SOMERS, zijn in totaal 32 freatische peilbuizen geselecteerd aan de hand van een aantal criteria om de geohydrologische parameters te kalibreren. Deze zijn verspreid over 20 percelen in het laagveengebied. In Figuur A.1 zijn de locaties van de peilbuizen te zien. De kalibratieprocedure heeft als doel om op basis van gemeten grondwaterstanden op zo veel mogelijk locaties in veenweidepercelen een set van representatieve geohydrologische parametercombinaties te vinden.

Daarnaast zijn de door SOMERS gemodelleerde uitstootwaarden vergeleken met emissie-metingen van Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV) locaties. Voor de validatie van de AAP-module zijn er in totaal 11 meetlocaties geselecteerd. Dit zijn allemaal meetlocaties met agrarisch grasland en waar al relatief lang wordt gemeten met kamermeetsystemen. Meer informatie over het kalibratie- en validatieprocedure van SOMERS kan gevonden worden in de technische beschrijving van SOMERS 2.0 (Melman et al., 2024).



Figuur A.1: Kalibratielocaties voor geohydrologische parameters.

B Atlantis model kalibratie

Het oxidatieproces in Atlantis is gebaseerd op langjarige waarnemingen aan maaiveldddaling door veenoxidatie op de locatie van het Veenweide Innovatiecentrum in Zegveld en een aantal andere locaties in Nederland (Akker et al., 2007). Op basis van deze metingen zijn door van den Akker lineaire relaties opgesteld tussen de maaivelddalingsnelheid en de GLG. Dat is gedaan voor veen zonder kleidek, veen met een kleidek, en voor veen met kleidek met een toepassing van een correctie voor kleidekdikte (Erkens et al. 2021).

C Atlantis compactie parametrisatie

Het abc-isotachemodel wordt in Atlantis gebruikt om de compactie te modelleren. De samendrukkingseigenschappen van het bodemmateriaal wordt in dit model vastgelegd met drie samendrukkingsparameters a,b en c en een overconsolidatie ratio (OCR). De gebruikte parameters, per lithoklasse, zijn terug te vinden in Tabel A-1.

Tabel A-1: Gebruikte samendrukkingsparameters gebruikt in Atlantis.

Laag	Lithologie	Initiële volumieke gewicht verzadigd / onverzadigd [kN/m ³]	ocr	a	b
			[-]	[-]	[-]
holoceen	zand	19,0 / 17,0	1.25	0.0001	0.0023
holoceen	veen	10,5 / 3,5	2.3	0.03	0.3
holoceen	klei	17,0 / 16,0	1.34	0.005	0.065
holoceen	leem	19,0 / 17,5	1.165	0.002	0.03
holoceen	schelpen	19,0 / 17,0	1.25	0.0001	0.0023
pleistoceen	zand	19,0 / 17,0	1.25	0.0001	0.0023
pleistoceen	veen	10,5 / 3,5	2.46	0.03	0.3
pleistoceen	klei	17,0 / 16,0	1.56	0.005	0.065
pleistoceen	leem	19,0 / 17,5	1.25	0.002	0.03
pleistoceen	schelpen	19,0 / 17,0	1.25	0.0001	0.0023

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl