



Ministerie van Landbouw, Visserij,
Voedselzekerheid en Natuur



stowa

EFFECTEN VAN VERNATTING OP DE WATERKWALITEIT IN VEENWEIDEN



RAPPORT

2026
28

EFFECTEN VAN VERNATTING OP DE
WATERKWALITEIT IN VEENWEIDEN

RAPPORT

2026

28

ISBN 978.94.6479.119.8



Amersfoort, juli 2026

Uitgave	Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer STOWA Postbus 2180 3800 CD Amersfoort
Auteurs	Gijs van Dijk (B-WARE) Sarah Faye Harpenslager (B-WARE) Fons Smolders (B-WARE) Debby van Rotterdam (NMI) Laura Moria (NMI) Sebastiaan Schep (Witteveen + Bos)
Begeleidingscommissie	Pui Mee Chan (STOWA) Marleen van Dusseldorp (Waterschap Amstel, Gooi en Vecht) Ronald Gylstra (Waterschap Rivierenland) Tim van der Kuijl (Ministerie van LVVN) Sebastiaan van den Oever (STOWA) Wouter Patberg (Wetterskip Fryslân) Michelle Talsma (STOWA) Bernardien Tiehatten (STOWA) Wim Twisk (Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard)
Foto omslag	Gijs van Dijk
Vormgeving	Buro Vormvast Uitgeest
STOWA	STOWA 2026-28
ISBN	978.94.6479.119.8
	Opdrachtgevers: Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur en STOWA

Disclaimer

De inhoud van deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden in de publicatie, of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud ervan.

Copyright

STOWA spant zich in de rechthebbenden van in de uitgave gebruikte afbeeldingen te respecteren conform het auteursrecht. Indien u desondanks van mening bent dat uw rechten in het geding zijn, dan verzoeken wij u contact met ons op te nemen.

TEN GELEIDE

EFFECTEN VAN VERNATTING OP DE WATERKWALITEIT IN BEELD

In veenweidegebieden worden vernattingsmaatregelen genomen om bodemdaling en broeikasgasemissies tegen te gaan. Het is belangrijk om te begrijpen wat deze maatregelen betekenen voor de watervraag én voor de waterkwaliteit. Dit rapport brengt de beschikbare kennis over de effecten van vernatten op de waterkwaliteit samen en laat zien welke processen, risico's en kansen daarbij spelen. Het rapport laat zien dat vernatting zowel kansen als risico's met zich meebrengt en dat gebiedskennis nodig is om negatieve effecten zoveel mogelijk te beperken.

In het Nederlandse veenweidegebied komen grote opgaven samen: het remmen van bodemdaling, het verminderen van broeikasgasemissies en het verbeteren van de waterkwaliteit. Vernatting is daarbij een belangrijke maatregel. De effecten van vernatting op de waterkwaliteit hangen sterk af van de uitgangssituatie, het watersysteem, de bodem en het beheer. Daarom heeft STOWA dit kennisoverzicht laten opstellen.

Het rapport geeft een overzicht van de beschikbare kennis over verschillende vormen van vernatting. Daarbij is gekeken naar effecten op hydrologische, fysische en biogeochemische processen in percelen, oevers, sloten en waterbodems, en naar de gevolgen daarvan voor de waterkwaliteit. De effecten van de vernattingsmaatregelen op bodemdaling en broeikasgasemissies vallen buiten de scope van dit rapport.

Het rapport laat zien dat vernatting zowel positieve als negatieve effecten kan hebben. Hogere grondwaterstanden remmen de aerobe afbraak van veen en kunnen op termijn bijdragen aan minder uitspoeling van nitraat en sulfaat. Dat kan gunstig zijn voor de waterkwaliteit. Tegelijkertijd kunnen op korte termijn risico's ontstaan, zoals extra mobilisatie en uit- en afspoeling van nutriënten, oevererosie en slibaanwas in de watergang. Ook de kwaliteit en hoeveelheid van inlaatwater om tot vernatting te komen, kan een rol spelen.

Een belangrijke conclusie is dat vernatting vraagt om een goede analyse van de uitgangssituatie en om aangepast beheer van perceelranden, oevers, sloten en waterbodems. Een goed ontwikkelde oevervegetatie, zorgvuldig peilbeheer, geleidelijke peilopzet bij peilverhoging, het voorkomen van ongewenste inundatie en het beperken van onnodige wateraanvoer of rondpompen zijn voorbeelden van maatregelen om negatieve effecten zoveel mogelijk te beperken. Tegelijkertijd blijkt dat de effecten van vernatting én mitigerende maatregelen context afhankelijk zijn. Daarmee biedt dit rapport waterbeheerders handvatten om de effecten van vernatting op de waterkwaliteit mee te nemen in gebiedsprocessen en maatregelafwegingen.

Het rapport benoemt ook belangrijke kennislacunes. Voor verdere onderbouwing van de effecten van vernatting is meer kennis nodig over bodemprocessen, water- en stofstromen, bodemstructuur, oevervegetatie en slibaanwas. Dit vraagt om aanvullend onderzoek en monitoring.

Het rapport is gemaakt in opdracht van STOWA, als onderdeel van het STOWA-programma Veen en Water, en is mede gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur. Het programma Veen en Water is opgezet om de 'veenwaterschappen' te ondersteunen bij de veranderingen die nodig zijn om het waterbeheer in veenweidegebieden toekomstbestendig vorm te geven. Naast inhoudelijke vraagstukken over het waterbeheer gaat het programma ook in op vragen over de taken en bevoegdheden van waterschappen in relatie tot bodemdaling en het beperken van broeikasgasemissies. Dit rapport geeft invulling aan de kennisvraag wat de gevolgen zijn van grootschalige toepassing van maatregelen in veengebieden voor de waterkwaliteit.

STOWA IN HET KORT

KENNIS OVER WATER, VOOR NU ÉN LATER

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer – kortweg STOWA – is het kennisplatform van regionale waterbeheerders in Nederland. Vanuit Amersfoort werken we aan het ontwikkelen, verzamelen, verspreiden en implementeren van toegepaste kennis. Die kennis hebben waterbeheerders nodig om de opgaven waar zij voor staan, goed uit te kunnen voeren. Of het nu gaat om klimaatadaptatie (zowel stedelijk als landelijk gebied), een goede waterkwaliteit, duurzame en effectieve afvalwaterzuivering, veilige dijken en kaden, energietransitie of circulaire economie.

Het soort kennis dat wij ontwikkelen, is breed: technisch en natuurwetenschappelijk, maar soms ook bestuurlijk en/of juridisch. Om te zorgen dat die kennis kan worden toegepast in de praktijk, presenteren we onze onderzoeksresultaten indien mogelijk in de vorm van rapporten, praktische handreikingen, tools en instrumenten. Ook faciliteren we met het oog op kennisdoorwerking leergemeenschappen en organiseren we symposia, werksessies en webinars.

Om zo veel mogelijk impact te creëren met ons werk, besteedt STOWA nadrukkelijk aandacht aan de organisatorische en menselijke factoren die de impact van ons werk kunnen beïnvloeden. Want verandering gaat via de inhoud (kennis), maar wordt gedragen door mensen. Bovendien kijken we breder dan het eigen netwerk bij het zoeken naar oplossingen. We richten onze blik daarvoor tevens op andere sectoren, gaan op zoek naar andere invalshoeken en leren van het buitenland. Via onze eigen en andermans media geven we uitleg over de achtergronden bij ons werk.

STOWA werkt vraaggestuurd en agendeert ook. We inventariseren welke kennisvragen waterbeheerders hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers: universiteiten, kennisinstituten, kennisbedrijven of adviesbureaus. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met de projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de projectresultaten de deelnemers praktische handelingsperspectieven bieden. Ieder project wordt om die reden begeleid door een commissie waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden vastgesteld door programmacommissies, waar waterbeheerders zitting in hebben.

STOWA is onafhankelijk, onpartijdig en transparant. De gebruikers van onze kennis moeten erop kunnen vertrouwen dat de inhoud van onze rapporten objectief en representatief is. Alleen zo kan onze kennis worden ingezet voor beter waterbeheer en innovaties die antwoord geven op de uitdagingen van vandaag en morgen. Het is aan waterbeheerders te bepalen hoe ze de kennis van STOWA in de praktijk gebruiken.

STOWA is een stichting die de richtlijnen volgt voor organisaties zonder winstoogmerk (RJ-640). In ons jaarverslag is daarom naast een cijfermatige jaarrekening een directieverslag opgenomen over de stichting en haar activiteiten. Het budget bedraagt jaarlijks ongeveer 20 miljoen euro. Onze deelnemers leggen gezamenlijk ieder jaar ongeveer 10 miljoen in als structurele bijdrage. Daarnaast ontvangen we jaarlijks ongeveer 10 miljoen euro in de vorm van bijdragen aan afzonderlijke projecten.

EFFECTEN VAN VERNATting OP DE WATERKWALITEIT IN VEENWEIDEN

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doelstellingen	2
1.3	Afbakening	2
1.4	Leeswijzer	3
2	KENNISOVERZICHT EFFECTEN VERNATting VEENWEIDE OP HOOFDLIJNEN	4
2.1	Verschillende vormen van vernatten	4
2.1.1	Uitgangssituatie	5
2.1.2	Vernattingsscenario's	6
2.2	Effecten van vernatting op hydrologische processen	14
2.2.1	Effectinschatting van vernattingsscenario's op hydrologische processen	23
2.3	Effecten van vernatting op fysische processen	26
2.3.1	Effectinschatting van vernattingsscenario's op fysische processen	31
2.4	Effecten van vernatting op biogeochemische processen	34
2.4.1	Effectinschatting van vernattingsscenario's op biogeochemische processen	40
2.5	Effecten van omgevingscondities	43
2.5.1	Wat is het effect van de periode van vernatting	43
2.5.2	Systeemeigenschappen landschap	44
3	SYNTHESE	48
3.1	Effecten van vernattingsmaatregelen op de waterkwaliteit in het veenweidegebied	48
3.2	Mitigerende maatregelen	57
4	KENNISLACUNES & AANBEVELINGEN	60
5	LITERATUUR	65



1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING

Het veenweidelandschap wordt gekenmerkt door de combinatie van veenweidepercelen en sloten. Het dominante landgebruik op de veenweidepercelen is beweiding en grasproductie. Door al zijn sloten, greppels en petgaten vormt het oppervlaktewatersysteem een belangrijk onderdeel van het veenweide-landschap. Dit oppervlaktewater wordt over het algemeen gekenmerkt door een matige tot slechte waterkwaliteit. Met het oog op de kaderrichtlijn water (KRW) wordt door de waterschappen hard gewerkt om de waterkwaliteit in het veenweidegebied te verbeteren.

Naast de problemen met de waterkwaliteit spelen in het veenweidelandschap nog meer grote thema's; denk o.a. aan de biodiversiteitscrisis, klimaatverandering, bodemdaling, droogte en verzilting. Een groot deel van deze problemen wordt veroorzaakt door de ontwatering van veenweidepercelen, waardoor veenafbraak, bodemdaling en broeikasgasemissies gestimuleerd worden. Er lopen dan ook verschillende beleid- en onderzoeksporen die zich richten op een duurzame en toekomstbestendige inrichting, beheer en gebruik van het veenweidegebied.

Om deze broeikasgasemissies en bodemdaling te remmen en in de toekomst zelfs te stoppen, is het belangrijk om de huidige ontwatering te verminderen of het gebied zelfs actief te vernatten. Ook voor natuurontwikkeling (moerasnatuur, natte natuur) en weidevogelbeheer zijn hoge grondwaterstanden en soms zelfs inundatie nodig. Hiervoor zal het Nederlandse veenweidegebied anders beheerd en mogelijk anders ingericht moeten worden.

Er wordt de afgelopen jaren veel (praktijk-) onderzoek verricht aan verschillende vormen van vernatting en de effecten hiervan op bodemdaling, bodemprocessen en broeikasgasemissies. Vernatten heeft als doel het uitzakken van de grondwaterstand in de veenweidepercelen in de zomerperiode te beperken. De processen die na vernatting optreden in de terrestrische en aquatische onderdelen van het veenweidegebied zijn complex en sterk aan elkaar gekoppeld. De interacties tussen het terrestrische (de veenweidepercelen) en het aquatische (de sloot) worden niet altijd in studies meegenomen. Het is echter ook niet zo dat hier nog helemaal geen kennis over beschikbaar is. Zo zijn er al enkele studies verricht en wordt hier ook aandacht aan besteed in landelijke onderzoeksprogramma's zoals het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV) en verschillende Veenweide Innovatie Programma (VIP-NL) thema's, waaronder Veenweidesloot van de Toekomst (VeeST). Ook zijn er vanuit enkele waterschappen al kennismontages samengesteld om inzicht te krijgen in de effecten van vernatting (De Jong et al., 2024; Van Dusseldorp et al. 2025). Ondanks dat er veel kennis beschikbaar is, komen de onderzoeken aan beide onderdelen van het landschap echter vaak nog te weinig samen om de potentiële effecten van vernatting in het veenweidegebied op de waterkwaliteit in beeld te brengen.

1.2 DOELSTELLINGEN

Naar aanleiding van bovenstaande heeft STOWA gevraagd om een kort en bondig kennisoverzicht op te stellen van de effecten van vernattingsmaatregelen op de (ecologische) waterkwaliteit in het Nederlandse veenweidelandschap. De doelen van dit project zijn tweeledig:

1. het opstellen van een overzichtelijk **kennisoverzicht**;
2. het in beeld brengen van de belangrijkste **kennislacunes**.

Het huidige document geeft een kennisoverzicht van de effecten van vernatting en de belangrijkste kennislacunes. Dit betreft dus een overzicht van bestaande kennis en geen nieuw (literatuur)onderzoek of data-analyse. Het document betreft een kennismontage door experts uit het vakgebied (van met name parate kennis).

Om tot dit kennisoverzicht te komen zijn er drie onderzoeksvragen opgesteld:

1. Wat is het effect van vernatting op fysische en chemische bodemprocessen in de percelen en oevers, en het indirecte effect op de samenstelling van de waterbodem en het oppervlaktewater?
2. Welke omgevingscondities beïnvloeden de biogeochemische en fysische effecten van vernatting (met consequenties voor het oppervlaktewater)?
3. Hoe kunnen de door vernatting beïnvloede processen de chemische en ecologische oppervlaktewaterkwaliteit beïnvloeden?

1.3 AFBAKENING

Binnen dit kennisoverzicht werd de volgende afbakening gehanteerd:

- De uitgangssituatie betreft het huidige Nederlandse veenweidelandschap met over het algemeen een matige tot slechte oppervlaktewaterkwaliteit;
- Er is met name gekeken naar de effecten van vernatting op de waterkwaliteit in het Nederlandse veenweidegebied met een agrarische of natuurlijke graslanddoelstelling. Maar ook nattere (toekomst-) scenario's zoals natte natuur (vochtig hooiland, nat schraalland, moeras) en natte teelten (paludicultuur) worden benoemd en als scenario meegenomen;
- Het gaat in dit document hoofdzakelijk om de effecten van vernatting die consequenties hebben voor de waterkwaliteit op korte termijn (<5 jaar). Mogelijke effecten op de lange termijn (decennia) worden slechts hier en daar aangestipt;
- Om beschikbare kennis kort en bondig samen te vatten zijn processen en effecten in dit kennisoverzicht in generieke zin beschreven. Het is van belang om in het achterhoofd te houden dat deze processen en effecten altijd gebied- en situatieafhankelijk zijn. De belangrijkste gebied- en situationele effecten worden benoemd;
- In dit document worden met name de effecten van vernatting op de abiotische toestand (biogeochemisch, fysisch en hydrologisch) beschreven en (waar mogelijk) ook effecten op de biotische (ecologische) toestand van het oppervlaktewater.
- Dit document gaat niet in op (1) de directe effecten van vernatting op de veenweidepercelen zelf (denk aan grondwaterstand, beheer en gebruik, biodiversiteit, gewasopbrengst, etc.); (2) de effecten van vernatting op bodemdaling en broeikasgasemissies vanuit de percelen en het oppervlaktewater.

1.4 LEESWIJZER

Dit document is naast de inleiding opgebouwd uit drie inhoudelijke hoofdstukken.

In hoofdstuk 2 worden de verschillende effecten en aspecten van vernatting van het veenweidelandschap en de consequenties voor het oppervlaktewater behandeld. Dit hoofdstuk is dan ook de inhoudelijke kern van dit kennisoverzicht. Omdat de effecten van vernatting kunnen verschillen per uitgangssituatie en per wijze van toepassing van vernatting begint het hoofdstuk met de beschrijving van een uitgangssituatie en een aantal vormen van vernatting in verschillende scenario's. Vervolgens is hoofdstuk 2 zo opgebouwd dat de lezer in een aantal paragrafen meegenomen wordt in de effecten van vernatting op verschillende processen (hydrologische, fysische en biogeochemische processen) (*onderzoeksvraag 1*). Elke paragraaf bevat vervolgens een kader waarin de effecten op deze processen kort en bondig worden samengevat en de nog aanwezige kennislacunes worden benoemd. Vervolgens worden deze paragrafen afgesloten met een effectinschatting van vernatting op belangrijke parameters (in tabelvorm) aan de hand van de verschillende scenario's. In de laatste paragraaf van hoofdstuk 2 wordt de invloed van omgevingsfactoren op de effecten van vernatting gepresenteerd (*onderzoeksvraag 2*).

In hoofdstuk 3 wordt een synthese gepresenteerd van de effecten van vernatting op de oppervlaktewaterkwaliteit op basis van alle in hoofdstuk 2 gepresenteerde effecten van verschillende processen (*onderzoeksvraag 3*). Deze synthese bevat wederom een tabel met effectinschatting waarin de effecten van vernatting op de waterkwaliteit op een iets hoger abstractieniveau worden gepresenteerd door middel van een netto effect inschatting aan de hand van de meest belangrijke processen.

In hoofdstuk 4 worden de meest belangrijke kennislacunes en hieruit voortkomende aanbevelingen beschreven.

Het kennisdocument wordt vervolgens afgesloten met een overzicht van de geraadpleegde literatuur in hoofdstuk 5.

2

KENNISOVERZICHT EFFECTEN VERNATTING VEENWEIDE OP HOOFDLIJNEN

Dit hoofdstuk behandelt de generieke effecten van vernatting op de waterkwaliteit aan de hand van belangrijke processen in het veenweidelandschap en is hiermee dan ook de inhoudelijke kern van dit kennisoverzicht. Als eerste worden verschillende vormen van vernatting besproken en vergeleken met het uitgangsscenario (paragraaf 2.1). Vervolgens worden in algemene zin de effecten van vernatting op de **hydrologische processen** (paragraaf 2.2) besproken, gevolgd door de effecten van vernatting op **fysische processen** (paragraaf 2.3) en als laatste de effecten van vernatting op **biogeochemische processen** (paragraaf 2.4) in de bodem en in slootbodem. De paragrafen 2.2 t/m 2.4 bevatten een tekstkader met een opsomming van de belangrijkste effecten en kennislacunes en worden afgesloten met een tabel met inschatting van de verwachte effecten van vernatting op de belangrijkste processen bij verschillende vernattingsscenario's. Tenslotte worden in paragraaf 2.5 de effecten van **omgevingsfactoren** op de relevante hydrologische, fysische en biogeochemische processen behandeld.

2.1 VERSCHILLENDE VORMEN VAN VERNATTEN

Vernatting van het veenweidelandschap is een voorbeeld van een grootschalige verandering in het waterbeheer. Om inzicht te krijgen in de effecten van vernatting op de oppervlaktewaterkwaliteit moeten eerst de definitie van vernatting en de afbakening van **verschillende vormen van vernatting** helder zijn. Elke vorm van vernatting zal zijn eigen specifieke effecten op de oppervlaktewaterkwaliteit hebben.

Niet alle vormen van vernatting kunnen in deze rapportage opgenomen worden. Daarom is ervoor gekozen om naast een uitgangssituatie (scenario 0) een drietal hoofdscenario's op te nemen van veel voorkomende vormen van vernatting in het Nederlandse veenweidegebied. Binnen deze hoofdscenario's worden later in deze paragraaf verschillende sub-scenario's benoemd (wederom niet uitputtend).

0. Uitgangssituatie

1. **Vernatting door (jaarrond) slootpeilverhoging tot onder maaiveld** (tot op verschillende niveaus als sub-scenario's)
2. **Vernatting door slootpeilverhoging tot onder maaiveld met actieve maatregelen t.b.v. verhoging grondwater in percelen** (met hierin verschillende maatregelen als sub-scenario's)
3. **Vernatting met (kans op) inundatie van percelen** (met hierin verschillende vormen van beheer als sub-scenario's)

Foto 1 Veenweidelandschap nabij Wormer (Foto: T. Kisjes).



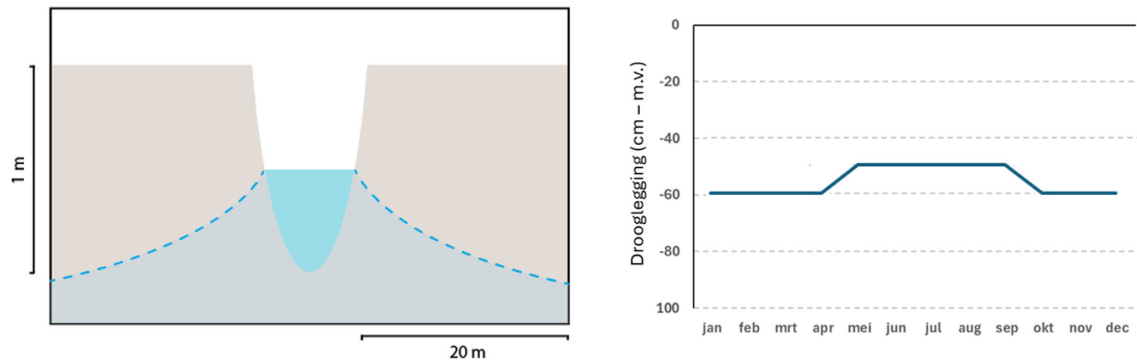
2.1.1 UITGANGSSITUATIE

Om inzicht te verschaffen in de complexiteit van de effecten van verschillende vormen van vernatting is er in deze studie uitgegaan van een gesimplificeerde uitgangssituatie voor een generiek Nederlands veenweidelandschap. Deze uitgangssituatie wordt hieronder gedefinieerd.

SCENARIO 0. UITGANGSSITUATIE

Voor de uitgangssituatie is uitgegaan van een veenweidelandschap met een veenbodem (tot tenminste 1,2 m moerig materiaal of veen (definitie bodemkaart)) en daaronder zand of klei, waarbij de veenlaag soms ook lagen met bijmenging van andere bodemtypen kan bevatten (zoals klei op veen of doorsnijding met een zandlaag). De percelen in deze uitgangssituatie zijn ongeveer 40 m breed en sloten hebben een slootdiepte van ongeveer 1,5 meter (water + slib). In de sloten wordt een waterpeil gehanteerd met een veel voorkomende drooglegging van 60 cm beneden maaiveld in het winterhalfjaar en 50 cm beneden maaiveld in het zomerhalfjaar. De toegestane peilfluctuaties is erg klein en bedraagt maximaal ± 2 cm. In Figuur 1 is de uitgangssituatie schematisch weergegeven met behulp van een dwarsdoorsnede. Er is hier uitgegaan van een veenbodem waarin de slootbodem bestaat uit bagger op een veenbodem. Naast het slootwaterpeil is met een stippellijn ook de grondwaterstand in de naastgelegen percelen weergegeven. In de schematische dwarsdoorsnede is de situatie weergegeven voor de droogste periode in het jaar (dit is in de praktijk meestal laat in het zomerhalfjaar) uitgaande van een periode met een neerslagtekort (denk aan droge jaren als 2003, 2018 en 2022). Het gevolg is een holle grondwaterstand op de percelen, waarbij de grondwaterstand op 20 m afstand vanaf de sloot (midden van het perceel) tot ongeveer 1 meter onder maaiveld weg kan zakken. In het winterhalfjaar met een neerslagoverschot zal de grondwaterstand in de percelen hoger zijn en zal er een bolle grondwaterstand aanwezig zijn.

Figuur 1 Links een schematische weergave van het uitgangsscenario met het slootwaterpeil en in lichtblauw gestippelde lijn de grondwaterstand op de percelen tijdens het zomerseizoen (in paragraaf 2.2 wordt ook een voorbeeld van de grondwaterstand tijdens het winterseizoen weergegeven). Rechts een versimpelde weergave van de drooglegging in de sloot t.o.v. maaiveld door het jaar heen (maanden op de x-as).



Gebruiksdoeleinde: Agrarisch gebruik veenweidegrasland

Drooglegging zomerhalfjaar: 50 cm beneden maaiveld

Drooglegging winterhalfjaar: 60 cm beneden maaiveld

Slootwaterpeilmarge: ± 2 cm

Het bovenste deel van de veenlaag is veraard door eeuwenlange drainage (vaak meer dan 1000 jaar) en is vrijwel altijd verrijkt met ijzer, fosfor en andere nutriënten door de combinatie van veenafbraak (organisch stof breekt af en verdwijnt uit het systeem als CO_2 en water en de andere elementen blijven geconcentreerd achter) en agrarisch gebruik (o.a. bemesting). Daaronder bevindt zich een gedeeltelijk veraarde veenlaag bovenop een nog intacte (onveraarde) veenlaag. Door de drainage en aerobe afbraak is de structuur (samenhang tussen bodemdeeltjes) van de toplaag van de veenbodem sterk afgenomen. De sloten in het veenweidegebied hebben een beperkte waterdiepte of een beperkt doorzicht en bevatten veelal een dikke baggerlaag. Deze laag bestaat uit dun slib dat compacter wordt met de diepte en vooral afkomstig is uit erosie van veraard veen van de omliggende percelen (Poelen en Smolders, 2015, Van Rotterdam et al., 2026). De combinatie van deze factoren leidt ertoe dat er in de uitgangssituatie meestal sprake is van een slechte waterkwaliteit (Smolders et al. 2013, Van Rotterdam et al., 2026).

Hoewel duidelijk is dat het hierboven beschreven generieke veenweidelandschap niet bestaat, biedt een dergelijke generieke uitgangssituatie wel houvast om de effecten van vernatting te kunnen vergelijken. In de praktijk kan de uitgangssituatie regionaal (zeer sterk) verschillen. Verdere details over het hydrologisch, fysisch en biogeochemisch functioneren van veenweidepercelen (incl. de uitgangssituatie) worden toegelicht in de individuele paragrafen waarin deze processen nader beschreven worden.

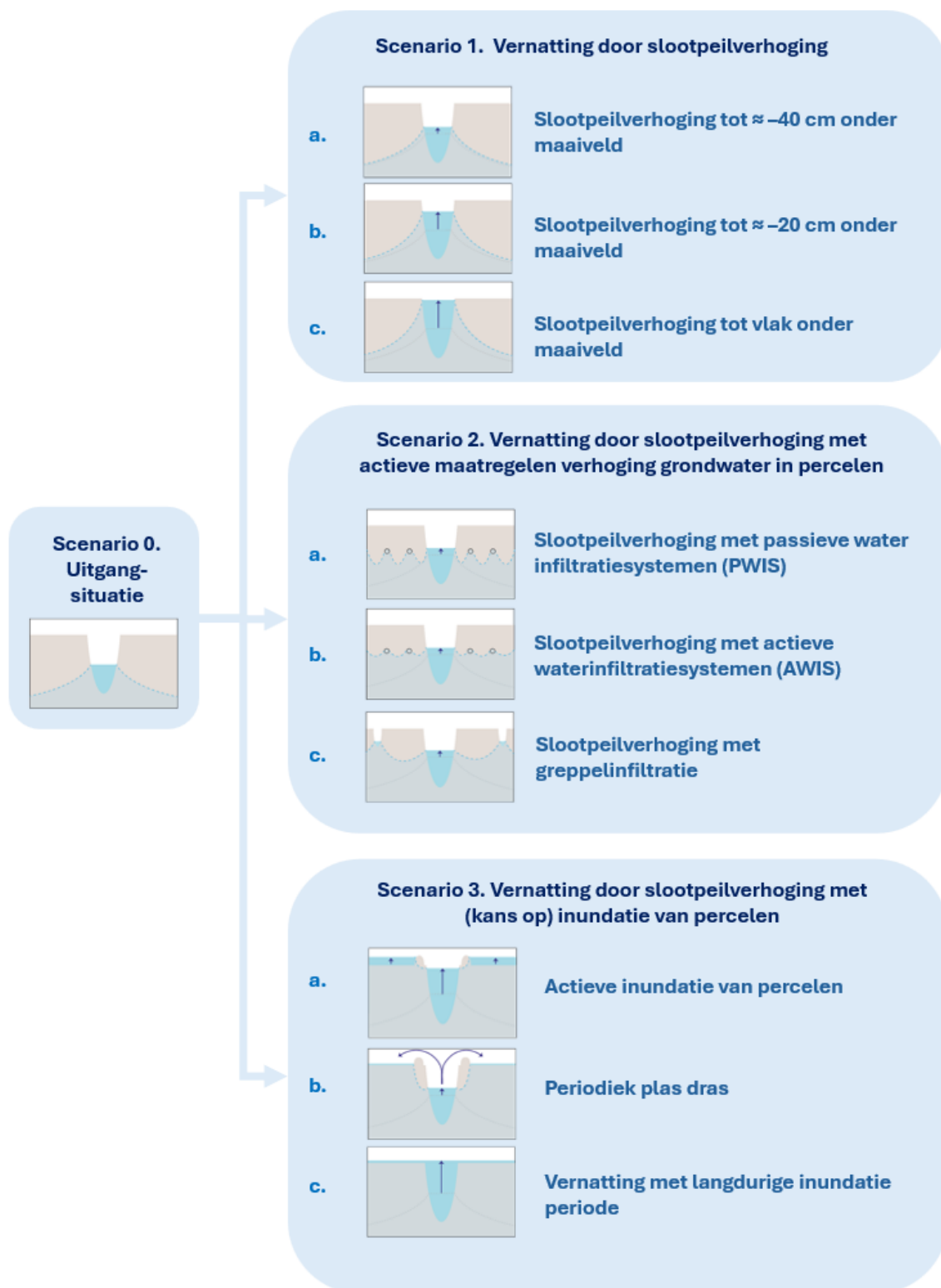
2.1.2 VERNATTINGSCENARIO'S

In deze rapportage zijn drie hoofdsenario's opgenomen. Deze scenario's zijn gebaseerd op vormen van vernatting die momenteel het meest toegepast worden in het Nederlandse veenweidegebied en/of opgenomen zijn in lopende studies. De scenario's worden hieronder benoemd en op hoofdlijnen beschreven. Uiteraard betreffen dit vrij algemene scenario's, maar bij het opstellen van deze scenario's is wel getracht deze zo op te stellen dat ze breed

toepasbaar zijn en onderling onderscheidend zijn. In de scenario's is uitgegaan van de zomerpeilen. De hoofdsenario's zijn: jaarrond vernatting door slootpeilverhoging (tot onder maaiveld) (hoofdsenario 1); vernatting door slootpeilverhoging (tot onder maaiveld) met aanvullende maatregelen om de grondwaterstand in de percelen te verhogen (hoofdsenario 2); en vernatting met (kans op) inundatie (hoofdsenario 3). Hierbij zijn de Ausgangssituatie en hoofdsenario's 1 en 2 gericht op agrarisch gebruik met veenweidegrasland. In hoofdsenario 3 is de huidige vorm van agrarisch gebruik van veenweidegrasland niet meer mogelijk door (langdurige) inundatie. De drie scenario's zijn in Figuur 2 nader uitgewerkt.

Figuur 2

Schematisch overzicht van de verschillende scenario's die in dit kennisoverzicht behandeld worden.



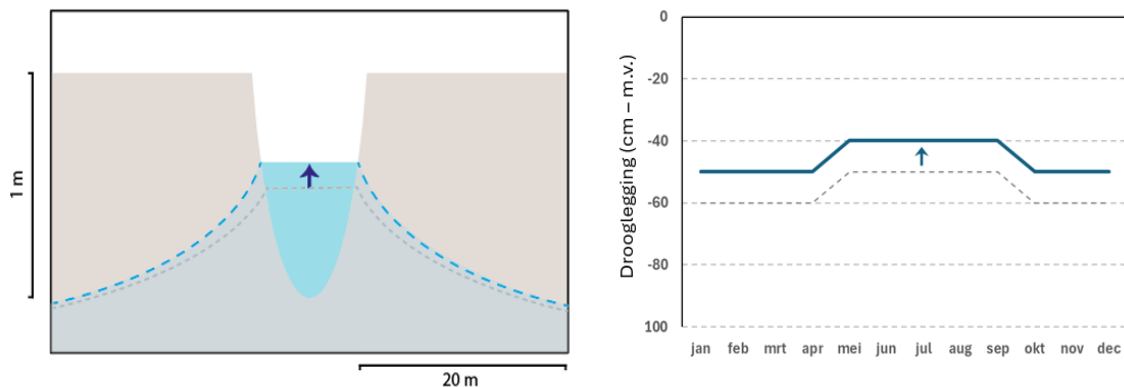
Hieronder worden de verschillende scenario's in meer detail beschreven, het zomerhalfjaar betreft hier de periode van 1 april t/m 1 oktober, het winterhalfjaar betreft hier de periode van 1 oktober t/m 1 april.

HOOFDSCENARIO 1. VERNATTING DOOR SLOOTPEILVERHOOGING (VERHOOGING ZOMERPEIL TOT ONDER MAAIVELD)

Hoofdsenario 1 bestaat uit meerdere scenario's waarin het slootpeil jaarrond verhoogd wordt tot verschillende niveaus (a, b, en c) met een maximale verhoging van het slootpeil tot enkele centimeters onder maaiveld (zonder inundatie).

Scenario 1a. Slooppeilverhoging tot ≈ 40 cm onder maaiveld

Figuur 3 Links een schematische weergave van het vernattingsscenario 1a met het slootwaterpeil, de nieuwe grondwaterstand (lichtblauwe stippellijn) en de grondwaterstand vóór vernatting (lichtgrijze stippellijn). Rechts een versimpelde weergave van de drooglegging in de sloot t.o.v. maaiveld door het jaar heen (maanden op de x-as) in donkerblauw met het oorspronkelijke slootpeil weergegeven met een stippellijn.



Gebruiksdoeleinde: Agrarisch gebruik veenweidegrasland

Drooglegging zomerhalfjaar: een verhoging tot 40 cm beneden maaiveld

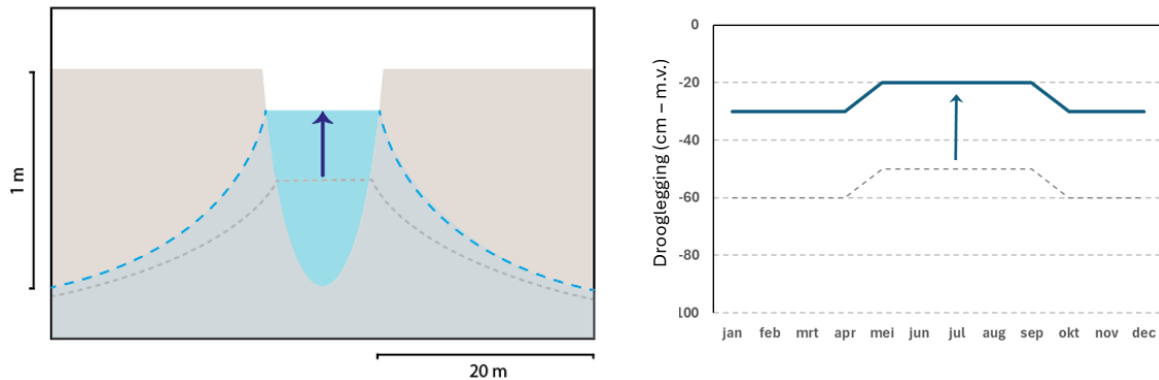
Drooglegging winterhalfjaar: 50 cm beneden maaiveld

Sloopwaterpeilmarge: ± 2 cm

Scenario 1b. Slooppeilverhoging tot ≈ 20 cm onder maaiveld

Figuur 4

Links een schematische weergave van het vernattingsscenario 1b met het slootwaterpeil, de nieuwe grondwaterstand (lichtblauwe stippellijn) en de grondwaterstand vóór vernatting (lichtgrijze stippellijn). Rechts een versimpelde weergave van de drooglegging in de sloot t.o.v. maaiveld door het jaar heen (maanden op de x-as) in donkerblauw met het oorspronkelijke slootpeil weergegeven met een stippellijn.



Gebruiksdoeleinde: Agrarisch gebruik veenweidegrasland

Drooglegging zomerhalfjaar: een verhoging tot 20 cm beneden maaiveld

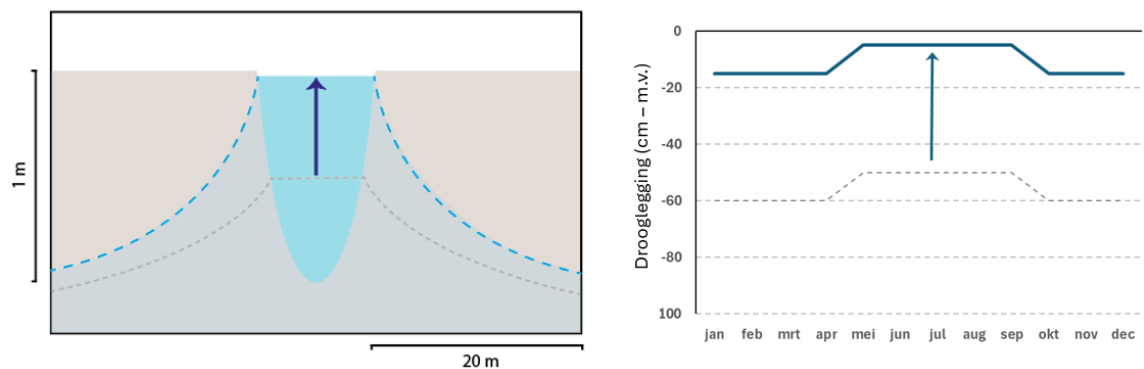
Drooglegging winterhalfjaar: 30 cm beneden maaiveld

Slootwaterpeilmarge: ± 2 cm

Scenario 1c. Slootpeilverhoging tot vlak onder maaiveld

Figuur 5

Links een schematische weergave van het vernattingsscenario 1c met het slootwaterpeil, de nieuwe grondwaterstand (lichtblauwe stippellijn) en de grondwaterstand vóór vernatting (lichtgrijze stippellijn). Rechts een versimpelde weergave van de drooglegging in de sloot t.o.v. maaiveld door het jaar heen (maanden op de x-as) in donkerblauw met het oorspronkelijke slootpeil weergegeven met een stippellijn.



Gebruiksdoeleinde: Agrarisch gebruik veenweidegrasland

Drooglegging zomerhalfjaar: een verhoging tot enkele centimeters onder maaiveld

Drooglegging winterhalfjaar: 15 cm beneden maaiveld

Slootwaterpeilmarge: ± 2 cm

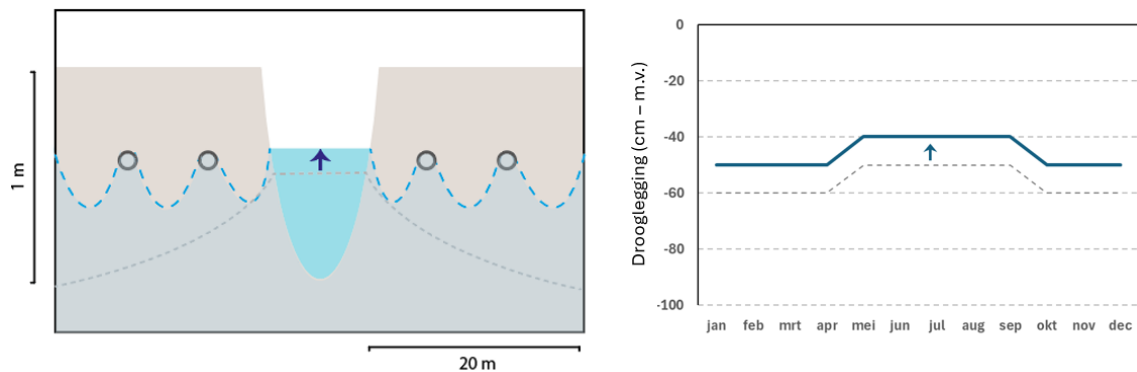
HOOFDSCENARIO 2. VERNATTING DOOR SLOOTPEILVERHOOGING (VERHOOGING ZOMERPEIL TOT ONDER MAAIVELD) MET ACTIEVE MAATREGELEN VOOR VERHOOGING VAN DE GRONDWATERSTAND IN DE PERCELEN

Ook binnen hoofdscenario 2 bestaan verschillende scenario's, waarbij aanvullende maatregelen worden uitgevoerd naast het verhogen van het slootpeil tot ongeveer 40 cm onder maaiveld. Het belangrijke onderscheid met hoofdscenario 1 is dat maatregelen worden toegepast om actiever de grondwaterstand in de percelen te verhogen. Er zijn meerdere mogelijkheden om de grondwaterstand actief te verhogen. Hiervan zijn er drie zijn opgenomen (scenario's 2a t/m 2c).

Scenario 2a. Slooppeilverhoging met passieve water infiltratiesystemen (PWIS)

Figuur 6

Links een schematische weergave van het vernattingsscenario 2a met het slootwaterpeil, de nieuwe grondwaterstand (lichtblauwe stippellijn) en de grondwaterstand vóór vernatting (lichtgrijze stippellijn). De cirkels in de percelen geven WIS buizen weer. Rechts een versimpelde weergave van de drooglegging in de sloot t.o.v. maaiveld door het jaar heen (maanden op de x-as) in donkerblauw met het oorspronkelijke slootpeil weergegeven met een stippellijn.



Gebruiksdoeleinde: Agrarisch gebruik veenweidegrasland

Drooglegging zomerhalfjaar: een verhoging tot (minimaal) 40 cm onder maaiveld

Drooglegging winterhalfjaar: 50 cm beneden maaiveld

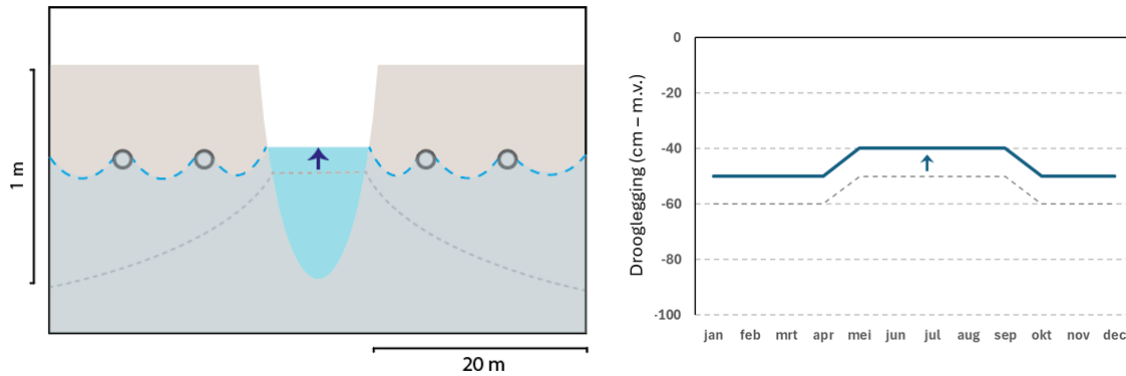
Slootwaterpeilmarge: ± 2 cm

Maatregel grondwaterstandverhoging: toepassing van passieve water infiltratiesystemen (PWIS) op minimaal 10 cm onder slootwaterpeil (de diepte onder slootpeil kan lokaal verschillen). Hier kan water passief (zonder pomp) via de drainagebuizen naar de sloot stromen in natte periodes en slootwater het perceel intrekken tijdens droge periodes.

Scenario 2b. Slooppeilverhoging met actieve waterinfiltratiesystemen (AWIS)

Figuur 7

Links een schematische weergave van het vernattingsscenario 2b met het slootwaterpeil, de nieuwe grondwaterstand (lichtblauwe stippellijn) en de grondwaterstand vóór vernatting (lichtgrijze stippellijn). De cirkels in de percelen geven WIS buizen weer. Rechts een versimpelde weergave van de drooglegging in de sloot t.o.v. maaiveld door het jaar heen (maanden op de x-as) in donkerblauw met het oorspronkelijke slootpeil weergegeven met een stippellijn.



Gebruiksdoeleinde: Agrarisch gebruik veenweidegrasland

Drooglegging zomerhalfjaar: een verhoging tot 40 cm onder maaiveld

Drooglegging winterhalfjaar: 50 cm beneden maaiveld

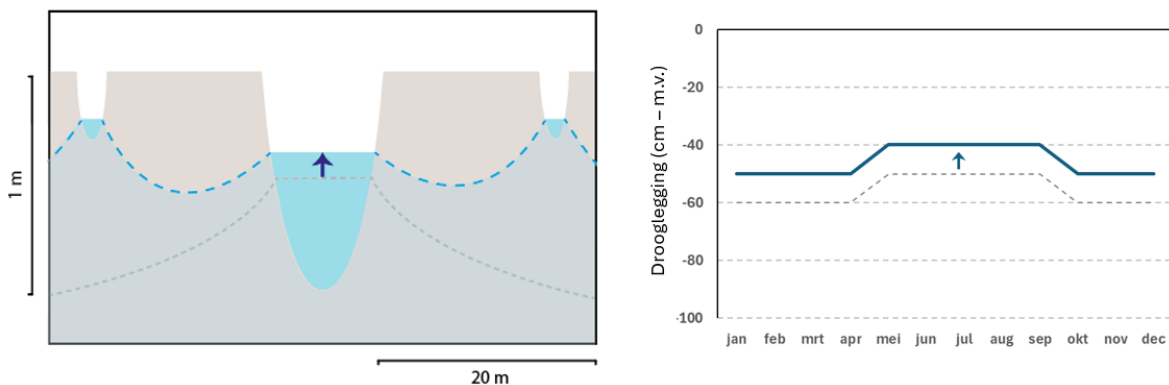
Slootwaterpeilmarge: ± 2 cm

Maatregel grondwaterstandverhoging: toepassing van actieve waterinfiltratiesystemen (AWIS) op minimaal 10 cm onder slootwaterpeil (de diepte onder slootpeil kan lokaal verschillen). Hier wordt actief met een pomp water via de drainagebuizen naar de sloot gepompt in natte perioden en slootwater het perceel ingepompt tijdens droge perioden.

Scenario 2c. Slooppeilverhoging met greppelinfiltratie

Figuur 8

Links een schematische weergave van het vernattingsscenario 2c met de greppels, het slootwaterpeil, de nieuwe grondwaterstand (lichtblauwe stippellijn) en de grondwaterstand vóór vernatting (lichtgrijze stippellijn). Rechts een versimpelde weergave van de drooglegging in de sloot t.o.v. maaiveld door het jaar heen (maanden op de x-as) in donkerblauw met het oorspronkelijke slootpeil weergegeven met een stippellijn.



Gebruiksdoeleinde: Agrarisch gebruik veenweidegrasland

Drooglegging zomerhalfjaar: een verhoging tot 40 cm onder maaiveld

Drooglegging winterhalfjaar: 50 cm beneden maaiveld

Slootwaterpeilmarge: ± 2 cm

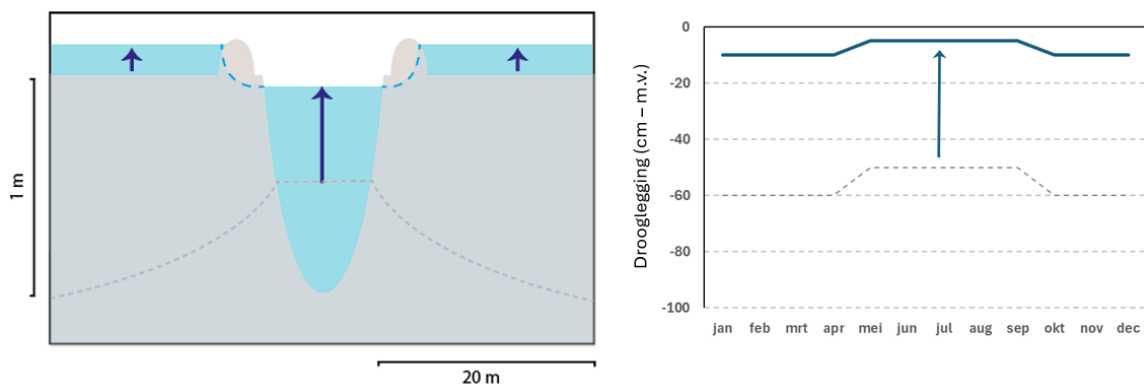
Maatregel grondwaterstandverhoging: toepassing van greppel infiltratie waarbij extra ondiepe (30 cm diepe) greppels worden aangelegd (om de 15 á 20 m) waar in droge periodes actief water ingepompt wordt.

HOOFDSCENARIO 3. VERNATTING DOOR SLOOTPEILVERHOOGING MET (KANS OP) INUNDATIE VAN PERCELEN

In hoofdscenario 3 gaat het om vernattingsscenario's met sterk verhoogde slootwaterpeilen en (tijdelijke) inundatie van percelen. Door de sterke vernatting is in dit scenario de huidige vorm van agrarisch gebruik van veenweidegrasland niet meer mogelijk. Bij deze scenario's moet gedacht worden aan andere gebruiksvormen zoals natte natuurtypen, moerasvorming maar ook natte vormen van landbouw (zoals natte teelten, ofwel paludicultuur). De verschillende scenario's worden hieronder toegelicht (scenario 3a t/m 3c).

Scenario 3a. Actieve vernatting van percelen

Figuur 9 Links een schematische weergave van het vernattingsscenario 3a met het slootwaterpeil, de inundatie van de percelen en de grondwaterstand vóór vernatting (lichtgrijze stippellijn). Rechts een versimpelde weergave van de drooglegging in de sloot t.o.v. maaiveld door het jaar heen (maanden op de x-as) in donkerblauw met het oorspronkelijke slootpeil weergegeven met een stippellijn.



Gebruiksdoeleinde: Natte natuur, moeras, natte landbouw

Drooglegging zomerhalfjaar: van 5 cm beneden maaiveld tot vlak aan maaiveld en inundatie van de percelen middels dammetjes

Drooglegging winterhalfjaar: van 10 cm á 20 cm beneden maaiveld

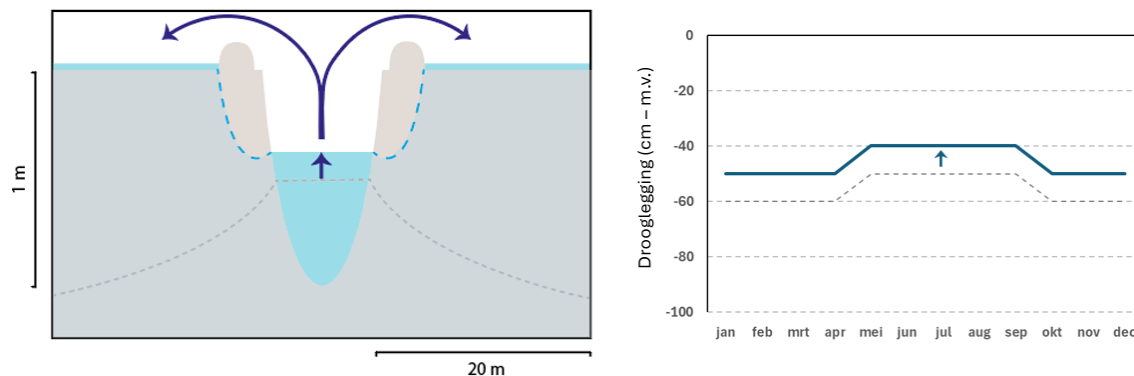
Slootwaterpeilmarge: ± 2 cm

Maatregel grondwaterstandverhoging: Vernatting van percelen door middel van slootpeilverhoging, het indammen van percelen en het vasthouden ofwel actief inlaten van oppervlaktewater om percelen te inunderen.

Scenario 3b. Periodiek plas-dras

Figuur 10

Links een schematische weergave van het vernattingsscenario 3b met het slootwaterpeil, de inundatie van de percelen en de grondwaterstand vóór vernatting (lichtgrijze stippellijn). Rechts een versimpelde weergave van de drooglegging in de sloot t.o.v. maaiveld door het jaar heen (maanden op de x-as) in donkerblauw met het oorspronkelijke slootpeil weergegeven met een stippellijn.



Gebruiksdoeleinde: Agrarisch gebruik veenweidegrasland

Drooglegging zomerhalfjaar: een verhoging tot 40 cm onder maaiveld, maar de percelen plas dras van 15 februari tot 15 juni.

Drooglegging winterhalfjaar: 50 cm beneden maaiveld

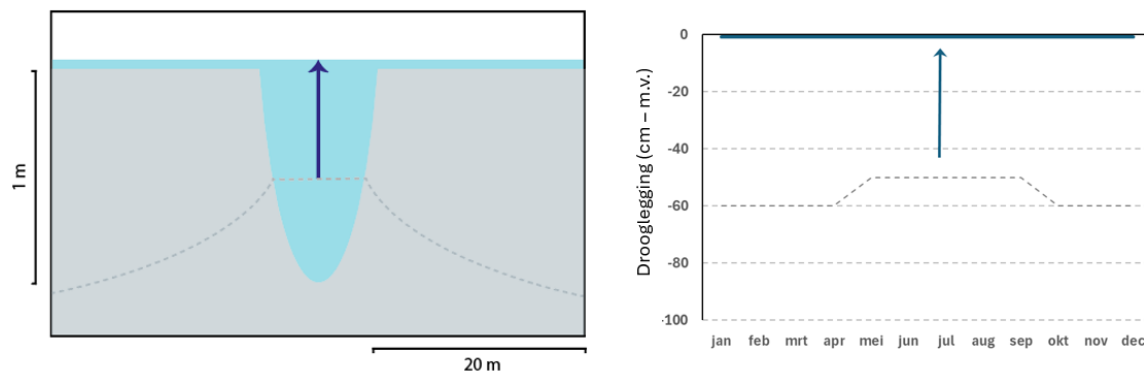
Slootwaterpeilmarge: ± 2 cm

Maatregel grondwaterstandverhoging: Dit scenario gaat uit van een waterstandsverhoging zodat er plas-dras condities worden gecreëerd in de percelen. Dit wordt in de praktijk uitgevoerd in het kader van de vogelrichtlijn en weidevogelbescherming en wordt meestal tijdelijk toegepast van het voorjaar tot in het groeiseizoen (15 feb tot 15 juni).

Scenario 3c. Vernatting met langdurige inundatie

Figuur 11

Links een schematische weergave van het vernattingsscenario 3c met het slootwaterpeil, de inundatie van de percelen en de grondwaterstand vóór vernatting (lichtgrijze stippellijn). Rechts een versimpelde weergave van de drooglegging in de sloot t.o.v. maaiveld door het jaar heen (maanden op de x-as) in donkerblauw met het oorspronkelijke slootpeil weergegeven met een stippellijn.



Gebruiksdoeleinde: Natte natuur, moeras. Dit betreft een breed en moeilijk definieerbaar scenario, waarbij er grote verschillen kunnen zijn tussen de verschillende doelen.

Drooglegging zomerhalfjaar: slootwaterpeil iets onder maaiveld ofwel inundatie, deels uitzakkend tijdens droogte

Drooglegging winterhalfjaar: slootwaterpeil iets onder maaiveld ofwel inundatie, deels inundatie tijdens periode met neerslagoverschot

Slootwaterpeilmarge: erg groot, het peil kan uitzakken tijdens droge periode en inundatie kan optreden tijdens natte periode. De variatie in peilmarges is in dit scenario erg afhankelijk van de gestelde doelen, hierbij kunnen peilmarges ingesteld worden, maar er kan ook als doel gesteld worden een erg grote peilfluctuatie toe te laten en het af te laten hangen van neerslag en verdamping.

Maatregel grondwaterstandverhoging: Vernatting door middel van opzetten slootpeil én bewust extra neerslag water langer vast te houden. Tijdens droogte kan het peil uitzakken ofwel kan er water ingelaten worden indien er een minimaal peil gehanteerd wordt.

2.2 EFFECTEN VAN VERNATTING OP HYDROLOGISCHE PROCESSEN

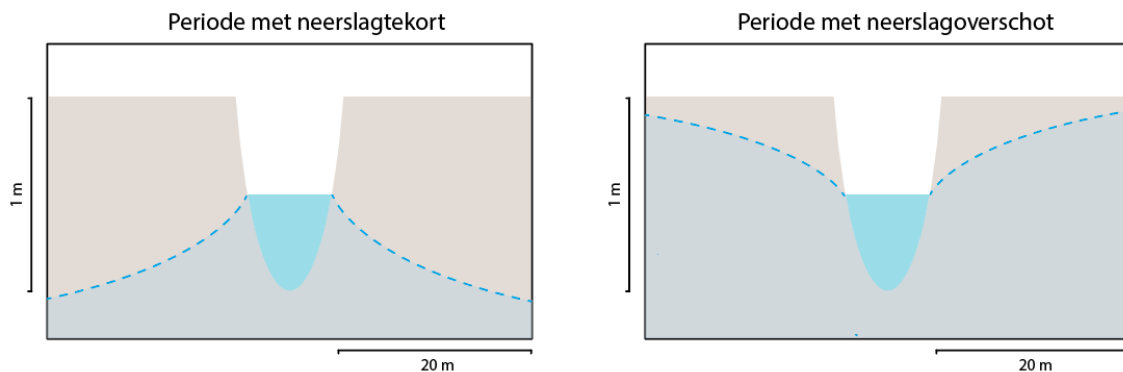
In de uitgangssituatie is sprake van veenweidepercelen die al decennia tot eeuwenlang door sloten worden ontwaterd, waarbij de effectiviteit van de ontwatering en het op peil houden van het oppervlaktewater in de loop van de tijd is toegenomen door technologische vooruitgang (molens zijn vervangen door gemalen, etc.).

De hydrologie van deze veenweidepercelen worden over het algemeen gekenmerkt door:

- De relatief beperkte uitwisseling tussen grond- en oppervlaktewater. Dit komt doordat de hydraulische doorlatendheid van veen (ook wel k -waarde of doorlatendheidscoëfficiënt) over het algemeen laag tot zeer laag is, terwijl het waterbergend vermogen van (intact) veen juist groot is;
- In periodes van neerslagoverschot stroomt het water hierdoor relatief langzaam uit het veen, waardoor de grondwaterstand bol is (zie Figuur 12). In de zomer wordt het water dat verdampt vanuit het perceel langzaam aangevuld, waardoor de grondwaterstand hol is. De intrek (aanvulling grondwater vanuit oppervlaktewater en capillaire aanvulling toplaag percelen) verloopt trager dan de ontwatering (evapotranspiratie bodem en gewas en verlies grondwater naar het oppervlaktewater);
- Dit resulteert in sterk wisselende grondwaterstanden door het seizoen heen. Door een netto neerslagtekort kan de grondwaterstand in de zomer dalen tot wel -100 cm t.o.v. maaiveld (afhankelijk van de grondwatersituatie, de breedte van het perceel en de slootpeilen), terwijl deze in de winter bij een netto neerslagoverschot kan stijgen tot (op het) maaiveld wat zichtbaar is in plasvorming op de percelen;
- De inrichting en het (vaste) peilbeheer is gericht op ontwatering ten behoeve van de agrarische functie gedurende het groeiseizoen en afwatering in de wintermaanden. In de praktijk worden of jaarrond vaste slootpeilen gehanteerd, of een vast zomer- respectievelijk winterpeil waarbij het peil in de zomer 5 tot 15 cm hoger staat dan in de winter. Veenweidepercelen kenmerken zich door een hoge dichtheid aan sloten, relatief smalle percelen, een grote oeverlengte en een strak gehanteerd peilbeheer. Het gevolg hiervan is, dat in veenweidepolders weinig water wordt vastgehouden in vergelijking met natuur-

lijke veensystemen. In het winterhalfjaar wordt het overtollig water naar de boezem gepompt. In het zomerhalfjaar wordt (gebiedsvreemd)water aangevoerd om tekorten tegen te gaan;

Figuur 12 Schematische weergave van een sloot met het slootwaterpeil en de grondwaterstand vóór vernatting (lichtgrijze stippellijn), links de situatie in een periode met een neerslagtekort (droogte, zomer) en rechts in een periode met neerslagoverschot (natte periode, winter).



Toch is het ene veenweidegebied het andere niet. Er is een grote variatie in hydrologische eigenschappen. Zo worden de mate van ontwatering van de percelen, de intrek, het watertekort, het wateroverschot en de inlaat van gebiedsvreemd water vooral bepaald door:

- **Meteorologische condities.** De verschillen tussen jaren kunnen enorm zijn. Zo hebben we in 2024 een erg nat jaar gehad (986 mm i.p.v. 795 mm langjarig gemiddelde (1999-2025), KNMI jaaroverzicht 2024) en in 2018 een erg droog jaar (607 mm KNMI jaaroverzicht 2018).
- **De ligging in het landschap.** De ligging in het landschap bepaalt de hydrologische situatie in termen van kwel en wegzijging. In laaggelegen polders is de kweldruk hoog. De hoger gelegen polders daaromheen worden gekenmerkt door wegzijging. De hydrologische situatie bepaalt in belangrijke mate de grondwaterstand, de ontwateringsdiepte (verschil maaiveld en grondwaterpeil) en daarmee de kwaliteit van het veen (intact versus veraard) en de waterbalans. In kwelgevoede gebieden is door de continue aanvoer van grondwater de grondwaterstand hoger en de hoeveelheid uit- en afspoeling veel groter dan bij gebieden met wegzijging. Waar de bijdrage van inlaat in kwelgevoede gebieden in de waterbalans soms minimaal is, is de bijdrage van inlaat in gebieden met (grote) wegzijging soms meer dan van uit- en afspoeling uit percelen;
- **De afstand tussen het midden van percelen en het oppervlaktewater.** Bij brede percelen is de ontwateringsdiepte (veel) groter dan bij smalle percelen. In bredere percelen zakt de grondwaterstand in het midden van het perceel dieper weg. Dit komt mede door het geringe verschil in waterdruk tussen het midden van het perceel en de sloot. De horizontale aanvulling van grondwater in tijden van droogte is hierdoor beperkt. Hierbij geldt dat de breedte van percelen (afstand) vaak logisch is afgestemd op het landschap en het type veen (met daarbij ook de aanwezigheid van bijvoorbeeld zand- en kleilaagjes) en de benodigde ontwatering;
- **Het historisch landgebruik.** Het historisch (agrarisch) landgebruik (in combinatie met de hydrologische ligging in het landschap) is een belangrijke factor voor perceel- en bodemeigenschappen, zoals o.a. breedte van percelen, doorlatendheid van de bodem, de holling van percelen en de aanwezigheid van (historische) zand- en kleilagen. Dit heeft grote invloed op de kwaliteit en hydrologische eigenschappen van het veen. In percelen waar regelmatig in de bodem is geroerd, bijvoorbeeld ten behoeve van maïsteelt, is het

perceel vaak lager in het landschap komen te liggen en zijn klei en zandlagen door het veen gemengd;

- **Het historisch (oppervlaktewater)peilbeheer.** De historisch en cultureel bepaalde drooglegging (als gevolg van het peilbeheer ten opzichte van de perceelhoogte) bepaalt grotendeels welke processen dominant zijn geweest. Hierbij zien we bijvoorbeeld grote verschillen tussen de Hollandse en de Friese veenweidegebieden. In de Friese veenweidegebieden zakken grondwaterstanden door de grotere drooglegging en bredere percelen verder uit en is de ontwateringsdiepte gemiddeld groter dan in Hollandse veenweidegebieden. Dit bepaalt weer de kwaliteit van het veen (bijvoorbeeld veraard of niet).
- **Veranderingen in het recente (oppervlaktewater)peilbeheer.** Recente veranderingen in het peilbeheer (en nog door te voeren veranderingen) hebben in beperkte mate effect op de grondwaterstand in het midden van een perceel door de slechte doorlatendheid van veen (afhankelijk van de lokale condities). Dit heeft alles te maken met drukverschillen (water stroomt als gevolg van verschil in waterdruk).
 - Door de slechte doorlatendheid van veen neemt het drukverschil vanaf de oever richting het midden van het perceel in een lange droge periode snel af. Dit remt de intrek vanuit het oppervlaktewater en daarmee ook de aanvulling van het grondwater waardoor het grondwater hol komt te staan. De invloed van het slootpeil op de grondwaterstand in het midden van het perceel is hierdoor soms zelfs vrijwel verwaarloosbaar (met name bij brede percelen);
 - Een (substantiële) toename van het oppervlaktewaterpeil in de zomer (wanneer er sprake is van een netto neerslagtekort door verdamping) is daarom vaak weinig effectief en zal vooral langs de randen tot vochtiger condities leiden. De invloed van een hoger slootwaterpeil op de grondwaterstand is groter tijdens perioden met veel neerslag gedurende het zomerhalfjaar;
 - Een (substantiële) verandering in oppervlaktewaterpeil jaarrond heeft een (veel) groter effect dan alleen in de zomer, omdat hierdoor de ontwatering verandert (verlies grondwater naar oppervlaktewater). Bij een hoger jaarrond waterpeil wordt de ontwatering geremd, bij een lager jaarrond waterpeil wordt de ontwatering versterkt. Het effect is groter, omdat de drukverschillen groter zijn onder invloed van neerslag. Aanvulling van grondwater is het dominante proces. De druk is het gevolg van het grondwater boven de oppervlaktewaterlijn (als gevolg van opbolling). Hoe hoger het oppervlaktewaterpeil, hoe lager deze druk. Dit effect is ook merkbaar in het midden van het perceel. Het blijft wel zo dat in het midden van het perceel de grondwaterstand het verst zal uitzakken in een periode van droogte.

Foto 2

Slootkant in regio Zegveld (Foto: Stefan Weideveld).



Vernatten heeft effecten op het grondwatersysteem, (geo)hydrologische perceeigenschappen en processen en de waterbalans van een gebied. De effecten hangen mede af van eigenschappen van het watersysteem, de wijze van vernatten en de mate van vernatting. Hieronder worden de algemene effecten van vernatten beschreven. De effecten van specifieke systemen, zoals waterinfiltratiesystemen (WIS) worden apart benoemd.

GRONDWATER

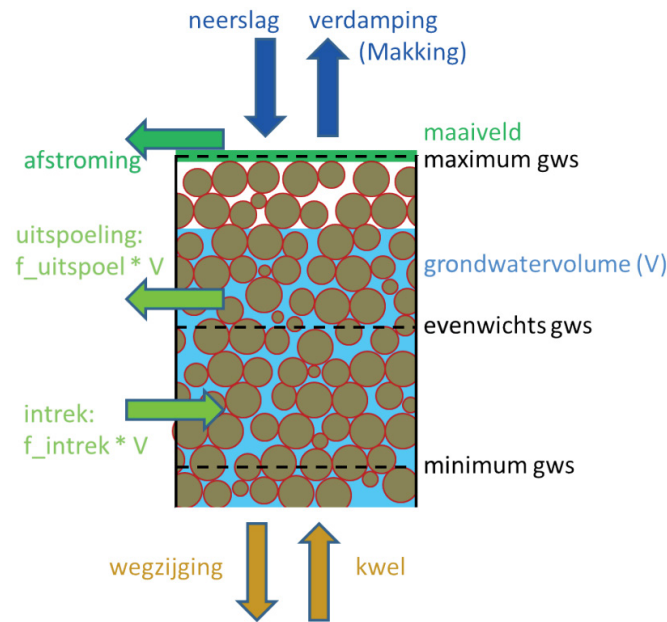
Vernatting zorgt voor **hogere grondwaterstanden**, zowel in de winter als in de zomer. Dit heeft een direct gevolg voor het gebied zelf, maar potentieel ook voor (grond)waterstanden in de omgeving. In het gebied neemt het verschil tussen grond- en oppervlaktewater in de winter af (Hendriks et al., 2024). In het gebied zelf wordt de invloed van **netto kwel minder** (afname kwel en/of toename van wegzijging). Gebieden met (lichte) kwel kunnen veranderen in gebieden met (lichte) wegzijging (Hendriks et al., 2024). Verder worden na vernatting **stroombanen ondieper** en minder lang, waardoor een regendruppel het oppervlaktewater eerder bereikt, korter in contact is met de ondergrond en meer in contact is met het ondiepe deel van de bodem (zonder vernatting is de stroombaan langer en stroomt het water dieper door het bodemprofiel naar het oppervlaktewater). Door vernatting neemt ten slotte **de amplitude van de schommelingen in de grondwaterstand in de percelen af**, doordat het grondwater minder ver uitzakt.

De effectiviteit van het tegengaan van uitzakken van grondwaterstanden in de zomer hangt sterk af van gebiedseigenschappen en de wijze en mate van vernatting. In sterk en diep ontwaterde percelen en percelen met wegzijging zakken grondwaterstanden bijvoorbeeld sterk uit bij een groter netto neerslagtekort in droge perioden. Tijdens perioden met een netto neerslagoverschot (winter) stijgen de grondwaterstanden juist weer sterk. De bergingsruimte wordt hierbij eerst opgevuld. Vervolgens treedt opbolling op. Als gevolg van de opbol-

ling in de winter treedt ook in gebieden met wegzijging vrijwel altijd verlies op van water naar de sloten. Uitzonderingen vormen enkele veenweidegebieden met (netto) sterke wegzijging (grofweg $>> 1 \text{ mm/d}$). Alleen bij sterke wegzijging kunnen percelen zich onvoldoende vullen. In de overige gebieden kunnen percelen zich wel voldoende vullen, omdat de grondwaterstand snel stijgt als gevolg van de beperkte ruimte voor water in de bodem (alleen de poriën vullen zich, Figuur 13).

Figuur 13

Schematische weergave van de waterbalans in een perceel en enkele relevante geohydrologische bodemeigenschappen, waarbij de bruine bolletjes de bodemdeeltjes voorstellen, het blauwe vlak het grondwatervolume, de horizontale zwarte stippellijnen de grondwaterstand (gws) met het minimum, het evenwicht en het maximum en de pijlen de dominante waterstromen (neerslag, Makkink gewasverdamping, wegzijging, kwel, uitspoeling, intrek, afstroming (uit STOWA 2018-74)).



HERKOMST VAN WATER

De herkomst (en samenstelling) van het grondwater, van het uitspoelend water en van het oppervlaktewater verandert van karakter als gevolg van vernatting door de verandering in toevoer van kwel in het oppervlaktewater en in het perceel en door de verandering van stroombanen. Er is **meer regenwaterinvloed, minder invloed van (gebiedsvreemd) oppervlaktewater, minder invloed van kwel**, maar ook **meer invloed van het bovenste deel van de bodem in het perceel** dat vaak verrijkt is met nutriënten als gevolg van oxidatie en bemesting. Ten slotte is er door de korte contacttijd minder uitwisseling van stoffen tussen bodem en uitspoelend water.

WATERTRANSPORT TUSSEN LAND EN WATER

Vernatting leidt tot een **afname van de uitspoeling van land naar water** in de winter, omdat de oppervlaktewaterstand hoger komt te liggen en het drukverschil tussen grond- en oppervlaktewater hierdoor afneemt. Uitspoeling blijft het dominante proces zolang er bij neerslag nog bergingscapaciteit aanwezig is in de bodem. In de zomer **neemt intrek juist toe**, omdat het oppervlaktewater hoger komt te liggen ten opzichte van het grondwater (en het verschil tussen grond- en oppervlaktewater hierdoor toeneemt). Ten slotte **neemt ook de afstroming toe** in de winter, omdat door vernatting de bergingscapaciteit afneemt en percelen eerder verzadigd raken, waarna uitspoeling overgaat in afstroming.

BERGINGS-CAPACITEIT EN GEMAALCAPACITEIT (OP SYSTEEMNIVEAU)

Vernatting leidt tot hogere grond- en oppervlaktewaterstanden in een gebied. De hogere waterstanden leiden tot een **kleinere bergingscapaciteit**. Dit geldt voor zowel de percelen als het oppervlaktewatersysteem.

Door de kleinere bergingscapaciteit lopen percelen sneller vol, waarna regenwater oppervlakkig kan afstromen. Dit leidt tot meer pieken in de afvoer van water uit een gebied, met name in de winter. Door de combinatie van een netto neerslagtekort in de zomer en holle grondwaterstanden is het effect van vernatten op de hoeveelheid oppervlakkig afspoelend water (veel) minder groot in de zomer dan in de winter.

Ook **de berging in het oppervlaktewatersysteem neemt af**, omdat enerzijds door de hogere waterstanden er minder resterende ruimte is tot maaiveld en anderzijds, omdat het een groter deel van het slootprofiel (in de breedte) al benut is door de hogere waterstand. Dit laatste speelt vooral wanneer sloten een brede oever met een flauw talud hebben (of krijgen, wat meestal op termijn gebeurt door peilverhoging, omdat oevers instabiel worden en inzakken).

Vernatting leidt tot meer afvoer in de winter (zie volgende kopje watervraag en wateroverschot), maar **niet tot een (veel) grotere benodigde capaciteit van het gemaal**, (de benodigde capaciteit kan wel toenemen, maar de meeste gemalen beschikken over deze capaciteit omdat ze ontworpen zijn op momenten met extreme neerslag). De bergingscapaciteit in de percelen neemt weliswaar af, waardoor intensieve buien sneller worden afgevoerd, maar een gemaal is ontworpen op extreme neerslag (T=10 norm met 10% toeslag voor klimaatadaptatie, ofwel een regenbui die, volgens de statistieken, eenmaal per 10 jaar optreedt). Gemalen slaan wel sneller aan, omdat het water sneller komt dan zonder vernatting.

NB! De afvoercapaciteit van gemalen is wel een aandachtspunt, omdat piekafvoeren vaker, meer geclusterd en in grote omvang zullen optreden als gevolg van toenemende weers-extremen door klimaatverandering.

NB! Bij de toepassing van WIS systemen worden grondwaterstanden hoger in de zomer (met als resultaat een lagere bergingscapaciteit), maar worden grondwaterstanden lager in de winter (hogere bergingscapaciteit) (zie ook kopje WIS later in deze paragraaf). De bergingscapaciteit van percelen wordt ook beïnvloed door de mate waarin de veenbodem water op kan nemen, hier wordt in paragraaf 2.3 (fysische processen) nader op ingegaan.

Figuur 14

Eenvoudige illustratie van de benodigde waterberging in relatie tot de afvoercapaciteit van het gemaal.



WATERVRAAG EN WATEROVERSCHOT (OP SYSTEEMNIVEAU)

Vernatten kan **verschillende effecten** hebben op de hoeveelheid water dat uitwisselt tussen perceel en oppervlaktewater, en daarmee op de watervraag en het wateroverschot op systeemniveau. Het precieze effect van vernatting hangt af van de dominante processen gedurende het jaar. Hieronder voorbeelden van de belangrijkste processen:

- Een kleiner verschil tussen oppervlaktewaterstand en grondwaterstand zorgt netto voor minder ontwatering, en dus tot een kleiner wateroverschot door een kleiner hydraulisch drukverschil. Zolang er nog voldoende berging in de percelen aanwezig is de uit- en afspoeling klein.
- Door vernattingsmaatregelen neemt de waterberging in het perceel af, wat (tijdelijk) leidt tot meer afstroming als het perceel eenmaal verzadigd is.
- In tijden van intensieve buien kan de neerslagintensiteit groter zijn dan de indringingsnelheid in de bodem. De neerslag kan dan ook oppervlakkig afspoelen naar het oppervlaktewater, terwijl een perceel niet verzadigd is. Veen heeft onder droge omstandigheden de eigenschap hydrofoob te worden wat het risico op oppervlakkige afspoeling versterkt.
- Gedurende het groeiseizoen is er bij een hogere grondwaterstand een betere vochthuishouding in de bodem (zie ook paragraaf 2.3 (fysische processen)). De kans dat intensieve buien snel worden afgevoerd naar de sloot neemt dan af en de waterbenutting neemt toe.
- De watervraag neemt toe door de toename van wegzijging of afname van kwel.
- De watervraag neemt (tijdelijk) netto iets toe door een verhoogde intrek in de percelen als gevolg van het (iets) grotere verschil tussen grond- en oppervlaktewaterstand (later) in de zomer. De watervraag neemt tegelijkertijd (tijdelijk) mogelijk iets af (vroeg) in de zomer doordat het neerslagoverschot in de winter langer wordt vastgehouden.
- De watervraag neemt toe door een hogere evapotranspiratie door het gewas als gevolg van een betere vochtbeschikbaarheid in de percelen.
- In het extreme geval dat het perceel té nat wordt en de grasvegetatie afsterft (dit verandert op termijn weer als zich een nieuwe moerasvegetatie heeft ontwikkeld) neemt de watervraag (tijdelijk gedurende de overgang van gras naar moerasvegetatie) af, omdat de evapotranspiratie van een groeiend gewas vele malen groter is dan van kale bodem.

In het geval van een toename van de watervraag als gevolg van vernatting is voor de oppervlaktewaterkwaliteit ook de samenstelling van het inlaatwater van belang (zie hiervoor ook paragraaf 2.4 en 2.5).

VERBLIJFTIJD

Vernatten kan **verschillende effecten** hebben op de verblijftijd van water in het oppervlaktewatersysteem. Het precieze effect hangt af van dominante hydrologische processen en het water(peil)beheer, de wijze van vernatten (bijvoorbeeld meer water inlaten ofwel meer water vasthouden). Het verschilt ook in zomer en winter.

- De verblijftijd neemt toe door een toename in waterdiepte en door een afname van (netto) uit- en afspoeling in de winter.
- De verblijftijd kan (tijdelijk) afnemen door de (iets) grotere watervraag in de zomer en door een toename van afstroming in de winter.

Foto 3

Polder Westzaan, Noord-Holland, kleine polders met onderbemaling en hoge slootpeilen (Foto: Gijs van Dijk).



WATER INFILTRATIE SYSTEMEN (WIS)

Bij **water infiltratie systemen (WIS)** is de **jaarrond waterafvoer hoger** vanuit percelen met WIS dan zonder WIS (De Wit et al., 2022, Hendriks et al., 2024) omdat in de winter de potentiële berging in percelen (bolle grondwaterstand) door de **drainerende werking van WIS** niet wordt benut en het neerslagoverschot direct wordt afgevoerd naar de sloot. In de zomer is minder berging in de percelen. Met WIS wordt de grondwaterstand lager in de winter (minder bol) en hoger (minder hol) in de zomer. Bij WIS neemt de hoeveelheid oppervlakkig afspoelend water wel af. Vooral aan het einde van de zomer (augustus en september) als de grondwaterstand door de WIS hoger wordt gehouden, maar het neerslagoverschot positief wordt, leidt dit tot een hogere waterafvoer vanuit percelen naar het oppervlaktewater. Hoewel de bergingscapaciteit van percelen in de winter juist toeneemt bij WIS systemen, neemt de benutting van die berging af omdat het neerslagoverschot sneller wordt afgevoerd (de hydraulische doorlatendheid wordt groter) en daarom neemt de hoeveelheid uitspoelend water toe.

De watervraag neemt bij WIS toe in de zomer omdat de grondwaterstand op het gewenste niveau gehouden moet worden. De infiltratie vanuit de sloten is zonder peilverhoging (en soms ook met peilverhoging) te gering om de grondwaterstanden aan te vullen in periodes met een neerslagtekort. De aanleg van WIS gaat daarom meestal ook gepaard met hogere slootpeilen. WIS houden de grondwaterstand op een relatief constant niveau waardoor wegzijging en verdamping toenemen. Een grotere watervraag leidt tot een toename van inlaatwater (De Wit et al., 2022, Hendriks et al., 2024; Klaassen et al., 2026; Van de Craats et al., 2025). Een uitzondering zijn polders die nu worden doorgespoeld (wat vaak gebeurt door particuliere/ niet afsluitbare inlaten, getrapte doorvoersystemen of bij veel dijkse kwel). Hier zal de vraag naar inlaatwater niet toenemen ten opzichte van de huidige (onwenselijke) situatie omdat het doorspoelwater eerst de percelen intrekt (Klaassen et al., 2026). Gemalen hebben een grotere afvoercapaciteit nodig (mits de peilmarge hetzelfde blijft en er geen peilstijging toegelaten wordt), omdat in de winter sneller water wordt afgevoerd. De grondwaterstand kan bij actieve WIS (AWIS) hoger worden gehouden dan het oppervlaktewaterpeil. Dit kan leiden tot 'kortsluiting' waarbij door het drukverschil, water vanuit de percelen naar het oppervlaktewater stroomt. Netto leidt de toepassing van AWIS met grondwater-

standen hoger dan oppervlaktewaterpeilen niet tot een extra watervraag (door inlaat) voor een gehele polder, maar de bruto flux (en nutriëntenbelasting!) van perceel naar sloot wordt door het rondpompen van water wel (veel) groter.

HAKLAM

Actief sturen op oppervlaktewaterpeilen binnen een bepaalde marge in een bepaalde periode (bijvoorbeeld **HAKLAM** (hoog als het kan, laag als het moet)) kan leiden tot (veel) meer watertransport (af- en aanvoer) en dus ook inlaatwater (Witteveen+Bos, 2024). Het door verdamping laten uitzakken van oppervlaktewaterpeilen in plaats van actief water afdalen heeft effect op watertransport vanuit het perceel naar het oppervlaktewater, waarbij actieve afdaling leidt tot een hydraulisch drukverschil en meer transport van water vanuit het land naar het oppervlaktewater.

Belangrijkste door vernatting beïnvloede hydrologische processen voor de waterkwaliteit

- Door vernatting **worden stroombanen ondieper** en minder lang omdat het neerslag-overschot minder diep door de bodem van perceel naar de sloot wordt afgevoerd als gevolg van een kleiner bergingscapaciteit in de percelen.
- **Oppervlakkige afspoeling neemt toe** door de hogere (grond)waterstanden bij gelijkblijvende meteorologie.
- **Kwel neemt af en wegzijging neemt toe** bij hogere sloot- en grondwaterpeilen, waardoor de hoeveelheid inlaatwater toeneemt.
- **Watertransport tussen land en water** (intrek, uit- en afspoeling) **neemt netto op jaarniveau toe** bij hogere slootpeilen doordat over het algemeen de watervraag (en hoeveelheid inlaatwater) toeneemt. De **waterafvoer** neemt toe of af bij een neerslag-overschot (afhankelijk van de waterberging in het perceel). Bij een kleine drooglegging of WIS systemen zal de waterafvoer vanuit percelen naar het oppervlaktewater toenemen.
- Vernatting leidt **niet tot een verandering van de waterberging in het oppervlaktewatersysteem** door hogere slootpeilen omdat de peilmarges gelijk blijven.
- **In het oppervlaktewatersysteem kan de verblijftijd van het water toe- of afnemen. De verblijftijd zal toenemen** door een toename in open wateroppervlak en waterdiepte. De **verblijftijd neemt echter af** door een toename van waterfluxen (watervraag/inlaat, af- en uitspoeling).

Kennislacunes

- In generieke zin zijn de effecten van vernatting op hydrologische processen bekend. In welke mate en tot op welke afstand van de sloot dit in de praktijk effect heeft in percelen is lastig te voorspellen en hangt af van bodemeigenschappen en andere omgevingsvariabelen. **Gedetailleerde kennis over de verschillen van hydrologische effecten van vernatting in verschillende bodemtype is nog een kennislacune.** Dit is niet alleen van belang voor de effecten van vernatting op water- en stofstromen en hiermee de waterkwaliteit, maar ook voor de effecten van een veranderend klimaat.

2.2.1 EFFECTINSCHATTING VAN VERNATTINGSCENARIO'S OP HYDROLOGISCHE PROCESSEN

Aan de hand van de in deze paragraaf beschreven hydrologische processen zijn in Tabel 2 de effecten van vernatting voor verschillende scenario's voor de meest belangrijke parameters samengevat. Het gaat hierbij nadrukkelijk om een combinatie van bewezen kennis en expert judgement. De effectinschattingen zijn weergegeven met behulp van de in Tabel 1 weergegeven schaal.

In de uitgangssituatie zakken de grondwaterstanden uit in langdurig droge perioden in de zomer, terwijl het oppervlaktewater op peil wordt gehouden door inlaat van (gebiedsvreemd) water. Vernatting leidt in alle scenario's tot een toename van de grondwaterstand in de percelen.

Voor het verdere hydrologische effect van vernatting in relatie tot waterkwaliteit zijn de volgende parameters belangrijk: 1. verandering van kwelinvloed (meestal een afname van kwel of een toename van wegzijging, behalve bij scenario's 2a en 2b), verandering van de watervraag (vrijwel altijd een toename), verandering van verblijftijd van water in het watersysteem (dit kan zowel om een afname gaan als om een toename) en verandering van de hoeveelheid uitspoelend en afspoelend water (dit kan zowel om een afname gaan als om een toename).

Voor de volledigheid is ook een beschouwing gemaakt van de bergingscapaciteit van percelen en watersysteem (neemt meestal af, behalve bij scenario's 2a en 2b), totale afvoer van water (neemt meestal af, behalve bij scenario's 2a en 2b) en de benodigde gemaalcapaciteit (neemt vrijwel altijd toe, omdat het water of sneller oppervlakkig afstroomt bij intensieve neerslag of omdat het water effectief wordt afgevoerd door de toenemende ontwateringscapaciteit onder scenario's 2a en 2b).

Hieronder beschouwen we de gevolgen voor de waterkwaliteit bepalende processen.

Indien alleen het slootpeil wordt opgezet (**scenario 1**), zal het effect op de grondwaterstand in de zomer beperkter zijn dan in de andere scenario's, waarbij het effect toeneemt bij meer peilopzet. Bij meer peilopzet wordt de effectiviteit minder groot, omdat in de winter een steeds groter deel van het neerslagoverschot niet wordt vastgehouden. Zoals eerder beschreven, neemt hierbij de bergingscapaciteit af. Bij actieve vernatting met WIS of greppelinfiltratie (**scenario 2**) en bij het actief inunderen van percelen (**scenario 3**) zullen de grondwaterstanden op de percelen substantiëler stijgen.

Overige effecten zijn als volgt (focus op het zomerhalfjaar):

- De invloed van kwel in de zomer neemt af naarmate de grondwaterstand verder stijgt (of kwel verandert in wegzijging). In gebieden met wegzijging neemt de wegzijging verder toe. Dit is vooral een aandachtspunt bij **scenario 2c en scenario 3**.
- De benodigde inlaat van water voor slootpeilverhoging en vernatting neemt substantieel toe in **scenario 2 en scenario 3**, terwijl die bij **scenario 1** slechts in beperkte mate verandert.
- De verblijftijd verandert verschillend als gevolg van de verandering in waterdiepte, de verandering van de hoeveelheid inlaatwater en verandering van uit- en afspoeling. Bij jaarrond vernatting door peilverhoging (**scenario 1 en scenario 3a en 3c**) neemt de verblijftijd vooral (iets) toe, omdat de waterdiepte toeneemt. Bij actieve vormen van vernatting (**scenario 2 en scenario 3b**) neemt de verblijftijd (substantieel) af, omdat over-

tollig water in de winter (of later in het jaar) (effectief) wordt afgevoerd en in de zomer weer (effectief) aangevoerd moet worden ten behoeve van peilopzet (**scenario 2c**) of het handhaven van een grondwaterstand (**scenario 2a en 2b**). Ook **scenario 3b** gaat gepaard met een kortere verblijftijd, maar dat is vooral in de winter als het waterpeil tijdelijk wordt opgezet. De verblijftijd in de zomer kan toenemen, maar alleen als het wateroverschot zoveel mogelijk wordt vastgehouden in het betreffende compartiment.

- De uitspoeling neemt af, omdat er met toenemende vernatting en afnemende bergingscapaciteit steeds meer water oppervlakkig afspoelt. In **scenario 1** geldt weer dat de uitspoeling afneemt en de afstroming toeneemt naarmate het waterpeil hoger wordt opgezet. Voor **scenario 3a en 3c** geldt dat vrijwel al het wateroverschot van percelen via afstroming verloopt. Uitzonderingen vormt de uitspoeling in de winter bij **scenario 2a en 2b**. Door effectieve drainage spoelt vrijwel alle wateroverschot uit en is er vrijwel geen sprake van afstroming. Bij ontwatering door greppels (**scenario 2c**) wordt water in de zomer oppervlakkig effectief afgevoerd. Voor de waterkwaliteit kan dit als afstroming worden gezien. Bij periodiek plas-dras (**scenario 3b**) is er een groot risico op toename van afstroming, maar dit hangt ook sterk af van het beheer. Als het water zoveel mogelijk wordt vastgehouden, is de toename minder groot.

Tabel 1

Schaal van effectinschatting.

+ t/m +++++	positief effect (ofwel toename) te verwachten
+/-	een positief effect (toename) ofwel negatief effect (afname)
0	neutraal ofwel geen effect te verwachten
- t/m -----	negatief effect (ofwel afname) te verwachten

Tabel 2 Inschatting van netto jaareffecten van verschillende vernatting scenario's op hydrologische processen t.o.v. de uitgangssituatie, rechts (in donkerblauw) de belangrijkste factoren.

Scenario			Kwelinloed in water-systeem **	Watervraag inlaatwater (totale aanvoer in de zomer)	Benodigde afvoer capaciteit gemaal	Bergingscapaciteit oppervlaktewater	Effectinschatting				Bergings-capaciteit percelen		Grondwaterstand		Uitspoeling		Afspoeling		toelichting	
							Totale afvoer	Verblijftijd				zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer		winter
1	Vernatting door slootpeil-verhoging																			
a	tot ≈ −40 cm onder maaiveld		0/-	0/+	0/++	0	0/-	+		0/-	-	0/+	+	0/-	-	0/+	+	1		
b	tot ≈ −20 cm onder maaiveld		-	0/+	0/+++	0	-	++		-	--	+	++	-	--	+/++	++			
c	tot vlak onder maaiveld		--	0/+	+/+++	0	--	+++		-/--	---	+/++	+++	-/--	---	+/+++	+++	2		
2	Vernatting door slootpeilverhoging met actieve maatregelen verhoging grondwaterstand																			
a	met passieve water infiltratiesystemen (PWIS)		-/+	++	+++	0	++	---		--/--	++	++/+++	--	0/--	++++	----	----			
b	met actieve waterinfiltratiesystemen (AWIS)*		-/+	+++	+++	0	+++	----		--	+++	+++	--	0/--	+++++	----	----	3		
c	met greppelinfiltratie		---	++++	++++	0	0/-	--		----	-	++++	+	--	0	++	0			
3	Vernatting door slootpeilverhoging met (kans op) inundatie van percelen																			
a	Actieve inundatie van percelen		---	+++++	+++++	0	---	+		----	---	+++++	+++++	----	--	+++++	+++++			
b	Periodiek plas dras		---	0/+	++++	0	-	-		-	---	+	+++	++	--	+	+++	4		
c	Vernatting met langdurige inundatie periode		----	+++++	+++++	0	--	+		---	----	+++	+++++	----	--	+++++	+++++			

Toelichting	
1	Vanwege emmereffect kan benodigde afvoercapaciteit flink hoger worden als eerder -60 werd aangehouden; ca. 10% van ruimte is beschikbaar voor water; een bui van 60 mm vult in theorie 60 cm bodem, een bui van 40 mm 40 cm bodem, etc. het overschot gaat naar het gemaal
2	hangt af van perceelbreedte, bodemeigenschappen, kwel/wegzijing en morfologie perceel (een bol perceel stroomt sneller af dan een hol perceel)
3	geen groot verschil met 2a, omdat met passieve drainage al een groot effect wordt verwacht, met actieve drainage wordt sneller de gewenste toestand bereikt en op plekken waar het met passieve drainage moeizaam gaat, is nu het uitgangspunt
4	plas dras is vooral in het voorjaar, in de zomer is de situatie niet veel anders dan normaal, (in de zomer nu vergelijkbare situatie als uitgangssituatie gehanteerd (-40 en begreppeling tbv plas dras))
*	incl. HAKLAM
**	Toename in kwelinvloed kan komen door toename kwel of afname wegzijing. Dit is gerekend over gehele gebied, waarbij effect het grootst is in de watergang

Parameter	Toelichting
Grondwaterstand	zomer + betekent toename gwstand t.o.v. zomer referentie
	winter + betekent toename gwstand t.o.v winter referentie
Kwelinvloed in watersysteem	+ betekent toename kwel of afname wegzijing; gerekend over gehele gebied, waarbij effect het grootst is in de watergang
Watervraag inlaatwater (totale aanvoer in de zomer)	+ betekent toename watervraag ten opzichten van totale aanvoer
Benodigde afvoer capaciteit gemaal	+ betekent toename benodigde afvoercapaciteit; gaat om piekafvoeren
Bergings-capaciteit oppervlaktewater	+ betekent toename bergingscapaciteit, waarbij zuiver binnen huidige grenzen van de watergang is gekeken
Totale afvoer	+ betekent toename totale afvoer
Verblijftijd	+ betekent toename verblijftijd
Bergings-capaciteit percelen	+ betekent toename bergingscapaciteit
	+ betekent toename bergingscapaciteit
Uitspoeling	+ betekent toename uitspoeling
Afspoeling	+ betekent toename afspoeling

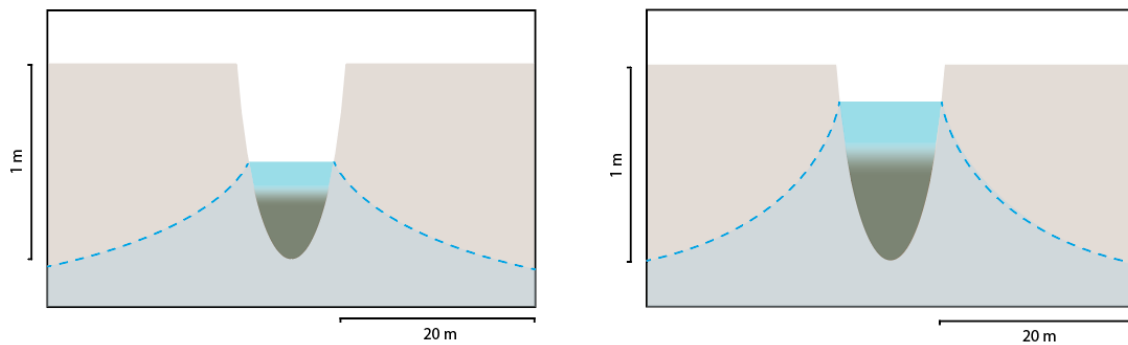
2.3 EFFECTEN VAN VERNATTING OP FYSISCH PROCESEN

In deze paragraaf worden de mogelijke effecten van vernatting en vernattingsmaatregelen op fysische processen beschreven. Deze fysische processen vinden veelal op de oever plaats en leiden mogelijk tot een extra aanwas van dun veraard veen (ook slib of bagger genoemd) naar de waterbodem. Door deze fysische processen kunnen de fysieke omstandigheden in en om de sloot veranderen, wat een direct effect kan hebben op de ontwikkeling van watervegetatie en daarmee op de ecologische waterkwaliteit.

SLIBLAAG

Data van o.a. het project Veenweidesloot van de Toekomst (VeeST) laten zien dat in de huidige situatie veenweidesloten worden gekenmerkt door een dikke laag slib (in de helft van de sloten meer dan 86cm dik), een beperkte waterdiepte (in de helft van de sloten minder dan 37cm) en een zeer beperkte aanwezigheid van waterplanten (Van Rotterdam et al., 2026). De chemische samenstelling van het slib is veelal ongunstig voor wortelende waterplanten door toxische gehalten aan ammonium en een hoge beschikbaarheid van fosfaat als gevolg van oxidatie-reductie (redox) processen in het slib. In de figuren van deze rapportage zijn sliblagen niet expliciet weergegeven omdat het nog een kennislacune is hoe de dikte van de sliblaag verandert in verschillende vernattingsscenario's. Omdat de hoeveelheid en samenstelling van de sliblaag in de huidige situatie in veenweidesloten vaak een dominante rol speelt in de waterkwaliteit is de aanwezigheid van de sliblaag schematisch weergegeven in Figuur 15.

Figuur 15 Schematische weergave van twee sloten met verschillende waterpeilen. In deze voorbeeldsloten wordt de dikte van de sliblaag weergegeven zoals deze in de huidige situatie vaak wordt aangetroffen in het veenweidegebied.



De samenstelling van **de sliblaag van de sloten** in het veenweidegebied lijkt vaak sterk op die van de bodemlagen van het perceel en de oever. Het slib bestaat uit dun veraard veen, afkomstig van erosie van de naastgelegen percelen, aangevuld met dode resten van waterplanten en algen (Poelen en Smolders, 2015, Evans en Warburton, 2007). In de huidige staat van de veenweidesloten is de bijdrage van vegetatieresten aan de opbouw van slib klein. Slib in het veenweidegebied bestaat vooral uit dun veraard veen dat (deels) is ontstaan door erosie onder de waterlijn van de naastgelegen percelen (Van Rotterdam en Moria, 2024). De data van VeeST onderschrijft dit: op basis van het gehalte aan de meest inerte elementen (Si en Al) komt de samenstelling van het slib beter overeen met het gehalte in de bodem op 25-50 cm diepte dan op een diepte van 0-25 cm-mv, gemeten op 1 m vanaf de oever. Dit bevestigt dat het slib afkomstig is door erosie van de bodem onder de waterlijn (Van Rotterdam et al., 2026). De slootbodem onder de sliblaag is nooit aan zuurstof blootgesteld waardoor de bodemstructuur van dit onveraarde veen vaak nog intact is.

DRAAGKRACHT EN DE SCHUIFSPANNING

Door vernatting van veraard veen wordt de **draagkracht** en de **schuifspanning** in percelen minder groot. De schuifspanning van veen (de energie die nodig is om deeltjes te laten schuiven) neemt af met een toenemende mate van bevochtiging en van veraarding van het veen (Tuukkanen et al., 2014). Wanneer veraard veen verzadigd raakt met water heeft het weinig structuur (samenhang tussen bodemdeeltjes) en kan de bodem gemakkelijk wegspoelen naar de sloot. Gemineraliseerd veen is daarom gevoeliger voor erosie dan intact veen dat niet aan zuurstof is blootgesteld (Evans en Warburton, 2007). Een meerjarig onderzoek in het Wormer- en Jisperveld toonde aan dat mineralisatie van veen en erosie van de ‘slappe’ oevers onder invloed van windwerking de belangrijkste oorzaken zijn voor de aanvoer van slib (Van Diggelen et al., 2013). Oevervegetatie is essentieel voor het beschermen van de oever tegen erosie van het veraarde veen (Van Rotterdam et al, 2023).

TOMPOUCE

De oorzaak voor de aanwas van dun veraard veen in de slootbodem gaat waarschijnlijk verder dan alleen erosie van oevers. ‘**Tompouce**’ is het vermeende fenomeen waarbij (veraarde) veenbodems in de percelen zelf heel langzaam onder invloed van druk naar de plek van de minste weerstand stromen: de sloot. Het gaat hierbij om de relatief ‘slappe’ bodemlaag tussen de steviger bewortelde toplaag en de steviger onveraarde diepere veenlaag; de (temporeel waterverzadigde) veraarde bodemlaag waar grondwaterpeilen fluctueren tussen zomer (hol, GLG) en winter (bol, GHG).

Het vermeende ‘tompouce effect’ wordt onderschreven door de data van het VeeST project wat betreft de gemeten onderholling en de afname in draagkracht onder de wortelzone in oever en perceel. De gemeten draagkracht neemt in de oever wel iets toe over de diepte vanaf zo’n 30cm diepte, maar op het perceel is tot 80 cm onder maaiveld geen sprake van de tegendruk zoals een ‘tompouce’ analogie doet vermoeden; het stevigere veen ligt dus meestal dieper dan 80cm onder maaiveld. Het tompouce effect wordt ook onderschreven door de vergelijkbare samenstelling van het slib en diepere (25-50cm) bodemlaag van oevers (van Rotterdam et al., 2026).

Bij vernatting wordt het ‘Tompouce-effect’ naar verwachting (tijdelijk) groter omdat gedurende een langere periode in het jaar en over een grotere diepte het veraarde veen wordt vernat. Door vernatting zal met name in het voor- en najaar de draagkracht van het perceel langer beperkt zijn voor beweiding en machines. Dit effect neemt toe met de mate van vernatting. Een extreem voorbeeld is wanneer het slootpeil sterk (30 cm) wordt verhoogd van een peil ten behoeve van de landbouw naar een waterpeil ten behoeve van natte natuurdoelen. Door de diepe ontwatering met het landbouwkundige peil is het veen tot ver (afhankelijk van de GLG) in het bodemprofiel geoxideerd. Na peilopzet neemt de draagkracht van het geoxideerde structuurloze veraarde veen in de bodem af en zal het gemakkelijker richting sloot ‘stromen’. Dit proces zal op termijn mogelijk minder worden omdat aerobe veenafbraak minder wordt en omdat een grotere waterkolom in de sloot meer tegendruk geeft.

OEVEREROSIE

Door vernatting is de verwachting dat **meer oevererosie** (onder en rond de waterlijn) zal plaatsvinden als er voorafgaand aan het verhogen van de slootpeilen geen (inundatietolerante) moerasplanten op/ in de oever staan en na vernatten de fysische oeverbelasting en het vegetatiebeheer niet worden aangepast (Figuur 16). Inundatietolerante soorten hebben meer ruimte om zich te vestigen op flauwe oevers en in gebieden waar het waterpeil langzaam wordt verhoogd.

VEGETATIE

Vegetatie speelt een sleutelrol voor alle processen die de oever belasten en een risico vormen voor de waterkwaliteit (o.a. Van Rotterdam et al., 2020). De wortels van vegetatie geven veraard veen structuur en stabiliteit. Vegetatie in de aquatische oeverzone beschermen deze tegen stroming en golfslag en tegen het wegspoelen van het veen vanuit de terrestrische oever. Een studie naar het effect van vegetatie en het verwijderen daarvan op erosie en de stabiliteit van oevers laat zien dat wortels ook een belangrijke rol spelen in het stabiliseren van oevers en dat het weghalen van vegetatie (door maaien) het risico op erosie vergroot (Aviles et al, 2020). Aangezien erosie juist rond de waterlijn optreedt, vormen helofyten de belangrijkste groep met betrekking tot oeverstabiliteit. Daarnaast beschermt vegetatie veenoevers tegen afbraak en uitdroging in de zomer.

Figuur 16

Links: Oevererosie onder de waterlijn waardoor de toplaag van de bodem afkalft (bij een hoger slootpeil is de onderholling niet te zien). Rechts: Oevervegetatie beschermt de oever ook onder de waterlijn tegen erosie (Foto's: Debby van Rotterdam).



AFKALVING

Door vernatting is de verwachting dat **afkalving** (zichtbaar verlies aan land boven de waterlijn; erosie wordt hier gebruikt voor landverlies onder de waterlijn) **kan toe- of afnemen**. Afkalving boven de waterlijn vindt in het veenweidegebied vooral plaats in bredere watergangen en bij klei op veen. In deze brede watergangen, en/of hoofdwatertgangen zijn stroming en golfslag belangrijke oorzaken van afkalving (Van Rotterdam et al., 2020). Als de oever steil is geworden, is deze kwetsbaar voor factoren die afkalving verder versterken zoals kreeften en woelende vissen. Als door vernatting het wateroppervlak en de waterdiepte toenemen zal de stroomsnelheid afnemen (Klaassen et al., 2026) (alleen bij de toepassing van HAKLAM zal de stroomsnelheid toenemen). De verwachte impact van stroming op de oever wordt dan kleiner. Door een groter wateroppervlak en meer waterdiepte kan er mogelijk wel meer invloed van windwerking zijn op de oever. Afkalving kan ook toenemen in gebieden waar de stroomsnelheid toeneemt door een toename in water aan- en afvoer. Dit is bijvoorbeeld het geval bij WIS-systemen. Door de kleinere waterberging in percelen wordt dan sneller water afgevoerd en aangevoerd (zowel in de zomer als winter). Daarnaast moet er ongeveer 2/3 van het jaar meer water via het watersysteem naar de percelen worden aangevoerd. Dit komt door een grotere watervraag vanuit de percelen door meer verdamping, wegzijging en minder perceelsberging (o.a. Hendriks et al., 2024).

WATERABSORBEREND VERMOGEN VEEN

Veen wordt door vernatting in de zomer **minder snel hydrofoob**. Dit is positief omdat hydrofoob veen niet of nauwelijks water opneemt in de bodem, wat leidt tot oppervlakkige afstroming van (intensieve) buien na een droge periode. De sponswerking, die een veenbodem van nature heeft, neemt namelijk af bij langdurige drainage en verdroging (Penning et al. 2024). De waterberging is dan zeer beperkt en de interactie met de nutriëntenverrijkte toplaag van de bodem is hoog, wat kan leiden tot verhoogde uit- en afspoeling naar het oppervlakte-water. Dit proces speelt met name in gebieden met een vrij grote drooglegging (>50cm-mv).

KWELDRUK

In kwelgebieden **neemt de kweldruk af** door hogere slootpeilen, wat effect heeft op chemische en fysische processen:

- minder risico op opbarsting van slib of dun veraard veen in de slootbodem (door verminderde kweldruk) en
- minder aanvoer van ijzer, calcium, sulfaat, fosfor en ammonium met het kwelwater naar de waterbodem en het water.

WATERDIEPTE

Een hoger slootpeil als gevolg van vernatting leidt naar verwachting tot een **grotere waterdiepte**. Een grotere waterdiepte geeft meer tegendruk tegen de oever en vermindert daarmee de aanwas van slib. Het is daarentegen ook mogelijk dat vernatting leidt tot een toename in slibaanwas door erosie en het vermeende ‘tompouce’ effect (zie voorgaande punten) wat leidt tot een minder grote toename in waterdiepte dan verwacht op basis van alleen peilopzet. Een grotere waterdiepte is met name gunstig in sloten waar de waterdiepte in de uitgangssituatie beperkt was (<30 cm). Bij een grotere waterdiepte wamt de slootbodem minder snel op waardoor de biogeochemische processen die leiden tot vrijkomen van ammonium, fosfaat en zelfs methaan minder snel gaan. In kwelssystemen wordt mogelijk wel minder koel kwelwater aangevoerd.

WATEROPPERVLAK (GEBIEDSNIVEAU)

Vernatting door hogere slootpeilen leidt ook tot meer **wateroppervlak met ondiep water** langs oevers (Moria et al., 2023; Moria et al., 2025). De mate waarin dit gebeurt hangt samen met de verandering in drooglegging in relatie tot maaiveldhoogte en de morfologie van de oevers in de uitgangssituatie: hoe flauwer de oever hoe groter het nieuwe (ondiepere) wateroppervlak wordt. Dit grotere wateroppervlak heeft een direct effect op zowel de chemische als biologische waterkwaliteit. Een groter wateroppervlak leidt tot (Moria et al., 2025):

- Een hogere connectiviteit tussen slootwater en voorheen bemest perceel met een hoger risico op nalevering van nutriënten;
- Meer potentieel habitat voor moerasplanten die nutriënten opnemen en zuurstof in de slootbodem brengen. Toch zien we in veel gebieden (De Nesse, Hegewarren, Mastenbroek, lokaal in Taartpunt, Oostelijke binnenpolder) een beperkte vegetatieontwikkeling op oevers onder de waterlijn. Ook als oevers wel flauw en stevig zijn.
- Meer ondiep water in de nieuwe aquatische oeverzone op (voormalig) landoppervlak waardoor het interactieoppervlak tussen het water en de nieuwe waterbodem toeneemt. De slootbodem in dit ondiepe water kan in de zomer snel opwarmen en anaeroob worden waardoor fosfor, ammonium en bicarbonaat vrij kunnen komen. Dit effect neemt toe naarmate het ondiepe wateroppervlak toeneemt.

PLASVORMING

Bij een bolle grondwaterstand in holle percelen of op lager gelegen percelen in een peilvak kan **langdurige plasvorming of tijdelijke inundatie** optreden. Hierbij gaat terrestrische vegetatie, zoals gras, dood waardoor het veen zwart komt te liggen. Als gevolg breekt het veen sneller af en daalt op die plekken de bodem juist sneller. Dit fenomeen is zichtbaar op plas-dras percelen die meerdere jaren achterelkaar plas-dras worden gezet.

Belangrijkste door vernatting beïnvloede fysische processen voor de waterkwaliteit

- **Slib** is van groot belang voor de oppervlaktewaterkwaliteit en bestaat uit dun veraard veen, afkomstig van **erosie van de naastgelegen percelen**, aangevuld met dode resten van waterplanten en algen.
- Vernatting van veraard veen leidt tot een verminderde **draagkracht** en **schuifspanning** in percelen. Na peilopzet kan het geoxideerde structuurloze veraarde veen gemakkelijk eroderen door de interactie tussen het veraarde veen en water.
- Bij vernatting wordt het **‘Tompouce-effect’** naar verwachting (tijdelijk) groter.
- Door vernatting is de verwachting dat **onder en rond de waterlijn meer oevererosie** zal plaatsvinden.
- Door vernatting is de verwachting dat **boven de waterlijn afkalving kan toe- of afnemen**.
- Veen wordt door vernatting in de zomer **minder snel hydrofoob**.
- Een hoger slootpeil als gevolg van vernatting leidt naar verwachting tot een **grotere waterdiepte**, maar versterkte erosie en afkalving zouden dit effect kunnen verminderen.
- Vernatting leidt tot meer **wateroppervlak met ondiep water** langs oevers (afhankelijk van de sloot morfologie).

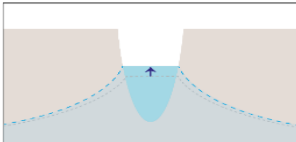
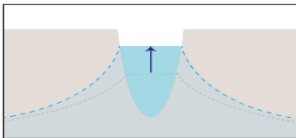
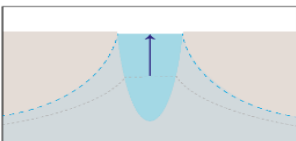
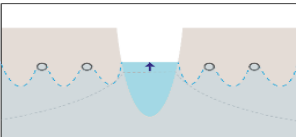
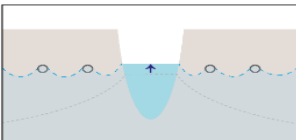
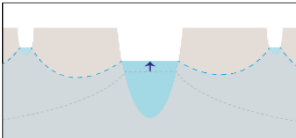
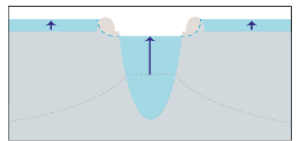
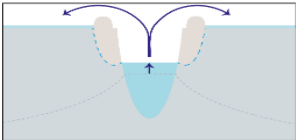
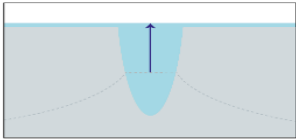
Kennislacunes

- Door vernatting van veraarde veenbodems neemt de draagkracht en schuifspanning af, wat het vermeende ‘tompouce’ effect mogelijk vergroot. Het is echter nog **onduidelijk welke bodemeigenschappen** (veentype, veeneigenschappen, bodemopbouw, diepte van ontwatering) **en welke omgevingsfactoren** (b.v. zuurgraad, zoutgehalte) **dit proces bepalen en versterken** én daarmee ook welke potentiële maatregelen dit proces kunnen verminderen of mitigeren.
- Het is niet bekend wat het **netto effect is van vernatting op erosie** (onder de waterlijn) en op de waterdiepte, en welke bodem- en oevereigenschappen hier bepalend voor zijn. Oevervegetatie speelt een cruciale rol bij de stabiliteit van oevers. Het is onbekend in hoeverre de snelheid waarmee slootpeilen worden opgezet van invloed zijn op het risico op erosie.
- Het is niet bekend waarom na peilopzetten de ondiepe oeverzone onderwater, ook als deze ondiep en flauw is, niet of nauwelijks wordt begroeid.

2.3.1 EFFECTINSCHATTING VAN VERNATTINGSCENARIO’S OP FYSISCHE PROCESSEN

Aan de hand van de in deze paragraaf beschreven fysische processen zijn in Tabel 3 de effecten van vernatting voor verschillende scenario’s voor de meest belangrijke paramaters samengevat. Het gaat hierbij nadrukkelijk om een combinatie van bewezen kennis en expert judgement. De effectinschattingen zijn weergegeven met behulp van de in Tabel 1 weergegeven schaal.

Tabel 3 **Inschatting van netto jaareffecten van verschillende vernatting scenario's op fysische processen t.o.v. de uitgangssituatie, rechts (in donkerblauw) de belangrijkste factoren.**

Scenario			Effectinschatting						toelichting	
			Risico op verpapping maaveld	Risico op hydrofoob maaveld	Wateropper- vlakte	Waterdiepte in sloot	Risico op oevererosie & slibaanwas*	Risico op oeverafkalving boven waterlijn		
1	Vernatting door slootpeil-verhoging									
a	tot ≈ -40 cm onder maaiveld			0	-	0/+	0	+	0/-	1,2
b	tot ≈ -20 cm onder maaiveld			0	--	+ / ++	+	++	- / +	2
c	tot vlak onder maaiveld			+	---	++ / +++	++	+++	- / +	2
2	Vernatting door slootpeilverhoging met actieve maatregelen verhoging grondwaterstand									
a	met passieve water infiltratiesystemen (PWIS)			0	-	0/+	0	+	+	
b	met actieve waterinfiltratiesystemen (AWIS)*			0	-	0/+	0	++	++	3
c	met greppelinfiltratie			+	-	0/+	0	++	+	
3	Vernatting door slootpeilverhoging met (kans op) inundatie van percelen									
a	Actieve inundatie van percelen			++++	----	+ / ++	++	+++	0	
b	Periodiek plas dras			++	---	0/+	0	+	++	4
c	Vernatting met langdurige inundatie periode			+++	----	++++	++	+++	0	

Toelichting	
1	• risico op erosie neemt toe omdat een deel van het veraarde veen waterverzadigd raakt • de mate waarin wateroppervlak groter wordt hangt af van talud/mate waarin oevers verzakt en vertrapt zijn
2	minder afkalving als stroomsnelheid water afneemt omdat het wateroppervlak en waterdiepte groter worden, windwerking wordt wel groter en risico op afkalving door vertrapping ook omdat de draagkracht kleiner wordt
3	risico op erosie neemt meer toe dan bij alleen peilopzet omdat er actief water het perceel in wordt gepompt en er niet alleen bij drains, maar ook bij verzakte/ zwarte kanten weer uit kan lopen
4	wanneer alleen het wateroppervlak dat onderdeel is van het oppervlaktewatersysteem wordt meegeld dan is het effect vergelijkbaar met peilopzet omdat er een dijkje zit tussen percelen en sloot
*	incl. HAKLAM

Voor het effect van vernatting zijn de drie belangrijkste fysische parameters die een direct verband hebben met de waterkwaliteit:

1. Het risico op erosie onder de waterlijn en daarmee op de aanwas van slib;
2. Het risico op afkalving boven de waterlijn;
3. De waterdiepte in de sloot.

Daarnaast kunnen andere fysische processen optreden die mogelijk ook relevant zijn voor de waterkwaliteit. Dit zijn: het risico op verpapping of juist hydrofoob worden van de toplaag van het perceel en de mate waarin het wateroppervlak toeneemt.

Het effect van **scenario 1** (slootpeil verhogen) op erosie onder de waterlijn neemt toe naarmate de mate van peilverhoging groter wordt. Hierbij moet worden opgemerkt dat er een uitdrukkelijk verschil bestaat tussen slootpeilen die altijd al hoog waren en het verhogen van slootpeilen. Bij het verhogen van slootpeilen in voormalig ontwaterde veengebieden is de kans op erosie afhankelijk van de diepte waarop het grondwater (in het verleden) is uitgezakt en de veenlaag veraard is. Zoals gezegd, wordt de schuifspanning van dit veraarde veen lager als het wordt vernat. Het beperkende effect op de draagkracht van het perceel neemt toe naarmate de mate van vernatting toeneemt.

Daarbij is ook de **snelheid van peilverhoging** van belang. Hoe sneller het slootpeil wordt opgezet, hoe groter het risico dat de oever instabiel wordt. Voor een stevige oever is oevervegetatie van groot belang waarvan de wortels bestand zijn tegen natte omstandigheden. Deze oeversorten zijn aangepast aan de natte tot droge omstandigheden in een oevermilieu. Terrestrische grassen zijn niet bestand tegen dergelijke natte omstandigheden, waardoor hun wortels afsterven als deze te lang nat zijn. De veraarde veenbodem wordt dan niet meer bij elkaar gehouden. Als het slootpeil wordt opgezet is het van belang dat de oever beschermd wordt en blijft door oevervegetatie. Als de peilverhoging te snel gaat, krijgt oevervegetatie geen kans om zich te ontwikkelen, terwijl (terrestrische) grasvegetatie afsterft als het onderwater komt te staan. Hierdoor is de oever niet meer beschermd, wat leidt tot een groot risico op erosie en slibaanwas.

In **scenario 1** neemt het wateroppervlak toe naarmate het peilopzet groter wordt. De kans dat de toplaag van de bodem hydrofoob wordt neemt af.

Scenario 2 heeft een kleiner effect op de fysische aspecten van perceel en oever dan scenario 1. Met AWIS is er een klein additioneel effect op de waterkwaliteit t.o.v. alleen het verhogen van het slootpeil omdat water rond wordt gepompt van sloot naar perceel en terug als de grondwaterstand hoger wordt gehouden dan het slootpeil. Door greppelinfiltratie wordt de grondwaterstand relatief hoog ten opzichte van het slootpeil wat mogelijk tot een extra risico leidt op erosie onder de waterlijn.

Scenario 3 heeft de grootste effecten op de fysische aspecten van perceel en oever. De mate van vernatting van het voorheen ontwaterde veen is groter dan in scenario 1 en het risico op erosie van het veraarde veen onder de waterlijn neemt daarmee ook toe. Omdat het water gedurende een groot deel van het jaar tot maaiveld staat, of zelfs (tijdelijk) geïnundeerd is, neemt ook het risico op verpapping van het maaiveld en daarmee op erosie van de toplaag toe. Dit effect vermindert uiteraard als vegetatie is gevestigd die hoort bij de nieuwe omstandigheden. Een hoger slootpeil geeft mogelijk ook tegendruk aan de oever met als gevolg minder kans op erosie onder de waterlijn.

Het onderwater zetten van percelen door water op te pompen vormt een uitzondering. Als het perceel langdurig onderwater staat, zal de grasvegetatie afsterven en zal de bodem zwart komen te liggen. Hierdoor neemt het risico op verpapping toe. Omdat over het algemeen holle percelen onderwater worden gezet of dijkes worden aangelegd om het afvloeien van het water te voorkomen, is het risico voor de waterkwaliteit beperkt. Door het gewicht van het water op het perceel is het echter mogelijk dat het risico op erosie van het veraarde veen onder de waterlijn toeneemt.

Net als bij scenario 1 is de ontwikkeling van inundatietolerante oevervegetatie die het structuurloze veraarde veen bij elkaar houdt essentieel. Zowel voor de snelheid waarmee het peil wordt opgezet als de mate van peilopzet moet de aan de nieuwe omstandigheden aangepaste vegetatie mee kunnen 'groeien'. Beheer is hierin essentieel: maximaal 1 keer per jaar maaien, wortels intact houden en vegetatie en bagger niet in de oeverzone leggen zijn hierin de uitgangspunten.

2.4 EFFECTEN VAN VERNATTING OP BIOGEOCHEMISCHE PROCESSEN

De waterkwaliteit wordt beïnvloed door zowel de samenstelling van het uit- en afspoelende water vanuit de naastgelegen percelen als door de samenstelling van de onderwaterbodem. Het is van belang te benadrukken dat veenweidesloten in de huidige situatie vaak worden gekenmerkt door een dikke laag (dun) slib, waarvan de chemische samenstelling veelal ongunstig is (door een hoge beschikbaarheid van ammonium en fosfaat als gevolg van reductie (redox)processen in het slib) (o.a. Smolders et al. 2013; Van Rotterdam et al., 2026). De samenstelling van de waterbodem (en dan met name de sliblaag) is meestal de belangrijkste factor die de waterkwaliteit in sloten in de veenweide beïnvloedt. De onderwaterbodem onder het slib bestaat vaak nog uit onveraard veen en is meestal nutriëntenarmer dan het slib. Dit slib bestaat uit bodem die uit de directe omgeving in de sloot terechtkomt en in een landbouwkundig gebruikt perceel gaat het hier altijd om met nutriënten verrijkt materiaal. **Het is dan ook waarschijnlijk dat in veel gevallen de effecten van vernatting op de waterkwaliteit een ondergeschikte rol spelen t.o.v. de invloed van de waterbodem (incl. de sliblaag) op de waterkwaliteit.**

Het overgrote deel van de waterbodem in sloten in het veenweidegebied is vrijwel altijd zuurstofloos (anaeroob, ook onderbouwd door data VeeST project). Wanneer het oppervlaktewater rijk is aan zuurstof (aeroob), zal het toplaagje van de waterbodem ook aeroob zijn. In dit dunne zuurstofhoudende toplaagje van de waterbodem vindt aerobe afbraak (met zuurstof) van organisch materiaal plaats. Zuurstof is een sterke elektronenacceptor, waardoor afbraakprocessen met zuurstof energetisch het meeste opleveren en zuurstof dus als eerste opgebruikt wordt. Het zuurstofrijke toplaagje is daarom vaak slechts enkele millimeters dik (Van Diggelen et al., 2014). Dieper in de waterbodem (>1 cm diepte) is het

zuurstof (vrijwel) geheel opgebruikt. Uit deze anaerobe (zuurstofloze) waterbodems bestaat een kans op nalevering van fosfaat. Hierbij spelen met name twee processen een belangrijke rol: ijzerreductie en sulfaatreductie (Figuur 17). Ijzerreductie leidt tot de mobilisatie van fosfor dat was gebonden aan het daarvoor geoxideerde ijzer. Dit proces is ook bekend als interne eutrofiëring (o.a. Smolders et al., 2006). Sulfaatreductie leidt tot een blijvend verlies aan bindingscapaciteit van fosfor omdat het gereduceerde sulfide (wat wordt geproduceerd tijdens sulfaatreductie) reageert met het gereduceerde ijzer. Door binding aan sulfide neemt de ijzerconcentratie in het poriewater af, waardoor de verhouding tussen ijzer en fosfor in het poriewater daalt. Deze verhouding is belangrijk omdat ijzer in het geoxideerde top laagje kan worden geoxideerd tot ijzer(hydr)oxides waaraan fosfaat kan binden. Wanneer de ijzer: fosfor ratio in het anaerobe deel van de bodem lager wordt dan 3, kan fosfaat naar de waterlaag diffunderen (Smolders et al., 2025). Wanneer de ratio lager wordt dan 1 dan neemt de nalevering zelfs zeer sterk toe (Smolders et al., 2001, Geurts et al., 2010). De mate waarin deze processen optreden in de onderwaterbodem (incl. sliblaag) bepaalt in grote mate de nalevering van nutriënten naar de opstaande waterlaag en daarmee de waterkwaliteit.

Op de percelen speelt de grondwaterstand een belangrijke rol bij de biogeochemische processen die in de bodem plaatsvinden en die de concentratie van nutriënten en andere stoffen in het uit- en afspoelende water bepalen. In de uitgangssituatie zorgt de drooglegging in de zomer in combinatie met verdamping en een neerslagtekort voor het uitzakken van de grondwaterstanden op de percelen. Hierdoor kan zuurstof de bodem indringen, waardoor het veen (aeroob) wordt afgebroken door micro-organismen. Als gevolg van deze veenoxidatie daalt de bodem en komt koolstof vrij in de vorm van CO_2 , stikstof in de vorm van ammonium en nitraat, en zwavel in de vorm, van sulfaat.

Door vernatting van voormalig ontwaterde veenweidebodems middels het opzetten van slootpeilen i.c.m. maatregelen om grondwaterstanden te verhogen worden schommelingen in grondwaterstanden tussen zomer en winter beperkter; in ondiepere bodemlagen krijgen permanent natte condities de overhand. Daardoor **vindt in deze bodemlagen na vernatting anaerobe afbraak plaats** in plaats van aerobe afbraak (Boonman et al., 2024, Harpenslager et al., 2024, Boonman et al. 2025). Verschillende vormen van vernatting kunnen ook leiden tot verschillen in de mate van fluctuatie van de grondwaterstand door het jaar heen en daarmee tot verschillen in de mate van aerobe en anaerobe afbraak en de fluctuaties hierin. Deze reacties worden uitgevoerd door micro-organismen die alternatieve elektronenacceptoren gebruiken (Tokarz & Urban, 2015, De Jong et al., 2020). Deze micro-organismen verkrijgen energie voor groei door de reductie van alternatieve elektronenacceptoren. Op volgorde van hoge naar lage energieopbrengst gaat het om de volgende alternatieve elektronenacceptoren: nitraat, geoxideerd mangaan, geoxideerd ijzer, sulfaat en CO_2 . Over het algemeen gaan anaerobe processen langzamer dan aerobe processen, omdat er minder energie vrijkomt bij deze reacties dan bij reacties met zuurstof. **De totale veenafbraak neemt na vernatting van het perceel dus vrijwel altijd (fors) af** (Tolunay et al., 2024). De door de verhoogde (grond) waterstand veroorzaakte dominantie in anaerobe condities en processen is hierbij van groter belang voor de veenafbraak dan de chemische samenstelling van het water waarmee vernat wordt. Dit is ook het geval omdat de sterke schommelingen in grondwaterstanden in gedraineerde percelen zorgen voor het cyclisch opladen van alternatieve elektronenacceptoren, die vervolgens weer bij anaerobe veenafbraak gebruikt kunnen worden (ook wel het 'legacy effect' genoemd) (Velstra et al., 2016). Door de sterke wisseling in het grondwaterpeil kan er in dit soort systemen dus netto meer afbraak en dus ook meer nutriëntenmobilisatie plaatsvinden, dan in een systeem met permanent hogere waterstanden.

Bij vernattingsscenario's waarbij alleen de slootpeilen worden verhoogd, is de mate waarin dit speelt (en daarmee ook de hieronder genoemde effecten van vernatting) afhankelijk van het effect op de grondwaterstanden in de percelen. Deze kan, afhankelijk van de omstandigheden (drooglegging, breedte percelen en kwel/ wegzijging) nog wel (fors) uitzakken in de zomer, waardoor veenoxidatie nog steeds plaatsvindt. Daarbij kan door vernatting de veenafbraak in het ontwaterde deel van het bodemprofiel toenemen omdat de vochttoestand verbetert, waardoor gunstigere condities ontstaan voor micro-organismen.

Bij de afbraak van veen komen nutriënten vrij die in het veen gebonden waren, zoals stikstof en fosfor (Figuur 17). Onder zuurstofrijke omstandigheden komt stikstof vrij in de vorm van nitraat. Omdat nitraat mobiel is, kan het oppervlakkig afstromen naar het oppervlaktewater, waar het kan bijdragen aan eutrofiëring. Daarnaast kan nitraat uitspoelen naar diepere bodemlagen of terechtkomen in de zuurstofarme onderwaterbodem. Omdat nitraat (NO_3^-) de energetisch meest gunstige anaerobe elektronenacceptor is (bij afwezigheid van zuurstof), wordt dit onder zuurstofarme omstandigheden relatief snel gereduceerd (gedenitrificeerd) tot stikstofgas (N_2) dat vervolgens ontwijkt naar de atmosfeer. Onder anaerobe omstandigheden na vernatting komt bij afbraakprocessen juist ammonium vrij. Omdat dit ammonium onder zuurstofarme condities niet wordt omgezet naar nitraat, en vervolgens naar stikstofgas, kunnen ammoniumconcentraties in het poriewater sterk oplopen onder natte omstandigheden. **Daardoor kan de ammoniumconcentratie in uitspoelend water toenemen na vernatting, terwijl de nitraatconcentratie afneemt.** De ophoping van ammonium kan ook plaatsvinden in de onderwaterbodem, waar organisch materiaal anaeroob afgebroken wordt. Dit kan leiden tot (zeer) hoge ammoniumconcentraties, die zelfs toxisch kunnen zijn voor waterplanten. Bij (tijdelijke) inundatie van percelen kan dit voor de waterbodem beschreven proces uiteraard ook optreden in de geïnundeerde zones van het perceel (zie eind van deze paragraaf).

Door de historische brakke invloed in een deel van de veenweidegebieden bevat dit veen veel ijzersulfiden in de bodem én de waterbodem (Van Dijk, 2017). Onder invloed van zuurstof worden deze ijzersulfiden (o.a. pyriet) geoxideerd, waardoor ijzer en sulfaat vrijkomen (Vermaat et al. 2016). Het ijzer vormt onder zuurstofrijke omstandigheden in de toplaag van de bodem ijzer(hydr)oxide-complexen, die fosfor kunnen binden (Smolders et al. 2006). Met name de bovenste bodemlagen (tot 30-50 cm) van (voormalig) agrarische veenweiden hebben dan ook hoge ijzer- en fosforgehalten (Van Diggelen et al., 2015) als gevolg van veenafbraak en bemesting. Wanneer door vernatting de grondwaterstanden op de percelen stijgen, treedt reductie van ijzer(hydr)oxiden op, waardoor ijzer en fosfor in oplossing komen (Figuur 17; Emsens et al., 2016). Een deel van het ijzer kan wel weer gebonden worden in ijzersulfiden omdat er tevens sulfaatreductie kan plaatsvinden. **Zowel de ijzer- als fosforconcentratie in het uitspoelende water neemt daarom door vernatting toe.**

Of de **fosforbelasting** ook toeneemt, hangt af van de hoeveelheid uitspoelend water ten opzichte van de uitgangssituatie. Daarnaast bepaalt de ratio tussen ijzer en fosfor in het oppervlaktewater en de hoeveelheid geoxideerd ijzer in de toplaag van de onderwaterbodem, uiteindelijk of het uitgespoelde fosfor beschikbaar is, en dus voor eutrofiëring van de waterlaag kan zorgen (Smolders et al, 2025). Onder zuurstofrijke omstandigheden in de waterlaag wordt het uitspoelende ijzer geoxideerd waardoor weer ijzer(III)hydr)oxides in de waterlaag ontstaan waaraan het uitgespoelde fosfaat kan binden. Deze ijzer(III)(hydr)oxides kunnen weer neerslaan op de onderwaterbodem. Zolang de waterlaag zuurstofrijk is, zal de nalevering van fosfor vanuit de onderwaterbodem beperkt zijn. Wanneer de ijzer: fosfor ratio

echter lager is dan 1 (Smolders et al., 2001; Geurts et al., 2010) en de P concentratie in het poriewater van de waterbodem hoog is, neemt het risico op P-mobilisatie wel toe. Vanwege de lage concentratie van ijzer ten opzichte van fosfor, kan het ijzer bij lage Fe: P ratio's in het poriewater in verhouding nog maar weinig fosfor binden op de overgang naar de aerobe waterlaag. Deze zogenaamde 'ijzerval' bepaalt in sterke mate of fosfor wordt nageleverd naar de waterlaag (Geurts et al. 2010). Wanneer het zuurstofgehalte in de waterlaag te sterk daalt zal er nalevering van P plaatsvinden (ongeacht de ijzerconcentraties van het poriewater) en zal er altijd diffusie van P uit de waterbodem naar de waterlaag optreden.

Het **vrijkomen van sulfaat bij aerobe veenoxidatie op gedraineerde percelen** heeft een sterk effect op de waterkwaliteit (Figuur 17). Sulfaat is mobiel, waardoor het kan uitspoelen naar diepere bodemlagen en het oppervlaktewater (Van Beek et al., 2007, Vermaat en Hellman, 2010, Van Diggelen et al., 2020). In de zuurstofloze onderwaterbodems wordt sulfaat omgezet in sulfide, dat ijzer kan binden (Geurts et al. 2010, Smolders en Roelofs, 1993). Gereduceerd ijzer wordt hierdoor vastgelegd in de vorm van ijzersulfiden in het anaerobe deel van de waterbodem waardoor het gereduceerde ijzer wordt geïmmobiliseerd en niet meer kan worden geoxideerd in de toplaag van de waterbodem. Hierdoor wordt minder ijzer(III)(hydr)oxide gevormd in het geoxideerde toplaagje van de waterbodem en kan er ook minder fosfaat worden gebonden waardoor de nalevering naar de waterlaag toeneemt (Smolders et al., 2025). Bij een hoge sulfaatbelasting wordt de ijzerval dus gehinderd door het wegvangen van ijzer (omdat er ijzersulfides gevormd worden) waardoor de ratio tussen gereduceerd ijzer en fosfor in het poriewater van de waterbodem afneemt en fosfor kan ontsnappen aan de ijzerval. Dit speelt vooral in waterbodems met een Fe: S ratio (mol/mol) lager dan 1, i.c.m. een lage Fe: P ratio in het poriewater (Smolders et al., 2025). Dit proces speelt in veel waterbodems in het veenweidegebied een rol door de verhoogde uitspoeling van sulfaat uit de percelen en is met name sterk aanwezig in gebieden met een hoog zwavelgehalte van het veen door een historische brakwaterinvloed (Van Dijk, 2017).

De uitspoeling van sulfaat vanuit ontwaterde percelen is de voornaamste bron van sulfaat in het veenweidegebied (voormalig brakke gebieden of polder met brakke kwel kunnen hier uiteraard een uitzondering op vormen door hoge zwavelconcentraties door de brakwaterinvloed). Vooral na droge zomers neemt de sulfaatconcentratie in het uitspoelende water sterk toe. In de winter wordt sulfaatrijk water uitgepompt waardoor ook de sulfaatconcentraties in de boezem stijgen. In de zomer moet dit boezemwater weer worden ingelaten om het waterniveau in de sloten op peil te houden. **Na vernatting neemt de sulfaatconcentratie in het uitspoelende water sterk af, waardoor ook indirect de interne eutrofiëring vanuit de onderwaterbodem wordt geremd.**

Bij aerobe veenafbraak in ontwaterde veenweidepercelen en de hierop volgende oxidatieprocessen wordt **zuur** geproduceerd (Figuur 17). Dit zuur wordt in de bodem gebufferd door chemische bodemprocessen (o.a. uitwisseling van kationen met zuur aan het klei-humuscomplex, consumptie van bicarbonaat, of calcium- of magnesiumcarbonaat) waardoor ook de pH van de bodem wordt gebufferd. Na vernatting worden juist reductieprocessen dominant in de bodem. Hierbij wordt zuur geconsumeerd, en komt bicarbonaat vrij. **De bicarbonaatconcentratie in het uitspoelende water kan na vernatting daardoor sterk toenemen.**

Bij volledige inundatie van de veenweidepercelen na vernatting kan sterke nalevering van fosfor (en ammonium) optreden naar het opstaande water. Als dit opstaande water in contact staat met het oppervlaktewater of wordt afgelaten naar het oppervlaktewater, kan dit zorgen voor een toename in de fosforbelasting (Figuur 17). Vaak wordt hierom de nutriëntenrijke toplaag afgevoerd voordat voormalige veenweiden worden geïnundeerd. Dit materiaal wordt vaak gebruikt voor het indammen van een perceel zodat inundatie van het perceel mogelijk is zonder het waterpeil in het volledige peilvak te verhogen.

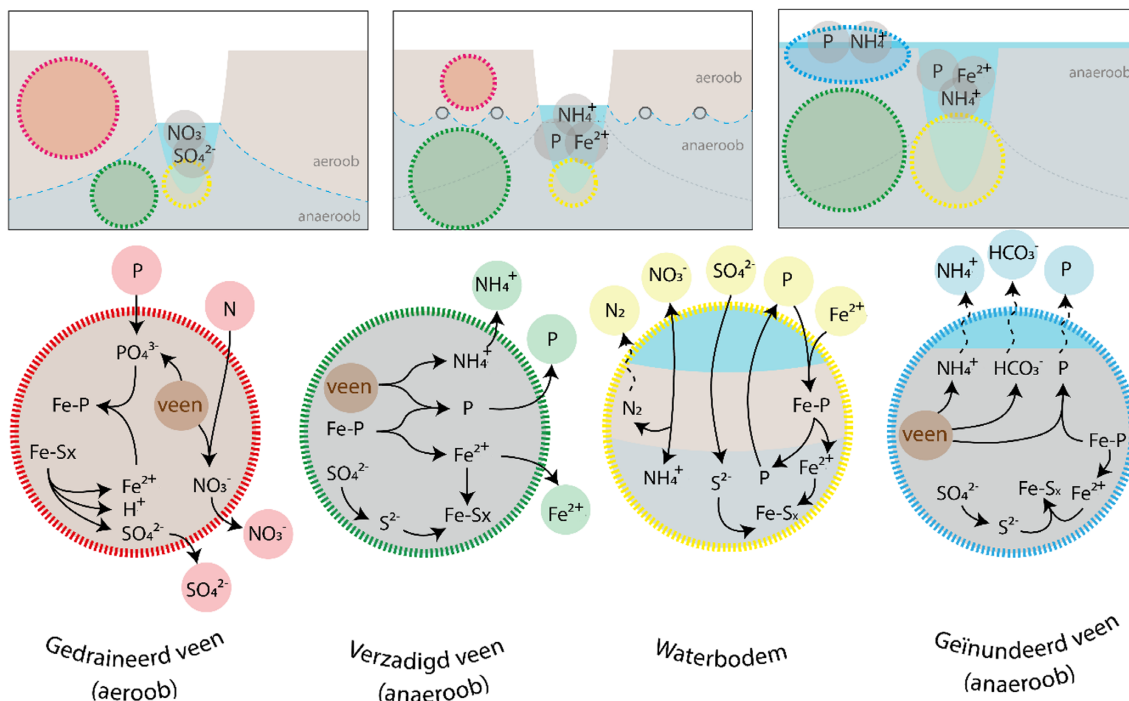
Onder aerobe omstandigheden kan de mobilisatie van fosfor en daarmee de fosforconcentratie in uitspoelend water vanuit (voormalig) landbouwpercelen worden ingeschat op basis van de fosforverzadigingsgraad (FVG). De FVG geeft aan welk deel van de bindingscapaciteit van de bodem in de vorm van ijzer of aluminium (hydr-)oxiden is verzadigd met fosfaat. Een FVG >15-25% boven de gemiddeld hoogste grondwaterstand verhoogt de kans op uitspoeling van fosfor in veengronden (Schoumans, 2004; Van Mullekom et al., 2018, Heuts et al. 2026).

Bij vernatting en hogere slootpeilen kan ook een deel van de oever onder water komen te staan, waardoor deze voormalige terrestrische bodems ook onderwaterbodems worden waar bovenstaande processen voorkomen. Zolang de opstaande waterlaag zuurstofrijk is, wordt de mobilisatie van fosfor bepaald door de Fe: P ratio in het poriewater (<1; Smolders et al., 2001; Geurts et al., 2010). Bij een zuurstofloze waterlaag, vindt fosformobilisatie plaats ongeacht de ijzerbeschikbaarheid (in de regel wordt het inundatiewater op perceel niet anaeroob, maar dit kan wel voorkomen).

Door een hogere grondwaterstand en ondiepere stroombanen zal de fosforconcentratie in het uitspoelende water na vernatting toenemen. Enerzijds neemt het toe door een grotere invloed van de P-verrijkte toplaag van de bodem maar vooral omdat P vrijkomt door anaerobe omzetting van ijzer(hydr)oxiden met het daaraan gebonden P. Netto kan vernatting van voormalig gedraineerde veenweidepercelen op korte termijn de concentratie van nitraat en sulfaat in het uitspoelende water verlagen en de concentratie van bicarbonaat, ijzer, fosfor en ammonium juist verhogen. De mate waarin deze processen plaatsvinden hangt af van de bodemsamenstelling, de mate waarin de bodem over de diepte is verrijkt met P en de diepte en lengte van de stroombanen in de nieuwe situatie. De uitspoeling van organisch koolstof, sulfaat, ijzer, fosfor en anorganisch stikstof beïnvloeden niet alleen direct de waterkwaliteit, maar ook indirect, via processen in de onderwaterbodems zoals hierboven beschreven.

Figuur 17

Een schematisch overzicht van de belangrijkste biogeochemische processen voor de waterkwaliteit. Boven worden drie verschillende scenario's weergegeven: gedraineerde percelen (links), vernatte percelen (midden) (in dit geval met WIS), en percelen met (regelmatige) inundatie (rechts). Onder zijn de belangrijkste biogeochemische processen in verschillende onderdelen in het veenweidesysteem weergegeven, in rood processen in gedraineerde veenbodem, in groen processen in verzadigd veen, in geel processen in de waterbodem en in blauw processen in geïnundeerde percelen.



Belangrijkste door vernatting beïnvloede (biogeo)chemische processen voor de waterkwaliteit

- De waterkwaliteit wordt beïnvloed door zowel de samenstelling van het uit- en afspoelende water vanuit de naastgelegen percelen als door de samenstelling van de onderwaterbodem. In de huidige situatie worden veenweidesloten vaak gekenmerkt door een dikke laag dun slib van ongunstige kwaliteit. De samenstelling van de waterbodem (incl. slib) is in het algemeen de belangrijkste factor die de waterkwaliteit in sloten in de veenweide beïnvloedt. Het is dan ook goed mogelijk dat in veel gevallen de effecten van vernatting op de waterkwaliteit een ondergeschikte rol hebben t.o.v. de invloed van de waterbodem (incl. de sliblaag) op de waterkwaliteit.
- Vernatting zorgt voor **minder aerobe condities** en minder aerobe afbraak, en voor **meer anaerobe condities** en meer anaerobe afbraak in de percelen.
- Door een toename in anaerobe afbraakprocessen **nemen de concentraties van bicarbonaat, ijzer, fosfor en ammonium toe in het uitspoelende water** uit de percelen door ondiepere stroombanen en interne eutrofiëring. De ijzer: fosfor ratio bepaalt hierbij of fosfor beschikbaar wordt in het oppervlaktewater of neerslaat op de overgang van water en onderwaterbodem.
- Bij inundatie van (voormalige) veenweidepercelen **kan nalevering van bicarbonaat, ijzer, fosfor en ammonium** optreden vanuit de bodem naar het opstaande water
- Door minder aerobe afbraak na vernatting **nemen de concentraties van nitraat en sulfaat af in het uitspoelende water** uit de percelen.
- Op termijn neemt na vernatting **de fosformobilisatie vanuit de waterbodem af**; dit wordt indirect gestuurd door de verlaagde uitspoeling van sulfaat.
- Als door vernatting een groter oppervlak ontstaat met meer ondiep water

kan dit leiden tot interne eutrofiëring en nutriëntennalevering vanuit deze nieuwe onderwaterbodem.

Kennislacunes

- Effecten van vernatting op bodemprocessen (mobilisatie en immobilisatie van stoffen en interactie hiertussen) zijn generiek wel in beeld, maar de netto effecten hiervan op stofstromen van én naar het oppervlaktewater nog niet.
- Bij vernatting met inundatie van veraarde veenbodems treedt regelmatig verpapping op. Hierbij verliest een bodem na (tijdelijke) inundatie compleet zijn structuur. Het is nog onduidelijk welke eigenschappen in de bodem en welke omgevingsfactoren dit proces versterken én daarmee ook welke potentiële maatregelen dit proces kunnen verminderen of mitigeren.
- Wat is het effect van de kwaliteit van inlaatwater dat gebruikt wordt voor vernatting?
- Hoe lang duurt het voordat de hogere uitspoelingsconcentraties van P (door de verrijkte toplaag) weer afnemen?

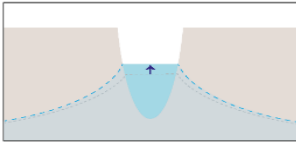
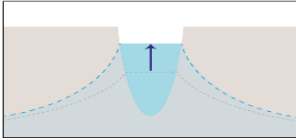
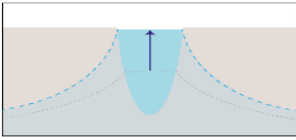
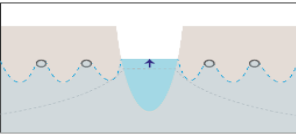
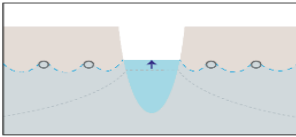
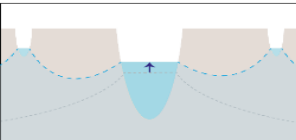
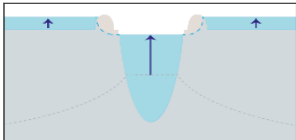
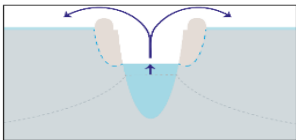
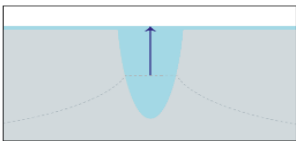
2.4.1 EFFECTINSCHATTING VAN VERNATTINGSCENARIO'S OP BIOGEOCHEMISCHE PROCESSEN

Aan de hand van de in deze paragraaf beschreven biogeochemische processen zijn in Tabel 4 de effecten van vernatting voor verschillende scenario's voor de meest belangrijke parameters samengevat. Het gaat hierbij nadrukkelijk om een combinatie van bewezen kennis en expert judgement. De effectinschattingen zijn weergegeven met behulp van de in Tabel 1 weergegeven schaal.

In de uitgangssituatie wordt het veen op de percelen door de uitzakkende grondwaterstanden aeroob afgebroken. Als door vernatting de grondwaterstanden in de percelen stijgen, neemt de invloed van zuurstof in de bodem af en zullen anaerobe afbraakprocessen dominant worden. Indien alleen het slootpeil wordt opgezet (**scenario 1**), dan zal dit effect beperkt zijn, omdat de grondwaterstanden in de percelen op grotere afstand van de sloot weinig zullen veranderen. Bij actieve vernatting met WIS of greppelinfiltratie (**scenario 2**) en bij het actief inunderen van percelen (**scenario 3**) zullen de grondwaterstanden op de percelen wel stijgen, waardoor anaerobe afbraakprocessen toe zullen nemen ofwel in scenario 3 zullen domineren. Hierbij komt minder nitraat en sulfaat vrij ten opzichte van de uitgangssituatie, waardoor deze stoffen minder zullen uitspoelen naar het oppervlaktewater. Een lagere uitspoeling van sulfaat kan de mobilisatie van fosfor uit de onderwaterbodem verminderen. Daarentegen komt er meer fosfor, ijzer, ammonium en bicarbonaat vrij bij anaerobe afbraak, waardoor concentraties van deze stoffen in het af-en uitspoelende water toenemen. Met name bij actieve vernattingsmaatregelen zoals WIS en greppelinfiltratie (**scenario 2**), waarbij een hogere connectiviteit is tussen oppervlaktewater en perceel, geeft dit een risico op toename van fosfor en ammonium in het oppervlaktewater. De inlaat van water voor slootpeilverhoging en vernatting vormt daarnaast een mogelijke bron van nutriënten, met name in **scenario 2 en 3**. Bij **scenario 3** is de belasting vanuit aangevoerd water afhankelijk van hoeveel water wordt vastgehouden, en hoeveel water actief wordt ingelaten. Daarentegen zal vernatting de aanvoer van o.a. fosfor, calcium, sulfaat en ijzer via kwel verminderen. Tenslotte kan inundatie van percelen (**scenario 3**) leiden tot mobilisatie van fosfor en ammonium, wat vervolgens in het oppervlaktewater terecht kan komen. Dit risico hangt onder andere af van de connectiviteit van de geïnundeerde percelen en het oppervlaktewater, en de voedselrijkdom van percelen (percelen kunnen zijn geplagd vóór inundatie). Netto zal door vernatting de P-belasting (tijdelijk) toenemen. Of deze extra P-belasting ook leidt tot hogere

P-concentraties in het oppervlaktewater is afhankelijk van de sulfaatbelasting en de ratio van fosfor en ijzer die terechtkomt in het oppervlaktewater. Bij een lage sulfaatbelasting en overmatige beschikbaarheid van ijzer zal dit ijzer oxideren, waarna het fosfor in ijzer(III) (hydr)oxiden gebonden kan worden op de onderwaterbodem.

Tabel 4 Inschatting van netto jaareffecten van verschillende vernatting scenario's op biogeochemische processen t.o.v. de Ausgangssituatie, rechts (in donkerblauw) de belangrijkste factoren.

Scenario		Aerobe veenafbraak percelen	Anearobe veenafbraak percelen	Aanvoer stoffen inlaatwater (P, S04)	Aanvoer stoffen via kwel	Effectinschatting Uit- en afspoeling P, Fe, NH4		Uit- en afspoeling S04, N03	Fosfor mobilisatie slootbodern	P belasting	P beschikbaarheid waterlaag **	toelichting
1	Vernatting door slootpeil-verhoging											
a	tot ≈ -40 cm onder maaiveld		0/-	0/+	0/+	0/-	0/+	0/-	0/-	0/+	0/-	
b	tot ≈ -20 cm onder maaiveld		-	+	0/+	-	+	-	-	+	0/-	
c	tot vlak onder maaiveld		--/---	++/+++	0/+	--	++	--	-	++	-	
2	Vernatting door slootpeilverhoging met actieve maatregelen verhoging grondwaterstand											
a	met passieve water infiltratiesystemen (PWIS)		--	++	++	0/-	+++	---	--	+ /+++	+	1
b	met actieve waterinfiltratiesystemen (AWIS)*		--/---	++/+++	++/+++	0/-	++++	----	--	++/++++	+	1
c	met greppelinfiltratie		---	++++	++++	--	+++	---	--	+++	+	
3	Vernatting door slootpeilverhoging met (kans op) inundatie van percelen											
a	Actieve inundatie van percelen		----	+++++	+++++	----	0/+	----	--	+	- /***	2,3,4,***
b	Periodiek plas dras		- /--	+ /++	0/+	- /--	+	-	0/-	+	0	3
c	Vernatting met langdurige inundatie periode		----	++++	+++++	----	+++	--	- /--	++	- /*	2,3,***

Toelichting	
1	Kwel icm WIS kan zorgen voor extra afvoer van kwel
2	Afhankelijk van plaggen en voormalig landgebruik
3	Inlaatwater hangt af van wintersituatie: als er veel water wordt vastgehouden hoeft er minder ingelaten te worden
4	Afhankelijk van connectiviteit water op maaiveld en sloot (i.v.m. dammen)
*	Incl. HAKLAM
**	Netto effect P-belasting op de P-beschikbaarheid is afhankelijk van Fe belasting en SO ₄ uitspoeling
***	Wegens de grote variatie aan mogelijkheden binnen dit scenario is het erg lastig de P beschikbaarheid in de waterlaag in te schatten

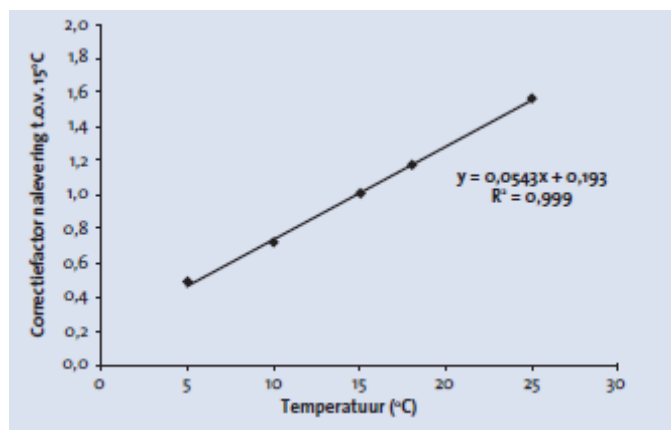
2.5 EFFECTEN VAN OMGEVINGSCONDITIES

2.5.1 WAT IS HET EFFECT VAN DE PERIODE VAN VERNATTING

Omdat biogeochemische processen in de bodem meestal uitgevoerd worden door micro-organismen, zijn deze processen **temperatuursafhankelijk**. Immers, de reacties worden gekatalyseerd door enzymen, die een optimumtemperatuur hebben. In het temperatuurbereik dat voorkomt in (onderwater)bodems (ca. 5 tot 25 °C) geldt dat de reacties sneller verlopen bij hogere temperaturen. In Figuur 18 wordt dit geïllustreerd met een voorbeeld van het effect van incubatietemperatuur op de fosfornalevering uit onderwaterbodems. Ook in de onderwaterbodem speelt temperatuur een rol bij de mobilisatie van nutriënten of de productie van methaanbellen. Als door vernatting de waterkolom groter wordt, zal de onderwaterbodem naar verwachting minder opwarmen en wordt de P-nalevering van de onderwaterbodem naar de waterkolom naar verwachting ook lager. Aan de andere kant kan vernatting leiden tot meer baggeraanwas (zie paragraaf 2.3), waardoor er meer organisch materiaal beschikbaar is voor (an)aerobe afbraak in de sloten en op termijn na vernatting de waterkolom ook weer af zou kunnen nemen door baggervorming.

Bij vernatting gedurende de zomerperiode, verloopt de anaerobe afbraak sneller en zouden er dus meer nutriënten gemobiliseerd kunnen worden dan gedurende een periode van vernatting of inundatie in de winter. Inundatie van veraarde percelen in de zomer lijkt ook eerder te leiden tot verpapping; het verlies van structuur in de toplaag van de bodem. De exacte processen die deze verpapping veroorzaken zijn echter nog niet bekend.

Figuur 18 De temperatuur is van invloed op de mate van P-nalevering uit onderwaterbodems: redoxprocessen verlopen sneller bij hogere temperaturen. Weergave van de correctiefactor voor de P-nalevering bij verschillende temperaturen ten opzichte van de P-nalevering bij de standaardtemperatuur van 15°C. Bij 5°C is P-nalevering dus ongeveer 50% lager dan bij 15°C (correctiefactor 0,5), terwijl de nalevering bij 25°C ongeveer 55% hoger is (correctiefactor 1,55). Bron: Poelen et al., 2012.



2.5.2 SYSTEEMEIGENSCHAPPEN LANDSCHAP

De effecten van vernatting zijn context afhankelijk en worden sterk door de uitgangssituatie beïnvloed. We hebben met vernatting in het veenweidegebied te maken een landschap dat eeuwenlang door de mens beïnvloed is door ontwatering, bemesting en intensief beheer. De mate van beïnvloeding kan regionaal sterk verschillen. Zo is in de westelijke veenweidegebieden de drooglegging over het algemeen kleiner dan in de noordelijke veenweidegebieden.

ONTSTAANSGESCHIEDENIS EN TOESTAND UITGANGSSITUATIE

De bodemsamenstelling wordt door een aantal factoren beïnvloed, zoals de ontstaansgeschiedenis en de invloed van menselijk gebruik. **Verschillen in het veentype en de bodemopbouw leiden tot verschillende chemische en fysische eigenschappen in de bodem.** Hierbij kan gedacht worden aan de dikte van de veenlaag, de samenstelling van de ondergrond (bijvoorbeeld zand of klei) en de aanwezigheid van klei- en zandlagen in of op de veenbodem. Maar ook andere factoren zoals de historische invloed van brak water kan grote invloed hebben op hoe de bodem reageert op vernatting. Verschillende veentypen, zoals rietveen, zeggeveen, bosveen en veenmosveen hebben allemaal hun eigen chemische en fysische eigenschappen. In aanwezigheid van zuurstof blijkt dat de snelheid van veenafbraak voor alle veentypen grofweg vergelijkbaar verloopt (Brouns et al., 2016) contrasting in peat origin and current land use. In a full factorial design, fen peat and bog peat were sampled from sites in use for nature conservation and for dairy farming, which contrast in history of drainage and fertilisation. In these four peat types, which frequently occur in the Netherlands, the microbial activity and respiration dynamics were studied in samples from superficial oxic peat layers by measuring Substrate Induced Respiration (SIR, maar onder anoxische condities blijken hier verschillen in te ontstaan en lijken riet- en zeggeveen bijvoorbeeld sneller af te breken (Tolunay 2024). Daarnaast heeft de uitgangssituatie invloed op de beschikbaarheid van alternatieve elektronenacceptoren en nutriënten wat ook de afbraakprocessen en de effecten van vernatting kan beïnvloeden.

Naast de bodemopbouw beïnvloedt de ontstaansgeschiedenis en het **landschappelijk hydrologisch functioneren** van het gebied de effecten van vernatting. Zo is in gebieden met kwel het effect van vernatting afhankelijk van de kwaliteit van kwelwater, hierbij kan vernatting leiden tot een verlaagde kwelinvloed en hiermee een afname in de aanvoer van ijzer en calcium via het grondwater. Dit is uiteraard sterk afhankelijk van de samenstelling van het kwelwater. Een verlaagde kwelinvloed kan ook een afname in de aanvoer van sulfaat, fosfor en ammonium betekenen. De ontstaansgeschiedenis en het bodemtype beïnvloeden ook sterk het **hydrologisch functioneren** van percelen. Zo wordt de doorlatendheid van de bodem sterk door het veen- ofwel bodemtype beïnvloed, wat grote consequenties kan hebben voor het watertransport van land naar water en vice versa. Ook de mate en de duur van de effecten van vernatting, en de hieraan gekoppelde water- en stromen, worden sterk door de waterdoorlatendheid beïnvloed.

De mate waarin de effecten van vernatting optreden is ook afhankelijk van de opbouw van het watersysteem en de variatie in hoogteligging binnen peilvakken. Zo zullen de effecten op de waterkwaliteit verschillen tussen grotere watergangen, wateren die sterk door de inlaat ofwel het boezemsysteem beïnvloed worden (diepe, brede sloten met een kortere verblijftijd) en kleine sloten in het systeem (ondiepe haarvaten met een langere verblijftijd). Regionale effecten en effecten van de inlaat zullen een grotere rol spelen bij de grotere wateren, terwijl kleine haarvaten in sterkere mate door lokale effecten en door regenwater beïnvloed worden.

Het kan zijn dat bij vernatting **meer peilvakken** nodig zijn om het slootpeil hoger te houden zonder dat delen van het gebied onderwater komen te staan. Meer peilvakken geven een groter risico op onnodig inlaatwater (voor het doorvoeren van water naar lagere peilvakken) en meer afvoer (voor het doorvoeren van wateroverschot uit hogere peilvakken). De kosten voor inrichting en onderhoud van het watersysteem nemen toe. Hier staat wel tegenover dat de door drooglegging veroorzaakte kosten van het veenweidegebied (waterbeheer, dijken-onderhoud en bodemdaling) dalen ofwel minder hard stijgen als gevolg van vernatting.

Enerzijds neemt de water(- en nutriënten)vracht vanuit inlaatwater en ontwatering toe, maar omdat het watervolume groter wordt zal deze over een groter wateroppervlak worden verdeeld. Het netto effect hangt sterk samen met slootprofielen; de verblijftijd neemt toe in gebieden waar sloten een trapeziumprofiel (flauw oevertalud) hebben, en bij AWIS en PWIS, terwijl de verblijftijd afneemt in gebieden waar sloten steilere oevers hebben (Klaassen et al., 2026). Verblijftijd is van belang voor zowel ecologie als nutriënten. De kritische belasting van de aquatische systemen voor nutriënten neemt af bij langere verblijftijd en een grotere waterdiepte. Tegelijk kan de nutriëntenbelasting afnemen door een langere verblijftijd (door verminderde inlaat van nutriënten via inlaatwater).

De combinatie van het hydrologische functioneren en de wijze van vernatting kunnen sterke consequenties hebben voor de **water- en stoffenbalans** bij vernatting en hiermee potentieel ook voor de waterkwaliteit. Zo kan vernatting de invloed van kwel verlagen en de aanvoer van gebiedsvreemd water verhogen. Maar de water- en stoffenbalans wordt ook beïnvloed door de wijze van vernatting. Als een gebied vernat wordt door het vasthouden van neerslagwater leidt dat tot een andere waterkwaliteit dan wanneer gebiedsvreemd water aangevoerd wordt voor vernatting (zie ook Reitsma et al. 2024 over inlaat van gebiedsvreemd water).

MENSELIJKE INVLOED EN BEHEER

Menselijk gebruik (zowel in het verleden als nu) kan een grote invloed hebben op de samenstelling van de bodem en de beschikbaarheid van alternatieve elektronenacceptoren en nutriënten. Hierbij kan gedacht worden aan de **mate van ontwatering, de beheerintensiteit en de bemestingsintensiteit**. Bovenstaande factoren leiden ertoe dat veenweidebodems regionaal en lokaal sterk van elkaar kunnen verschillen en dat de samenstelling en historie grote invloed kan hebben op de effecten van vernatting. Zo worden de reactiviteit en de potentiële nutriëntenuitspoeling sterk beïnvloed door menselijk gebruik. Een intensievere ontwatering in het verleden zal tot een sterke aerobe afbraak van de bodem hebben geleid en een diepere veraarde bodemlaag. Hierdoor heeft de veenbodem zijn structuur verloren en heeft hier ook ophoping van nutriënten plaatsgevonden. Ook kan de reactiviteit in veenweidebodems met een voormalige brakwater-invloed hoger zijn (door de hoge sulfaatbeschikbaarheid) dan in percelen zonder brakwaterinvloed. Veenweidepercelen die intensiever bemest worden (of die in het verleden intensiever bemest zijn geweest) zullen een hogere potentiële nutriëntbeschikbaarheid en uitspoeling naar het oppervlaktewater hebben dan extensief beheerde percelen. Naast de bemestingsintensiteit kunnen ook andere beheeringrepen invloed hebben, zoals intensiteit van beweiding en maaibeheer.

Het beheer van de oever en de sloot heeft direct effect op de aanwezigheid en soortensamenstelling van de vegetatie vlak boven en onder de waterlijn, die weer effect kunnen hebben op erosie. Voldoende ruimte is ook belangrijk voor oevervegetatie en inundatietolerante soorten komen alleen voor boven de waterlijn wanneer de bodem voldoende vochtig is. Het

overtalud heeft invloed op beschikbare ruimte en vochtigheid van de bodem. Bij een steil talud (onder én boven water) is er minder ruimte voor (inundatietolerante) vegetatie.

Naast alle regionale en lokale verschillen moet niet vergeten worden dat het merendeel van de sloten in Nederlandse veenweidegebieden sterk beïnvloed is door de jarenlange ontwatering, de uit- en afspoeling vanuit percelen en de erosie van oevers. Hierdoor is er vaak een erg slappe, sterk reactieve en eutrofe sliblaag aanwezig die leidt tot een hoge nalevering van nutriënten, weinig ondergedoken waterplanten en een slechte waterkwaliteit (o.a. Smolders et al. 2013, Smolders et al., 2025, Van Rotterdam et al., 2026). **Deze combinatie van een slappe, sterk reactieve, eutrofe, dikke baggerlaag met slecht ontwikkelde oevers en een slechte waterkwaliteit betekent dat de Ausgangssituatie voorafgaand aan vernatting in veel veenweidesloten een slecht ontwikkeld aquatisch ecosysteem is.**

KLIMAATVERANDERING

Een onderwerp dat buiten dit kennisoverzicht valt maar wel van belang kan zijn, is klimaatverandering. Hoe klimaatverandering eruit zal zien en welke consequenties dit kan hebben voor het oppervlaktewater in de veenweidegebieden, is lastig te voorspellen. Het is echter wel een belangrijke factor om rekening mee te houden en in toekomstig onderzoek en visies mee te nemen. Zo is het aannemelijk dat conform de huidige voorspellingen (Parry et al., 2007; Bessembinder et al., 2023) de droogteperioden zullen toenemen en tegelijkertijd het jaarlijkse neerslagoverschot zal toenemen, waardoor de fluxen en stofstromen tussen land en water kunnen toenemen. Tegelijkertijd kan dit ook op nationale schaal grote invloed hebben op de beschikbaarheid en verdeling van water en hiermee ook op de beschikbaarheid en de samenstelling van het aanvoerwater in veenweidegebieden; denk aan verlaagde aanvoer vanuit de rivieren en potentiële verzilting. Deze processen zullen ook effecten hebben op vernatting van het veenweidegebied. Daarnaast is de verwachting dat zomers warmer worden, waardoor microbiële processen (zoals afbraak van organische stof) sneller zullen gaan. Aanvullend onderzoek zou uit moeten wijzen wat de effecten hiervan op het oppervlaktewater kunnen zijn.

Belangrijkste omgevingsfactoren die de effecten van vernatting beïnvloeden

- Biogeochemische processen en hieraan gekoppelde mobilisatie en potentiële uitspoeling van nutriënten en afbraakprocessen in de veenbodem zijn **temperatuur afhankelijk** en verlopen sneller bij hogere temperaturen.
- Door de temperatuursafhankelijkheid van processen in de bodem kunnen de periode van vernatting en de mate van fluctuatie in waterpeilen grote consequenties hebben op de effecten van vernatting op het oppervlaktewater.
- Grotere waterdiepte zorgt ervoor dat de onderwaterbodem minder snel opwarmt en naar verwachting minder snel en minder anaeroob wordt. Naar verwachting beperkt dit de interne eutrofiëring. Dit effect van een grotere waterdiepte kan (deels) teniet worden gedaan door extra aanwas van dun veraard veen.
- De effecten van vernatting zijn niet simpelweg te generaliseren. De ontstaansgeschiedenis kan de effecten van vernatting sterk beïnvloeden. Zo beïnvloedt de **bodem-samenstelling** (veentype en bodemopbouw) de chemische en fysische eigenschappen van de bodem en hiermee de effecten van vernatting.
- Ook het **hydrologisch functioneren** van een gebied en de kwaliteit van verschillende bronnen (zoals inlaatwater en kwelgrondwater) kunnen de effecten van vernatting beïnvloeden. Daarnaast kan de wijze van vernatting de water- en stofstromen sterk

beïnvloeden en hiermee de effecten van vernatting. Vernatting kan hiermee ook via effecten op het hydrologisch functioneren effect hebben op de chemische samenstelling van het oppervlaktewater door veranderingen in de bijdrage van inlaatwater ofwel kwel.

- Ook andere hydrologische eigenschappen van een gebied (o.a. land-water verhouding, diepte watergangen e.d.) kunnen de effecten van vernatting beïnvloeden.
- Door de jarenlange drainage en uit- en afspoeling van percelen en erosie van oevers bevatten veenweidesloten vaak een slappe, sterk reactieve en eutrofe sliblaag, met een hoge nutriëntennalevering en slechte waterkwaliteit tot gevolg. Dit betekent dat de **uitgangssituatie voorafgaand aan vernatting in veel veenweidesloten ecologisch geen goed ontwikkeld aquatische ecosysteem is.**

Kennislacunes

- Versnelde afbraak van de veenbodem tijdens vernatting en/of inundatie na een lange periode van drainage en/of sterk fluctuerende grondwaterstanden is bekend, dit proces kan zowel op maaiveld (verpapping) als onder dieper onder maaiveld plaatsvinden (tompouce effect). De **sturende processen achter dit proces** (en hiermee potentiële mitigerende maatregelen) zijn nog een kennislacune.
- Effecten van **verschillen in bodemopbouw en veentype op de effecten van vernatting** zijn nog niet voldoende bekend.
- Een onderwerp wat buiten dit kennisoverzicht valt, maar kort benoemd wordt, is **klimaatverandering**. Het is sterk aannemelijk dat een veranderend klimaat ook consequenties zal hebben voor de waterbeschikbaarheid en de watersamenstelling in het veenweidegebied en hiermee ook op de effecten van vernatting, maar hoe is nog een kennislacune. Aanvullend onderzoek zal uit moeten wijzen wat de effecten van klimaatverandering op het oppervlaktewater kunnen zijn.

3

SYNTHESE

Dit hoofdstuk geeft een synthese van de belangrijkste effecten van vernatting op de waterkwaliteit van het oppervlaktewater in de veenweiden van Nederland. Waar mogelijk is dit gekoppeld aan een risico-inschatting voor een verandering van de waterkwaliteit. De belangrijkste effecten van vernatting op de hydrologische, fysische en biogeochemische processen in relatie tot de waterkwaliteit worden hieronder besproken en zijn samengevat in Tabel 5. De kennislacunes zijn beschreven in hoofdstuk 4.

3.1 EFFECTEN VAN VERNATTINGSMATREGELEN OP DE WATERKwalITEIT IN HET VEENWEIDEGEBIED

BELANGRIJKE AANDACHTSPUNTEN BIJ BEOORDELING VAN EFFECTEN VAN VERNATTING

De effecten van vernatting zijn sterk afhankelijk van de uitgangssituatie, de wijze en mate van vernatting en systeem- en omgevingsfactoren. Dit maakt de effecten contextafhankelijk en niet eenvoudig te generaliseren. Daarbij zijn er veel verschillende vormen van vernatting, zoals jaarrond of tijdelijke peilopzet, met of zonder passieve of actieve waterinfiltratiesystemen en met of zonder (greppel) inundatie. In dit rapport is er daarom voor gekozen om de effecten van vernatting te beschrijven aan de hand van een beperkt aantal scenario's. Per scenario werd het effect beoordeeld door een vergelijking met de uitgangssituatie. Deze uitgangssituatie betreft drooggelegde veenweidepercelen met productiegrasland. Daarbij is in een groot deel van de sloten in de uitgangssituatie sprake van een matige tot slechte waterkwaliteit. Dit wordt veroorzaakt door een combinatie van verschillende factoren, zoals de decennialange ontwatering van de percelen, een hoge nutriëntenbelasting en de aanwezigheid van een sliblaag. Deze slappe sliblaag op de slootbodem is vaak eutroof en chemisch zeer reactief, waardoor het een grote invloed heeft op de waterkwaliteit.

Foto 4

Regio Oostelijke Vechtplassengebied, Utrecht (Foto: Gijs van Dijk).



De nadruk van deze kennismontage ligt op de effecten van vernatting op de abiotische toestand (biogeochemisch, fysisch en hydrologisch) op de korte termijn (<5 jaar). Waar mogelijk worden ook effecten op de biotische (ecologische) toestand beschreven. Het vaststellen van effecten van vernatting op de ecologische waterkwaliteit is niet eenduidig omdat ook andere factoren een rol spelen, zoals het voorkomen van Amerikaanse rivierkreeften (invasieve exoten). Hier is in dit kennisoverzicht geen aandacht aan besteed.

Dit kennisoverzicht moet waterbeheerders handvatten geven om op grond van hun eigen gebiedskennis de vertaling te maken naar gebiedspecifieke effecten. Effecten van vernatting op de veenweidepercelen zelf, consequenties voor beheer en gebruik, en effecten op bodemdaling en broeikasgasemissies zijn geen onderdeel van deze studie. Uiteraard zijn wel de effecten op de percelen meegenomen indien deze van invloed zijn op de oppervlaktewaterkwaliteit.

VORMEN EN MATE VAN VERNATTING

Alle vernattingsmaatregelen in het veenweidegebied hebben als doel de grondwaterstand te verhogen of het uitzakken van de grondwaterstand te beperken. De verschillende vormen van vernattingsmaatregelen zijn ingedeeld in drie hoofdszenario's: vernatting door verhoging van het slootpeil (hoofdszenario 1), vernatting door verhoging van het slootpeil met actieve maatregelen zoals PWIS, AWIS en (actieve) greppelinfiltratie (hoofdszenario 2) en verhoging van het slootpeil met kans op inundatie (hoofdszenario 3).

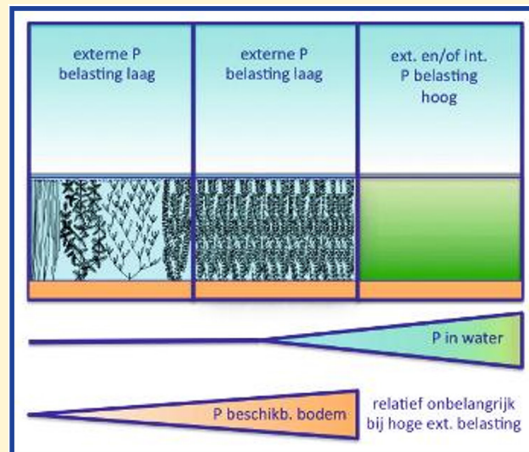
De effecten van vernatting door verhoging van het slootpeil (hoofdszenario 1) nemen logischerwijs toe met de effectiviteit van slootpeilverhoging op het verhogen van de grondwaterstand. Het gaat hierbij om een eenvoudig verklaarbare cascade van hydrologische, fysische en biogeochemische effecten. Door de beperkte doorlatendheid van het veen, zullen de effecten van alleen het opzetten van het slootpeil in de zomer in de meeste gebieden beperkt blijven tot de oeverzones.

Wanneer verhoging van de slootpeilen wordt gecombineerd met actieve maatregelen (hoofdscenario 2) worden de grondwaterstanden sterker beïnvloed dan wanneer alleen slootpeilverhoging (hoofdscenario 1) wordt toegepast. Door de aanvullende maatregelen worden de grondwaterstanden in de zomer (actief) verhoogd. Bij toepassing van PWIS en AWIS worden deze daarnaast in de winter (actief) verlaagd. Hiervoor wordt (bijvoorbeeld) veel water afgevoerd in de winter en veel water aangevoerd in de zomer. Dit water reikt tot veel dieper in de percelen dan zonder actieve maatregelen. In dit hoofdscenario hebben de maatregelen dus een veel grotere invloed op de herkomst en omvang van de belangrijkste water- en stofstromen. De cascade van opvolgende effecten is hierdoor complexer, waardoor netto effecten op de waterkwaliteit moeilijker te duiden zijn.

Ook wanneer vernatting leidt tot tijdelijke of permanente inundaties (hoofdscenario 3), geldt dat de cascade van effecten complexer is dan in hoofdscenario 1. Bij (tijdelijke) inundatie van een veenweideperceel zullen terrestrische planten, zoals grassen, afsterven. Daarnaast kan inundatie leiden tot verpapping van de bovenste veenbodem, waardoor de draagkracht afneemt. Op termijn zal na inundatie een nieuwe evenwichtssituatie ontstaan die sterk afwijkt van de Ausgangssituatie. Daarnaast zal deze vorm van vernatting met (tijdelijke) inundatie vragen om een andere vorm van landgebruik. De keuze voor alternatief landgebruik heeft op zijn beurt weer effect op het functioneren van het bodem- watersysteem. In Tabel 5 zijn de effecten van de verschillende hoofdscenario's van vernatting samengevat.

KADER ECOLOGISCHE SLEUTEL FACTOREN

Er zijn acht ecologische sleutelfactoren voor stilstaande wateren. De eerste drie ecologische sleutelfactoren, 'Productiviteit water', 'Lichtklimaat' en 'Productiviteit bodem', bepalen of het systeem 'op orde' is. Deze sleutelfactoren zijn bepalend voor het herstel van ondergedoken waterplanten: de externe nutriëntenbelasting moet lager zijn dan de kritische belasting (Productiviteit water), er moet voldoende licht zijn voor plantengroei (Lichtklimaat) en het totaal fosforgehalte in de waterbodem mag niet te hoog zijn (Productiviteit bodem) (Schip en Verbeek, 2018). De ontwikkeling van een gezonde waterplantenvegetatie is hét kenmerk van een gezond ecosysteem in stilstaande wateren (Schip en Verbeek, 2018). Een diverse gemeenschap van ondergedoken waterplanten vormt een belangrijk habitat voor andere organismen, zoals vis en macrofauna. De vierde ecologische sleutelfactor 'Habitatgeschiktheid' betreft overige benodigde condities voor organismen zoals oeverstructuur. De voorwaarden voor het voorkomen voor ondergedoken waterplanten worden in de figuur hieronder toegelicht.



Drie ecosysteemtoestanden met de betreffende voorwaarden waarbij deze voorkomen: helder water met gevarieerde ondergedoken waterplanten (links), helder water met woekering van enkele waterplantensoorten (midden) en troebel water met algen of cyanobacteriën (rechts). Het water rechts kan ook bedekt zijn met kroos of kroosvaren. De lichtbeschikbaarheid, en daarmee de groei van ondergedoken waterplanten, kan ook laag zijn door andere vertroebelende factoren (bodemdeeltjes, humuszuren) (Lamers et al., 2012).

SLOOTMORFOLOGIE, WATERDIEPTE, WATERBODEM EN EROSIE

Vernatting door hogere slootpeilen vergroot de waterdiepte en leidt tot een verandering in de slootmorfologie: oeverzones worden breder. Dit speelt zowel onder als boven de waterlijn. Waterdiepte en oevervegetatie in de uitgangssituatie, bodemgesteldheid en beheer bepalen of vernatting leidt tot ecologische verbetering of juist tot verslechtering. Onderzoek aan 200 veenweidesloten binnen het VeeST project liet zien dat veel van deze sloten een waterdiepte van minder dan 30 cm hebben (Van Rotterdam et al., 2026). Door de geringe waterdiepte kan het slib op de slootbodem gemakkelijk opwarmen. Hierdoor komen biogeochemische processen op gang die de slibsamenstelling negatief beïnvloeden en de ontwikkeling van waterplanten belemmeren. In ondiep water kan een toename van de waterdiepte door vernatting de waterkwaliteit dus positief beïnvloeden, omdat er minder interne nalevering van fosfor vanuit de sliblaag naar het water plaatsvindt. Ook zullen de ammoniumconcentraties in het slib afnemen. Daardoor ontstaan gunstigere omstandigheden voor ondergedoken planten, ondanks dat de kritische belasting afneemt bij een hoger waterpeil. De effecten van vernatting kunnen in diepere sloten juist minder gunstig uitpakken. Bij waterdieptes van circa 40–60 cm kan extra verdieping leiden tot verminderde lichtinval op de bodem. Dit gaat ten koste van waterplanten. In diepe sloten (> 60 cm) leidt dit ook tot een afname van de kritische belasting.

Indirect kan het verhogen van het slootpeil op de langere termijn ook leiden tot een kleinere waterdiepte door extra aanwas van slib, erosie en oeverafkalving. De draagkracht en schuifspanning van veraard veen zijn lager dan van onveraard veen en kunnen verder afnemen bij vernatting. Bij hogere grondwaterstanden blijft een dikkere bodemlaag met veraard veen langdurig nat. Dit vergroot het risico dat nat, veraard veen van onder de droge doorwortelde toplaag als gevolg van belasting (door machine en/of vee) richting de sloot wordt gedrukt: het zogenaamde *tompouce-effect*. Een grotere waterdiepte in de sloot kan echter ook meer tegendruk bieden en zo oevererosie onder de waterlijn beperken. Een goed ontwikkelde oevervegetatie biedt ook bescherming tegen dit ‘*tompouce-effect*’.

Juist deze beschermende oevervegetatie ontbreekt vaak in het huidige veenweidelandschap. Een aangepast beheer gericht op de ontwikkeling van oevervegetatie (zoals beperkt maaien en beperkt belasten) kan binnen één seizoen al leiden tot een beter ontwikkelde oevervegetatie (Van Rotterdam et al., 2026), maar dit is lang niet overal het geval. Door een hoger slootpeil wordt de sloot breder met een bredere (vochtige of deels geïnundeerde) oeverzone. Door deze bredere overgangszone van land naar water ontstaat meer ruimte voor oevervegetatie.

Naast oevermorfologie speelt perceelsmorfologie een rol. Bij holle percelen kan na vernatting bijvoorbeeld versnelde plasvorming optreden tijdens een neerslagoverschot. Hierbij kunnen nutriënten gemobiliseerd worden vanuit het perceel naar het opstaande water. Het

risico op oppervlakkige afstroming vanaf deze percelen is kleiner wanneer de hoger gelegen perceelrand functioneert als dijkje.

De effecten van vernatting op erosie en slootmorfologie zijn nog niet goed te kwantificeren of te voorspellen. Het is bekend dat omgeving- en bodemeigenschappen (bodemsamenstelling, veentype) belangrijke bepalende factoren zijn. Hoe dit precies doorwerkt op de waterkwaliteit is nog niet bekend.

UIT- EN AFSPOELING VAN NUTRIËNTEN EN DE WATERKWALITEIT (MET NADRUK OP FOSFOR)

Uit- en afspoeling van nutriënten (met de nadruk op fosfor) wordt beïnvloed door de combinatie van hydrologische, fysische en biogeochemische processen in percelen, oevers en de waterbodem. Het effect van vernatting op deze processen hangt sterk af van de mate én vorm van vernatting. Hierbij moet worden opgemerkt dat in veel gevallen de effecten van vernatting op de waterkwaliteit een ondergeschikte rol zullen spelen vergeleken met de invloed van de waterbodem (incl. de sliblaag).

Door een verhoging van de grondwaterstanden in de percelen zal een groter deel van de bodem permanent waterverzadigd worden, waardoor zuurstof minder diep de bodem indringt. Hierdoor zal vernatting netto leiden tot minder aerobe afbraak en meer anaerobe afbraak van het veen. Als gevolg van deze verandering in biogeochemische processen, verlaagt vernatting doorgaans de uitspoeling van nitraat en sulfaat, maar verhoogt het de uitspoeling van bicarbonaat, ammonium, fosfor en ijzer. De mate van fosforuitspoeling na vernatting hangt af van de perceelbergings, bodemopbouw, mate van fosforverrijking in verschillende bodemlagen, en stroombaanlengte.

Vooraf de toplaag van percelen is vaak verrijkt met fosfor. Dit komt enerzijds door mineralisatie van het veen (waarbij fosfor, ijzer en andere elementen achterblijven nadat het organische materiaal is afgebroken) en anderzijds door historisch gebruik (o.a. bemesting). Door hogere oppervlaktewaterpeilen en hogere grondwaterstanden neemt het transport tussen land en water na vernatting netto toe (zowel van water naar land als van land naar water). Stroombanen zijn ondieper en de interactie met de nutriëntenrijke toplaag van de bodem is groter, waardoor meer mobilisatie kan plaatsvinden van de bodem naar het opstaande water.

Als de bodem verzadigd is met water, worden ijzerhydroxiden gereduceerd, waarna het daaraan gebonden fosfor gemobiliseerd wordt. Dit fosfor kan vervolgens samen met het gereduceerde ijzer naar het oppervlaktewater uitspoelen. Indien fosfor samen met ijzer uitspoelt, kan fosfor in de zuurstofrijke waterlaag ook weer neerslaan met ijzer als ijzerhydroxiden, die bovenin de waterbodem opgeslagen worden. Een groter wateroppervlak en meer ondiep water langs oevers na vernatting betekent ook meer (tijdelijke) inundatie van voormalige perceelbodems, met meer kans op nalevering van nutriënten en interne eutrofiëring.

Foto 5

Vrouw Vennepolder, Zuid-Holland (Foto: Sarah Faye Harpenslager).



Vernatting leidt netto tot een lagere uitspoeling van sulfaat uit de percelen naar het oppervlaktewater. Dit zal (op termijn) tot een verlaagde fosformobilisatie vanuit de waterbodem leiden. Sulfaat kan namelijk gereduceerd worden tot sulfide, wat vervolgens ijzer bindt. Hierdoor komt ijzer-gebonden fosfor vrij (Smolders et al., 2024). In ondiepe veenweidesloten draagt de fosfornalevering vanuit de waterbodem in belangrijke mate bij aan de totale fosforbelasting van het oppervlaktewater. De lagere sulfaatuitspoeling uit de percelen na vernatting kan dus een positief effect hebben, omdat er juist in de waterbodem meestal veel fosfor opgeslagen ligt dat gemobiliseerd kan worden door sulfaat. Daarnaast zal het slib door een grotere waterdiepte minder sterk opwarmen, waardoor de nalevering langzamer verloopt.

HYDROLOGISCHE EFFECTEN VAN VERNATTING

Hydrologische effecten van vernatting kunnen ook de waterkwaliteit beïnvloeden. Zo kan vernatting door verhoogde (grond)waterpeilen leiden tot een lagere kweldruk. Een verlaagde kwelinvloed kan zowel een positief als een negatief effect hebben op de oppervlaktewaterkwaliteit. Het netto-effect is afhankelijk van de samenstelling van het kwelwater. In de meeste gevallen leidt een verlaagde kwelinvloed tot een lagere aanvoer van nutriënten (ammonium en fosfor) en sulfaat, maar ook tot een verlaagde aanvoer van elementen die juist belangrijk zijn voor de vastlegging van fosfor en de buffering van de onderwaterbodem (o.a. ijzer en calcium).

Bij verschillende vormen van vernatting zal ook de hoeveelheid inlaatwater en hiermee de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater veranderen. De nutriëntenbelasting is het product van het waterdebiet (de som van alle ingaande waterstromen) en de nutriëntenconcentratie. In de uitgangssituatie wordt de nutriëntenbelasting op het schaalniveau van een peilvak vaak voor 70 tot meer dan 90 procent bepaald door het debiet van het inlaatwater (Van Rotterdam et al., 2019, Moria et al., 2025). Het gevolg van een grotere hoeveelheid inlaatwater zou daarmee ook leiden tot een toename van de nutriëntenbelasting (in de zomer). Dit geldt ook als het inlaatwater voedselarmer is dan het water in de polder zelf.

Inlaatwater kan sulfaat, chloride, ammonium en andere stoffen bevatten die de waterkwaliteit (indirect) negatief kunnen beïnvloeden, omdat ze anaerobe afbraak kunnen stimuleren (nitraat en sulfaat), zuurstof verbruiken (ammonium) of omdat planten en fauna zich niet kunnen aanpassen aan grote fluctuaties (chloride). Voor sulfaat is er in veenweidegebieden vaak sprake van veel uitspoeling in de natte (winter) maanden (dat deels uit het gebied verdwijnt door afvoer van water uit het gebied via de boezem), terwijl in de droge zomermaanden de aanvoer met inlaatwater groot kan zijn (dit sulfaat blijft juist in het gebied).

In veel veenweidegebieden vormt inlaatwater op jaarbasis, ondanks de grote hoeveelheid inlaatwater, vaak een relatief kleine bron van nutriënten in het oppervlaktewater in vergelijking met uitspoeling en afstroming van percelen, en de nalevering uit de waterbodem. De kwaliteit van het inlaatwater heeft vaak dus maar een beperkte invloed op de nutriëntenconcentratie in het oppervlaktewater. Een hogere fosforconcentratie als gevolg van vernatting is vaak niet het gevolg van inlaat, maar van een grotere invloed van de nutriëntrijke toplaag van de bodem. Samengevat hebben interne processen (uit- en afspoeling van nutriënten uit percelen, erosie en nalevering uit de waterbodem) in de meeste gevallen een grotere invloed op de oppervlaktewaterkwaliteit na vernatting dan een toename van inlaatwater.

De hierboven genoemde processen worden beïnvloed door gebiedseigenschappen zoals de land-water verhouding (het percentage open water), de diepte en breedte van watergangen en de breedte en morfologie van percelen. In zeer waterrijke gebieden zal bij vernatting de watervraag minder sterk toenemen dan in waterarme gebieden, omdat evapotranspiratie van een perceel met gras groter is dan van open water). Daarnaast zal de afstroming uit percelen een relatief kleiner effect hebben op de waterbalans. Tegelijkertijd zijn waterrijke systemen meestal gevoeliger voor nutriënten omdat de verblijftijd van het water hier meestal langer is. Dit leidt tot een lagere kritische belasting.

EFFECTEN VAN VERNATTING IN BREDERE CONTEXT

In dit kennisoverzicht is getracht de effecten van vernatting in het veenweidelandschap op de waterkwaliteit in beeld te brengen. Hierbij moet benadrukt worden dat het merendeel van de oppervlaktewateren in het veenweidegebied in de huidige situatie in een matige tot slechte staat verkeren, zowel op gebied van de ecologische waterkwaliteit als de nutriëntentoestand (o.a. Smolders et al., 2013, Van Rotterdam et al., 2026). Dit wordt grotendeels veroorzaakt door de erfenis van decennialange ontwatering, intensief landgebruik en eutrofiering. Het huidige gebruik leidt niet alleen tot een slechte waterkwaliteit maar ook tot bodemdaling en broeikasgasemissies. Om bodemdaling en verhoogde uitstoot van broeikasgassen tegen te gaan, neemt het belang om delen van het veenweidegebied te vernatten toe. Uit het huidige kennisoverzicht komt echter naar voren dat ook vernatting de waterkwaliteit negatief kan beïnvloeden. Deze risico's spelen vooral op de korte termijn.

Daarnaast speelt het schaalniveau waarop vernatting plaatsvindt een rol. De waterkwaliteit wordt in grote delen van West-Nederland negatief beïnvloed door de hoge sulfaatconcentraties van het oppervlaktewater. Deze hoge sulfaatconcentraties worden veroorzaakt door oxidatie van zwavelrijke bodems en zullen afnemen wanneer op regionale schaal de oxidatie van zwavelrijke bodems vermindert door vernatting. Op termijn zal dit leiden tot een verbetering van de waterkwaliteit. Hoe deze effecten van vernatting zich op lange termijn zullen ontwikkelen is te complex om goed te voorspellen. Tegelijkertijd is het duidelijk dat door gaan met het huidige landgebruik en de huidige mate van ontwatering van het veenweidelandschap de waterkwaliteit niet zal verbeteren, maar eerder verder zal doen verslechteren.

Een van de grootste belemmeringen voor een goede waterkwaliteit is de huidige samenstelling van de waterbodem in het veenweidegebied. Dit is een erfenis van decennialange drainage, eutrofiëring en een slechte ecologische toestand. Voor de waterkwaliteit in het veenweidegebied is het van groot belang dat de kwaliteit van de waterbodem verbetert. Zoals uit dit kennisoverzicht naar voren komt hebben verschillende vernattingsmaatregelen hier maar beperkt invloed op.

Het is van belang vooraf te bepalen welke methode van vernatting in welke situatie het best toegepast kan worden. Hoewel de maatregelen worden uitgevoerd om bodemdaling en broeikasgasemissies tegen te gaan, is het belangrijk om rekening te houden met de effecten op de waterkwaliteit. De volgende paragraaf geeft een overzicht van de beschikbare kennis over mitigerende maatregelen die de mogelijk risico's van vernatting voor de waterkwaliteit kunnen beperken. Voor een goede afweging en inschatting van effecten op waterkwaliteit bestaan er nog een aantal openstaande kennislacunes (zie hoofdstuk 4). Door deze op te pakken kunnen integrale handvatten voor beheer worden ontwikkeld.

Tabel 5 Synthesetabel voor de drie hoofdsenario's met de effectinschatting (overgenomen uit eerdere tabellen) op hydrologische, fysische en biogeochemische processen die belangrijk zijn voor de waterkwaliteit.

Scenario	Hydrologische processen						Fysische processen			Biogeochemische processen	
	Grondwaterstand		Uitspoeling		Afspoeling		Waterdiepte	Risico op oever erosie & slibaanwas	Risico op oever afkalving boven watertijn	Netto effect P belasting	Netto effect op P beschikbaarheid waterlaag
	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter					
1 Vernatting door slootpeilverhoging	0/++	+ /+++	0/--	- /---	0/+++	+ /+++	0/++	+ /+++	0/+	+	0/-
2 Vernatting door slootpeilverhoging met actieve maatregelen verhoging grondwaterstand	++ /+++	-- /+++	-- /0	-- /+++++	---- /+++	---- /'+++++	0	+ /++	+ /++	+++ /++++	+
3 Vernatting door slootpeilverhoging met (kans op) inundatie van percelen, MET hydrologische isolatie (van perceel naar sloot)	+ /+++++	+++ /+++++	--- /----	---	+ /++	+ /++	++	+ /++	0 /++	+	0/-
3 Vernatting door slootpeilverhoging met (kans op) inundatie van percelen, ZONDER hydrologische isolatie (van perceel naar sloot)	+ /+++++	+++ /+++++	---- /++	---	++ /++++	++ /++++	++	++ /+++	0 /++	+ /++	-

3.2 MITIGERENDE MAATREGELEN

Vernatting van het veenweidegebied brengt zowel kansen als risico's met zich mee. Om bodemdaling en broeikasgasemissies te verlagen zullen in ieder geval delen van het veenweidegebied vernat moeten worden. Het is daarom van belang om potentiële negatieve effecten van vernatting op de waterkwaliteit in te schatten en om mitigerende maatregelen te ontwikkelen die deze risico's zo klein mogelijk maken.

Alvorens te gaan vernatten en mitigerende maatregelen te ontwikkelen is het belangrijk om te begrijpen hoe het gebied functioneert. Zo kunnen passende vernattingsmaatregelen worden gekozen en de effecten en potentiële risico's van vernatting worden bepaald. Hierbij dienen minimaal de volgende aspecten in kaart te worden gebracht:

- algemene kenmerken van het gebied; (historisch) landgebruik en drooglegging,
- de bodemsamentelling, bodemtype, diepte van veraarde en onveraarde veenlagen, mate waarin de bodem is verrijkt met nutriënten;
- het hydrologisch functioneren van het gebied (waterbalans), hoeveelheid kwel en wegzijging, ontwateringsdiepte, samenstelling en hoeveelheid inlaatwater, samenstelling grondwater
- huidige ecologische toestand inclusief waterbodem, profiel en oeverstabiliteit van de watergangen en het beheer (waterbeheer, oeverbeheer en perceelbeheer).

Zoals blijkt uit dit kennisoverzicht, bestaan er nog veel kennislacunes over de effecten van vernatting op de waterkwaliteit. Hieruit volgt logischerwijs dat er ook nog kennislacunes zijn over potentiële mitigerende maatregelen die de risico's op deze effecten kunnen verkleinen. Toch is getracht hier advies te geven over dergelijke mitigerende maatregelen.

- *Snelheid van vernatting*

De invloed van de snelheid van vernatting op de effecten voor de waterkwaliteit zijn lastig in te schatten. Het is dan ook niet mogelijk om een optimale snelheid van vernatting te specificeren. Wel lijkt het verstandig om bij vernatting rekening te houden met de ontwikkeling van de oevervegetatie. Bij te snelle vernatting neemt het risico op oevererosie toe omdat de (inundatietolerante) oevervegetatie tijd nodig heeft om mee te bewegen met de nieuwe waterlijn. Wortels van terrestrische planten sterven af bij langdurige vernatting (meer dan enkele weken), waardoor het gemineraliseerde veen (zwarte oever) blootgesteld wordt aan het water. Dit verhoogt het risico op erosie. Het oeverprofiel en de oeverstabiliteit in de uitgangssituatie, en de gewenste mate van slootpeilverhoging zijn bepalend voor de gewenste snelheid van vernatting.

- *Hydrologie & veenafbraak*

Bij vernatting om bodemdaling en broeikasgasemissies tegen te gaan, is het van belang om zowel het uitzakken van de grondwaterstand in de droge (zomer)periode, als de fluctuaties in het grondwater door het jaar heen te verminderen. Een beperking van de fluctuaties in de grondwaterstanden zal de totale veenafbraak verlagen, waardoor ook het verlies aan bodemstructuur en de mobilisatie van nutriënten kunnen verminderen. Dit komt op termijn de waterkwaliteit ten goede.

Bij vernatting moet zo veel mogelijk voorkomen worden dat water onnodig wordt ingelaten of wordt rondgepompt tussen perceel en watergang (zoals bij AWIS) om de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewatersysteem te beperken.

- *(Oever-)beheer extensiveren & inrichting*

Een groot deel van de potentiële risico's van vernatting voor de waterkwaliteit komen voort uit erosie (onder de waterlijn), afkalving (landverlies boven de waterlijn) en afspoeling vanuit oevers en percelen. Een goed ontwikkelde oeervervegetatie kan het risico op deze effecten verlagen doordat de aanwezigheid van deze planten en hun wortels de structuur van de oever verbeteren. Dit helpt om erosie, afkalving en afspoeling te verminderen.

Voor het beheer dient onderscheid te worden gemaakt tussen perceelrand, oever en sloot. Bufferstroken en ANLb (Agrarisch Natuur- en Landschapsbeheer)-beheerpakketten richten zich op de perceelrand. Voor de stabiliteit van de oever is beheer van de oeverzone juist belangrijk. Hier moeten inundatietolerante soorten staan, die met hun dichte wortelstelsel stabiliteit geven aan het veen en tegendruk bieden aan erosie onder de waterlijn. De eerste resultaten van de beheerproeven van het project Veenweidesloot van de Toekomst (VeeST) laten zien dat naast het maaibeheer van de natte en droge oevers, ook het aanpassen van de belasting van de oever (en het perceel) belangrijk is voor de ontwikkeling van oeervervegetatie (Van Rotterdam et al., 2026).

Het slootbeheer (maaïen van de vegetatie in sloot en oever en verwijderen van de bovenste baggerlaag) is idealiter gebaseerd op 'niets doen, tenzij...'. Alleen wanneer de aan- en afvoer van water in het geding komt, de waterdiepte minder is dan 20 tot 30 cm en/of wanneer nutriënten verwijderd moeten worden om eutrofiering te voorkomen en/of woekering van een enkele soort te doorbreken kan slootbeheer noodzakelijk zijn. Dit minimale beheer geeft de oeervervegetatie een kans om zich te ontwikkelen.

Het maaibeheer van de oeverzone is idealiter zo beperkt mogelijk. Wanneer wel beheerd wordt, dient de oever rond de waterlijn zoveel mogelijk te worden gespaard. Het is daarbij belangrijk dat een deel van de vegetatie blijft staan, met name in de lengte langs de waterlijn. De gemaaide vegetatie dient buiten de oeverzone te worden gelegd.

Baggeren kan helpen om de waterdiepte te vergroten. Daarnaast worden met baggeren opgehoopte nutriënten verwijderd, waardoor nalevering kan worden voorkomen. Baggeren is alleen effectief indien de baggeraanwas, vanuit percelen of omliggende wateren, kleiner is dan de hoeveelheid slib die een keer per vijf jaar wordt weggehaald. Baggeren vindt idealiter plaats met een baggerspuit, waarbij alleen bagger uit het hart van de sloot wordt verwijderd. Soms is deze aangepaste werkwijze van baggeren vastgelegd in ANLb-beheerpakketten.

Inrichting van watergangen door aanpassen van breedte, diepte en hellingshoek van oevers is in het veenweidegebied vaak niet nodig. Het oeverprofiel is vaak al breed en flauw, alleen mist het juiste minimale beheer waardoor oeervervegetatie zich kan ontwikkelen.

Vernattingsmaatregelen moeten altijd samengaan met een aangepast onderhoudsbeheer van oevers en sloten. Peilopzetten en doorgaan met baggeren en slootschonen volgens de reguliere praktijk is funest voor de waterkwaliteit, omdat dit het risico op oeverserosie en baggervorming vergoot. Gedurende de eerste jaren na vernatting, zou beperkt onderhoudsbeheer toegepast moeten worden en minimale belasting met vee. Dat geeft het oppervlaktewatersysteem en de oeervervegetatie de tijd om zich aan te passen aan

de hogere oppervlaktewaterpeilen. De agrariër zou voor het extra werk en verminderde opbrengst gecompenseerd kunnen worden

- *Inundatie voorkomen*

Wanneer het huidige landbouwkundige gebruik wordt voortgezet, moet bij het toepassen van vernattingsmaatregelen worden voorkomen dat percelen inunderen. Hoe kleiner de drooglegging na vernatting hoe groter het risico op (tijdelijke) inundaties. Bij langdurige inundatie bestaat het risico dat de grasmatten afsterft en hiermee draagkracht van de bouwvoor sterk afneemt, met alle negatieve gevolgen van dien. Indien expliciet gekozen wordt voor (tijdelijke) inundaties, zal het gebruik van de veenweiden moeten veranderen. Hierbij kan gedacht worden aan natte teelten of natte natuur en moerasontwikkeling.

- *Inrichting van landschap*

Toekomstige vernatting van veenweidegebieden op grotere (landschapsschaal) biedt ook kansen om de problematiek rond bodemdaling, broeikasgasemissies en waterkwaliteit gezamenlijk aan te pakken door kritisch te kijken naar gebiedsinrichting en doelstellingen. Door in de gebiedsinrichting niet alleen de veenweidepolder zelf maar ook het omliggende landschap mee te nemen, kan het watersysteem in verschillende onderdelen in het landschap beter op elkaar afgestemd worden. Hierbij kan bijvoorbeeld gekeken worden naar een concept als 'wetscapes' (Temmink et al. 2023).

Daarnaast kan er gedacht worden aan het concept 'optoppen' (Smolders et al., 2019). Dit concept stelt voor om plaatselijk de voedselrijke, veraarde toplaag af te graven en hiermee nabijgelegen percelen 'op te toppen'. De afgegraven percelen kunnen vervolgens gebruikt worden voor natuurontwikkeling of paludicultuur, terwijl op de 'opgetopte' percelen regulier landbouwkundig gebruik kan worden voortgezet. Hierdoor kan in een hele polder mogelijk het peil verhoogd worden, waardoor er voordelen zijn voor landbouw, natuur en waterberging.

4

KENNISLACUNES & AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste uit het kennisoverzicht voortkomende kennislacunes opgenomen, daarbij aanbevelingen welke vervolgstappen genomen kunnen worden om de kennislacunes te vullen.

KENNISLACUNE 1 – EFFECTEN VAN VERNATTING VAN HET VEENWEIDELANDSCHAP OP STOFFLUXEN VAN EN NAAR HET OPPERVLAKTEWATER

De afgelopen jaren hebben verschillende onderzoeksprogramma's de effecten van vernattingsmaatregelen op veenweidepercelen bepaald, o.a. op het gebied van grondwaterstandsdynamiek, bodemprocessen, en bodemdaling. Hierdoor is er het nodige bekend over de effecten van vernatting op bodemprocessen in veenweidepercelen (veenafbraak, mobilisatie en immobilisatie van stoffen en de interactie hiertussen), en hoe zich dit vertaalt naar veranderingen in concentraties van stoffen in het poriewater. Voor het bepalen van de effecten van vernatting op de waterkwaliteit, is het echter belangrijk ook inzicht te hebben in veranderingen in waterstromen. Alleen door kennis van watertransport én stofconcentratie kan bepaald worden hoe stofstromen veranderen na vernatting en hoe deze beïnvloed worden door bodemtype, klimaatverandering, seizoensdynamiek en de variatie tussen jaren (natte en droge jaren). Daarnaast worden ook de stofstromen vanuit erosie van de oever en baggervorming beïnvloed door vernatting. Het netto effect van vernatting op erosie is echter nog onbekend, evenals welke eigenschappen hierbij bepalend zijn. Het is nog onvoldoende bekend hoe vernatting zowel de totale stofstromen als de relatieve bijdrage van verschillende processen hierin beïnvloedt.

Aanbeveling:

Om meer inzicht te krijgen in de effecten van vernatting van veenweidepercelen op de oppervlaktewaterkwaliteit wordt geadviseerd om te onderzoeken hoe vernatting de stoffluxen beïnvloedt van stoffen die belangrijk zijn voor de oppervlaktewaterkwaliteit. Het gaat hierbij zowel om uit- en afspoeling, als om erosie van de oevers en de nalevering vanuit het slib of de waterbodem naar het oppervlaktewater. Hierbij zijn met name de stofstromen van fosfor, stikstof, ijzer, zwavel, bicarbonaat, en opgelost en totaal organisch koolstof (respectievelijk DOC en TOC) relevant. Allereerst zal bekeken moeten worden in hoeverre reeds beschikbare datasets zich lenen om in meer detail naar stoffluxen te kijken, zoals de datasets van het onderzoeksprogramma NOBV en of een studie naar effect van vernatting in Zegveld (Velstra et al., 2016). Het moet hierbij gaan om studies waarin zowel concentraties van de hierboven genoemde stoffen als hydrologische gegevens van de percelen en het oppervlaktewater bepaald zijn. Onze inschatting is dat deze datasets zich goed lenen om hoofdzaken en bijzaken te onderscheiden wat betreft de relatieve bijdragen van verschillende bronnen. Omdat het langdurige meetreeksen betreft, kunnen ook effecten van verschillende seizoenen en jaren meegenomen worden. Wel vergt bijvoorbeeld de dataset van het NOBV aanvullend werk, omdat informatie over waterstromen ontbreekt. Met modellen zou een inschatting gemaakt kunnen worden van de waterstromen op de verschillende locaties.

Hoewel met bestaande datasets een eerste inschatting gemaakt kan worden van de effecten van vernatting op de waterkwaliteit, zijn deze datasets niet specifiek ontwikkeld om deze vraag te beantwoorden. Dit geldt sowieso voor de bijdragen van afspoeling en erosie, die in eerdergenoemde onderzoeksprogramma's niet zijn meegenomen. Daarnaast kunnen uit een nader onderzoek op basis van bestaande datasets weer nieuwe onderzoeksvragen voortkomen. We adviseren dan ook om op enkele locaties gedetailleerd onderzoek te verrichten naar de effecten van vernatting op de stoffluxen (budgetten) van percelen naar het oppervlaktewater. Hierbij zouden dan alle stromen meegenomen moeten worden: uitspoeling, afspoeling en erosie. Daarnaast wordt aanbevolen om bij vernattingsmaatregelen eerst de uitgangssituatie in beeld te brengen en vervolgens een monitoringsprogramma op te stellen om de effecten door de tijd te kunnen volgen. Zoals eerder aangegeven zou hierbij ook het onderhoudsbeheer van perceelrand, oever en sloot aangepast moeten worden ten opzichte van de uitgangssituatie.

Foto 6 Regio Vechtlassengebied, Utrecht (Foto: Gijs van Dijk).



KENNISLACUNE 2 – EFFECTEN VAN VERNATTING VAN HET VEENWEIDELANDSCHAP OP DE BODEMSTRUCTUUR

Vernatting van veraarde veenbodems kan afbraakprocessen stimuleren, waardoor de structuur, draagkracht en schuifspanning van de veenbodems afnemen. De sturende factoren achter deze verhoogde afbraak (omgevingsfactoren, bodemsamenstelling, kwaliteit van inlaatwater, waterstandsfluctuaties etc.) zijn grotendeels onbekend. Door deze kennislacune is het ook nog niet mogelijk om mitigerende maatregelen te ontwikkelen tegen deze negatieve effecten van vernatting. Omdat structuurloze bodem makkelijker kan uitspoelen en oevers gevoeliger worden voor erosie, kunnen deze processen negatieve gevolgen hebben voor de waterkwaliteit door een toename in slibvorming, turbiditeit en nutriëntenbelasting. Het is daarom van groot belang om te begrijpen hoe vernatting en langere perioden van hogere (grond-)waterstanden doorspelen op afbraakprocessen en de bodemstructuur. Met dit inzicht zouden ook praktische beheermaatregelen ontwikkeld kunnen worden om deze negatieve neveneffecten te voorkomen of te mitigeren.

Aanbeveling:

Wij adviseren onderzoek te verrichten naar de stuurfactoren voor de verhoogde afbraakprocessen na vernatting die leiden tot verminderde bodemstructuur. Hierbij is het van belang te bepalen in hoeverre de mate van historische drooglegging, veentype, bodemsamenstelling en bodemopbouw hierbij een rol spelen. Naast vernatting, zouden ook waterstandsfluctuaties

aties een rol kunnen spelen. Het is belangrijk te onderzoeken of het effect van permanente vernatting anders is dan van sterk fluctuerende waterstanden. Dit onderzoek moet nadrukkelijk gericht zijn op de percelen (maaiaveld en onderliggende bodem) en de oever, en op erosie- en baggervorming. Naast onderzoek naar de stuurfactoren, is praktisch toegepast onderzoek gewenst om te bepalen hoe deze negatieve effecten van vernatting voorkomen en/of gemitigeerd kunnen worden.

Foto 7

Krimpenerwaard, Zuid-Holland (Foto: Ralph Temmink).



KENNISLACUNE 3 – DE ROL VAN DE WATERBODEM IN VEENWEIDESLOTEN

De waterkwaliteit in veenweidesloten wordt voor een groot deel bepaald door de samenstelling van de onderwaterbodem en het slib. De samenstelling van de slootbodems, en met name van het slib, is sterk bepaald door langdurig agrarisch landgebruik en ontwatering, waardoor de bodems verrijkt zijn met nutriënten, sterk reactief zijn en weinig structuur hebben. De slootbodems worden grotendeels gevoed door bodemdeeltjes en nutriënten afkomstig van erosie en uit- en afspoeling vanaf de naastgelegen percelen. Hoewel deze processen beïnvloed kunnen worden door vernatting, staat het effect dat deze aangetaste waterbodems hebben op de ecologie en waterkwaliteit van veenweidesloten ook deels los van de effecten van vernatting. Deels vormt het een erfenis van het huidige gebruik en beheer van het veenweidegebied. Het is echter nog een kennislacune in welke mate vernatting de waterbodem beïnvloedt (middels erosie en uit- of afspoeling) en hoe hier met waterbeheer en baggeren mee omgegaan kan worden.

Aanbeveling:

Wij adviseren om bij de onderzoeken die bij kennislacunes 1 en 2 besproken worden, expliciet ook de effecten op de waterbodem en de invloed van de waterbodem op de waterkwaliteit mee te nemen. Hierbij is ook het handelingsperspectief (o.a. keuzes in het waterbeheer, oeverbeheer, baggeren) voor de waterbeheerders om tot een betere waterkwaliteit te komen na vernatting van belang.

KENNISLACUNE 4 – DE ONTWIKKELING VAN OEERVEREGATIE IN VEENWEIDESLOTEN

Bij vernatting kan het risico op oeverserosie toenemen, terwijl afkalving kan toe- of afnemen. Oevervegetatie speelt een cruciale rol bij de stabiliteit van oevers. Na het verhogen van slootpeilen komt de ontwikkeling van moeras- en oevervegetatie echter meestal slecht op gang. Dit geldt ook voor ondiepe oeverszones met flauw talud. Het is onbekend waarom de vegetatieontwikkeling achterblijft. Daarnaast is het onbekend in hoeverre de snelheid waarmee slootpeilen worden opgezet van invloed zijn op de vegetatieontwikkeling en het risico op erosie. Hierbij speelt ook de interactie met water- en oeverbeheer mee. Het is lastig om concrete adviezen te geven hoe een gezonde oevervegetatie kan ontwikkelen na vernatting, welke soorten gewenst zijn en hoe deze oeverszone vervolgens beheerd moet worden.

Aanbeveling:

Wij adviseren aanvullend onderzoek naar de factoren die de ontwikkeling van een oevervegetatie na vernatting verhinderen ofwel deze kunnen versnellen. Hierbij is zowel onderzoek naar de stuurfactoren die de huidige vegetatieontwikkeling remmen als onderzoek naar potentiële maatregelen die de ontwikkeling van een oevervegetatie kunnen stimuleren belangrijk. In dit toegepaste onderzoek moeten beheermaatregelen ook opgenomen worden.

KENNISLACUNE 5 – PERIODE VAN VERHOOGDE FOSFORBELASTING IN VEENWEIDESLOTEN NA VERNATTING

Op basis van dit kennisoverzicht kan worden gesteld dat het risico op een hogere fosforbelasting toeneemt met vernatting. Dit heeft te maken met een verandering in redoxtoestand en een toename in anaerobe afbraak, waardoor o.a. fosfor, ammonium en ijzer vrijkomen en uitspoelen. Omdat anaerobe afbraak langzamer gaat dan aerobe afbraak, is de verwachting dat de totale veenafbraak afneemt door vernatting. Het is waarschijnlijk dat ook de toename in fosforbelasting tijdelijk is. Hoe lang het duurt voordat de hogere uitspoelingsconcentraties van P (door de verrijkte toplaag) weer afnemen is onduidelijk. Dit zal ook afhangen van verschillende factoren, zoals de mate en methode van vernatting, de nutriëntenbeschikbaarheid in de toplaag en de uit- en afspoeling.

Aanbeveling:

Wij adviseren om onderzoek te doen naar de effecten van verschillende vernattingsmaatregelen op de afbraakprocessen in de veenbodem in combinatie met de effecten op de af- en uitspoeling uit percelen naar het watersysteem. Het netto effect op de belasting in het watersysteem is de resultante van meerdere processen waarbij ook de nalevering uit slib en de ecologische toestand meegenomen moet worden. Het is hierbij van belang duidelijk onderscheid te maken tussen (1) de voortgang van de huidige situatie, (2) tijdelijke effecten (maanden/jaren) van vernatting en (3) lange termijn (meerdere jaren/decennia) effecten van vernatting. Sowieso wordt geadviseerd om daar waar vernattingsmaatregelen worden uitgevoerd ofwel onderzoek aan vernatting op percelen gedaan wordt de effecten op de waterkwaliteit goed te monitoren. Zie ook de aanbeveling bij kennislacune 1.

Algemene aanbeveling

Om bodemdaling en broeikasgasemissies in het veenweidegebied tegen te gaan neemt de druk toe om delen van het veenweidegebied te gaan vernatten. Zoals uit dit kennisoverzicht blijkt zal vernatting consequenties hebben voor de waterkwaliteit. Tegelijkertijd is zowel de ecologische als chemische waterkwaliteit in het merendeel van de oppervlaktewateren in het veenweidegebied in de huidige situatie al in een slechte staat. Doorgaan met het huidige beheer van het veenweidelandschap zal de waterkwaliteit dus niet verbeteren, maar

eerder verder doen verslechteren. Het is daarom van belang om te bepalen op welke manier vernatting kan bijdragen aan het beperken van de bodemdaling en broeikasgasemissie, met zo min mogelijk negatieve gevolgen of zelfs positieve gevolgen voor de waterkwaliteit. Door het aanpakken van bovenstaande kennislacunes kunnen concrete inzichten en handvatten ontwikkeld worden voor beheer en gebiedsinrichting. Tevens adviseren we om zowel op kleine als op grote schaal te kijken, van polder naar het gehele landschap. Zo kan gewerkt worden aan een meer toekomstbestendige inrichting van het landschap. Hierbij kan bijvoorbeeld gekeken worden naar een concept als 'wetscapes' (Temmink et al., 2023). Omdat de huidige klimaatverandering zorgt voor veranderingen in perioden van droogte en perioden met intensieve neerslag, is het van groot belang om het landschap zo in te richten dat het water goed verdeeld kan worden. Dit betekent dat er breder gekeken moet worden dan het veenweidelandschap en dat het waterbeheer in omliggende gebieden, de rivieren en hogere zandgronden in Nederland meegenomen moeten worden.

5

LITERATUUR

Aviles, D., Wesström, I., Joel, A. (2020) Effect of vegetation removal on soil erosion and bank stability in agricultural drainage ditches. *Land* 2020 9: 441-456, <https://doi.org/10.3390/land9110441>

Bessembinder, J., Bintanja, R., Van Dorland, R., Homan, C., Overbeek, B., Selten, F., Siegmund, P. (2023) KNMI'23-klimaatscenario's voor Nederland, KNMI publicatie-23-03

Boonman, J., Harpenslager, S.F., Van Dijk, G., Smolders, A.J.P., Hefting, M.M., Van de Riet, B.P., 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. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116728>.

Boonman, J., Tolunay, D., Keuskamp, J., Heffernan, L., Buzacott, A.J., Harpenslager, S.F., van Dijk, G., Hefting, M., van der Velde, Y. (2025) High contributions of anaerobic decomposition to greenhouse gas emissions of agriculturally used peatlands. *Geoderma*, 462, p.117521.

Brouns, K., Keuskamp, J. A., Potkamp, G., Verhoeven, J. T. A., Hefting, M. M. (2016). Peat origin and land use effects on microbial activity, respiration dynamics and exo-enzyme activities in drained peat soils in the Netherlands. *Soil Biology and Biochemistry*, 95, 144 – 155. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.11.018>

De Jong, A.E.E., Guererro-Cruz, S., van Diggelen, J.M.H., Vaksmaa, A., Lamers, L.P.M., Jetten, M.S.M., Smolders, A.J.P., Rasigraf, O. (2020) Changes in microbial community composition, activity, and greenhouse gas production upon inundation of drained iron-rich peat soils. *Soil Biol. Biochem.* 149, 107862 <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107862>.

De Jong, H., Kort, S., Van de Maat, E. (2025) Hoe nat kan je gaan?! Over effecten en kansen bij vernatting van veen. Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden.

Emsens, W.-J., Aggenbach, C.J.S., Schoutens, K., Smolders, A.J.P., Zak, D., van Diggelen, R. (2016) Soil iron content as a predictor of carbon and nutrient mobilization in rewetted fens. *Plos One*, 11(4), 0153166, 17 pp.

Evans, M., Warburton, J. (2007) Geomorphology of upland peat: erosion, form and landscape change. John Wiley & Sons.

Geurts, J.J., Smolders, A.J., Banach, A.M., van de Graaf, J.P., Roelofs, J.G., Lamers, L.P. (2010) The interaction between decomposition, net N and P mineralization and their mobilization to the surface water in fens. *Water Res.* 44, 3487 – 3495.

Harpenslager S.F., van Dijk G., Boonman J., Weideveld S.T., van de Riet B.P., Hefting M.M., Smolders A.J. (2024) Rewetting drained peatlands through subsoil infiltration stabilises redox-dependent soil carbon and nutrient dynamics. *Geoderma* 442:116787

Hendriks D., F. Hoogland, R. Meeusen, A. Roelandse, N. Sandfort (2024) Waterkwantiteit in het veen. Watervraag, watertekort en wateroverlast door waterinfiltratiemaatregelen en vernatting in het veenweidegebied. STOWA 2024-41 ISBN 978.94.6479.077.1

Heuts, T.S., van der Scheer O.E., Harpenslager S.F., van Diggelen J.M.H., Smolders A.J.P., Fritz C. (2026) Phosphorus saturation ratio predicts phosphorus mobilization in peat and mineral soils after rewetting. *Ecological Engineering* 230 (2026) 108019

Klaassen, J., Pelsma, T., Van Willegen, L., Van Hardeveld, H. (2026) Natte teelt in veenweiden: lessen uit de pilot Ankeveen. H2O.

KNMI jaaroverzicht 2018, <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maand-en-seizoensoverzichten/2018/jaar>, geraadpleegd december 2025

KNMI jaaroverzicht 2024, <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maand-en-seizoensoverzichten/2024/jaar>, geraadpleegd december 2025

Lamers L., Schep S., Geurts J., Smolders F. (2012) Erfenis fosfaatrijk verleden: helder water met woekerende waterplanten. *H2O* 13, 29 – 31

Moria L., Van Dam, N., Van Rotterdam, D. (2023). Vergroten waterdiepte in de Taartpunt-natuur, Maarsseveen Westbroek. Aanbevelingen voor het verbeteren van de ecologische waterkwaliteit. Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1993.N.23.

Moria, L., Kanters, S., Van Diggelen, J., Smolders, F., Schep, S., Clevers, S., Geurts, J. (2025) Eutrofiëring bij natuurontwikkelingsprojecten als gevolg van erosie, uitspoeling en/of afspoeling in laagveengebieden. Rapport nummer OBN-2024-146-LZ, Kennisnetwerk OBN, Driebergen.

Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Hanson, C.E., Van der Linden, P.J. (2007) Climate change, 2007. Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge.

Penning, E., Klein, A., Asselman, N., De Louw, P., Kaandorp, V., Van Geest, G. en Schoonderwoerd, E., (2024). Sponswerking van Landschappen in Nederland (Tech. Rep.). Delft: Deltares.

Poelen, M.D.M., L.J.L. van den Berg, G. ter Heerdt, R. Bakkum, A.J.P. Smolders, N.G. Jaarsma, R.J. Brederveld & L.P.M. Lamers (2012) WaterBODEMbeheer in Nederland: Maatregelen Baggeren en Nutriënten (BAGGERNUT) - Metingen Interne Nutriëntenmobilisatie en Decompositie (MIND-BAGGERNUT) Eindrapportage 2012. Rapport 2012-18, Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.

Poelen M. & Smolders A.J.P. 2015. Polder Stein-noord. Biogeochemisch onderzoek naar de water-, oever- en slibkwaliteit van de sloten. Rapport 2015-17, Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.

Reitsma, R.E., van Ek, R. Schep, S.A., Smolders, A.J.P., Van Dijk, G. (2024) Afwegingskader inlaat gebiedsvreemd water voor natuur plus inhoudelijke onderbouwing, STOWA 2024-35 ISBN 978.94.6479.082.5

Schoumans, O. (2004) Inventarisatie van de fosfaatverzadiging van landbouwgronden in Nederland. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 730.4. 50 blz.; 11 fig.; 5 tab.; 35 ref.

Smolders, A., Roelofs, J.G.M., 1993. Sulphate-mediated iron limitation and eutrophication in aquatic 546 ecosystems. *Aquat. Bot.* 46, 247 – 253.

Smolders AJP, Lamers LPM, Moonen M, Zwaga K, Roelofs JGM (2001) Controlling phosphate release from phosphate-enriched sediments by adding various iron compounds. *Biogeochemistry* 54: 219-228.

Smolders, A.J.P., Moonen, M., Zwaga, K., Lucassen, E.C.H.E.T., Lamers, L.P.M., Roelofs, J.G.M. (2006). Changes in pore water chemistry of desiccating freshwater sediments with different sulphur contents. *Geoderma*, 132, 372 – 383.

Smolders, A.J.P., Van Diggelen, J.M.H., Geurts, J.J.M., Poelen, M.D.M., Roelofs, J.G.M., Lucassen, E.C.H.E.T. & Lamers, L.P.M., (2013) Waterkwaliteit in het veenweidegebied: De complexe interacties tussen oever, waterbodembodem en oppervlaktewater. *Landschap*, 2013, 3, 145-153

Smolders A.J.P., van Riet B, van Diggelen J., van Dijk G, Geurts J. en Lamers L 2019. De toekomst van ons veenweidelandschap: over vernatten, op-toppen en veenmosteelt. *Landschap* 36(3): 133-141.

Smolders A.J.P., Van Geest G., Roelofs & Lamers L. (2025). Trofie. In G. Van Geest, F. Smolders & J. Roelofs (Eds). *Waterplanten en Waterkwaliteit. STOWA en Uitgeverij Noordboek*, pp 53-90.

Smolders, A.J.P., Verstijnen, Y.J.M., van Diggelen, J.M.H., Poelen, M.D.M., Lucassen, E.C.H.E.T., G. van Dijk (2024). Zwavelland. Sulfaat als obstakel voor het bereiken van de KRW-doelen. *Landschap* (41), 64-71

STOWA (2018). Waterstromen in beeld. Handleiding bij de Excelrekentool Waterbalans. STOWA rapportnummer 2018-74.

Temmink, R.J., Robroek, B.J., van Dijk, G., Koks, A.H., Käärmelahti, S.A., Barthelmes, A., Wassen, M.J., Ziegler, R., Steele, M.N., Giesen, W. and Joosten, H., 2023. Wetscapes: Restoring and maintaining peatland landscapes for sustainable futures. *Ambio*, 52(9), pp.1519-1528.

- Tokarz, E., Urban, D., 2015. Soil redox potential and its impact on microorganisms and plants of wetlands. *Journal of Ecological Engineering* 16 (3), 20 – 30. <https://doi.org/10.12911/22998993/2801>.
- Tolunay, D., Kowalchuk, G.A., Erkens, G., Hefting, M.M. (2024) Aerobic and anaerobic decomposition rates in drained peatlands: Impact of botanical composition, *Science of The Total Environment* 930, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172639>.
- Tuukkanen T, H Marttila, B Klöve (2014) Effect of soil properties on peat erosion and suspended sediment delivery in drained peatlands. *Water Resources Research* 50(4)
- Van Beek, C.L., Droogers, P., van Van Hardeveld, H.A., van den Eertwegh, G.A.P.H., Velthof, G.L., Oenema, O. (2007) Leaching of Solutes from an Intensively Managed Peat Soil to Surface Water. *Water. Air. Soil Pollut.* 182, 291 – 301. <https://doi.org/10.1007/s11270-007-9339-7>
- Van de Craats, D., van Riel, J.W., van Asselen, S., Jansen, S., Aben, R.C., Hessel, R. (2025) Effects of Subsurface Water Infiltration Systems on Groundwater Table Dynamics in Drained Peat Soils. *Hydrological Processes*, 39(12), p.e70347.
- Van Diggelen, J.M.H. (2015) Human Impact on Peatlands: From Biogeochemical Issues Towards Sustainable Land Use Options. PhD thesis, Radboud University Nijmegen, 139 pp. ISBN 978-94-6259-818-8.
- Van Diggelen J.M.H., Lamers L.P.M., van Dijk G., Schaafsma M.J., Roelofs J.G.M., Smolders A.J.P. (2014) New insights into phosphorus mobilisation from sulphur-rich sediments: Time-dependent effects of salinization. *PLoS ONE* 9 (11): 1-11.
- Van Diggelen J., Smolders A.J.P. Lamers L.P.M., Hendriks R., Kleijn B., Westendorp P.J., Turlings L. (2013) Onderzoek naar een duurzaam beheer van het Wormer- en Jisperveld. Eindrapportage 2012. Rapport 2013-05, Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.
- Van Diggelen J.M.H., Lamers L.P.M., Loermans, J.H.T, Rip, W.J., Smolders, A.J.P. (2020) Towards more sustainable hydrological management and land use of drained coastal peatlands - A biogeochemical balancing act, *Mires and Peat*, Volume 26, 12 pp
- Van Dijk, G. (2017) Peatlands affected by biogeochemical stressors. PhD thesis, Radboud University Nijmegen, 258 pp. ISBN 978-94-028-0864-3.
- Van Dusseldorp, M., Van Hardeveld, H., Klaassen, J., Kok, E. & Moria, L. 2025 Vernatting en ecologische waterkwaliteit, Handleiding en ecologisch toetsingskader voor vernatting in veenweidepolders
- Van Mullekom, M., Visscher, A. & Smolders, A.P.J. (2018) Bodemchemische quickscan Zegveld. Rapportnr RP-18.171.18.78, Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.
- Van Rotterdam D., Verhofstad, M., Moria, L., Koppenaal, E., Verweij, J., Sikking, F., Egas, Y., Jansen, E. & Thijssen, M., 2026, Tussenrapportage Veenweidesloot van de toekomst, Rapport VIP-NL, pp 91.

Van Rotterdam en Moria, 2024, Broeikasgasemissies uit veensloten, bronnen en processen, Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 2029.N.24.1, pp 17

Van Rotterdam, D, J. de Pater, J. Verweij, 2020, Oeverafkalving in het agrarisch beheerde veenweide; oorzaken en oplossingen. Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, rapport 1781.N.20, pp 53

Van Rotterdam D, J. Kros, J. de Pater, J. Vogel en G.H. Ros (2019) Agrarische fosforbelasting van het oppervlaktewater en het handelingsperspectief binnen het beheergebied van waterschap Amstel, Gooi en Vecht. Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1685.N.16, pp 39

Velstra J., van der Gaast J., Kruisdijk E., Verbruggen M., Hoving I., Smolders F., Lucassen E, van Houwelingen K. (2016) Sturen op Nutriënten. Eindrapportage. Acacia Water, Gouda.

Vermaat, J.E., Harmsen, J., Hellmann, F.A., van der Geest, H.G., de Klein, J.J., Kosten, S., Smolders, A.J.P., Verhoeven, J.T.A., Mes, R.G., Ouboter, M. (2016) Annual sulphate budgets for Dutch lowland peat polders: The soil is a major sulphate source through peat and pyrite oxidation. *Journal of Hydrology*, 533, 515 – 522. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.12.038>.

Vermaat, J.E., Hellmann, F. (2010) Covariance in water- and nutrient budgets of Dutch peat polders: what governs nutrient retention? *Biogeochemistry* 99, 109 – 126. <https://doi.org/10.1007/s10533-009-9395-8>

de Wit, J. A., Ritsema, C. J., Van Dam, J. C., van den Eertwegh, G. A. P. H., Bartholomeus, R. P., (2022). Development of subsurface drainage systems: Discharge – retention – recharge. *Agricultural Water Management*, 269, Article 107677. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107677>

Witteveen+Bos, 2024. Waterkwaliteitsonderzoek Aldeboarn - De Deelen (zuid). 137712/24-005.672