

WATERKWANTITEIT EN WATERBEHEER

⇒ Een inventarisatie van de
haalbaarheid van maatregelen
in het veenweidegebied

2021
23^A



WATERKWANTITEIT EN WATERBEHEER

➤ Een inventarisatie van de
haalbaarheid van maatregelen
in het veenweidegebied

2021
23^A

TEN GELEIDE

HET EFFECT VAN MAATREGELEN OP DE WATERKWANTITEIT EN WATERBEHEER

In het Klimaatakkoord is voor veenweiden een reductie van de jaarlijkse broeikasgasemissies met 1,0 Mton CO₂-equivalenten in 2030 vastgelegd. Of maatregelen in het veenweidegebied haalbaar zijn, ligt niet alleen aan het effect op veenafbraak. Ook andere factoren spelen daarbij een rol. Daarom heeft de STOWA binnen het NOBV, in opdracht van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, de technische en maatschappelijke haalbaarheid van maatregelen geïnventariseerd.

In 2030 moet de jaarlijkse broeikasgasemissie uit veenweiden met 1,0 Mton gereduceerd zijn. Het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV) is in 2019 gestart en onderzoekt welke maatregelen effectief zijn om emissies tegen te gaan. De haalbaarheid van deze maatregelen is niet alleen afhankelijk van het effect op veenafbraak, maar ook van andere factoren zoals Bedrijfsvoering, Betaalbaarheid, Waterkwantiteit en waterbeheer, Biodiversiteit, bodem- en waterkwaliteit, Governance en Kennisdeling. Daarom is de technische en maatschappelijke haalbaarheid van maatregelen vanuit deze perspectieven geïnventariseerd.

Deze inventarisaties hebben in beeld gebracht welke factoren relevant zijn voor de haalbaarheid, welke kennis daarover al beschikbaar is en welke vragen nog beantwoord moeten worden om een goede afweging te kunnen maken voor bepaalde maatregelen. Daarmee kunnen we nog niet alle vragen beantwoorden, maar ligt er wel een heldere voorzet voor nieuw op te zetten onderzoeken en pilots. Uit de inventarisaties zijn verschillende overkoepelende inzichten naar voren gekomen. Zo is duidelijk geworden dat de maatregelen om de uitstoot van broeikasgassen terug te dringen niet op zichzelf staan. Ze kunnen ook positieve en negatieve effecten hebben op ander bestaand beleid. Ook laten de inventarisaties zien dat hét veenweidegebied niet bestaat; de omstandigheden kunnen per regio, per polder, per boer en soms zelfs per perceel verschillen en dit vraagt om maatwerk.

Deze rapportage geeft de bevindingen weer vanuit de inventarisatie Waterkwantiteit en waterbeheer. De inventarisatie laat zien dat de watervraag bepaald wordt door verschillende factoren. Voor elk van deze factoren is geïnventariseerd wat het effect van de maatregelen is. Tot slot zijn de kennisleemtes met betrekking tot de watervraag en het waterbeheer die de haalbaarheid van de uitrol van maatregelen beïnvloeden in beeld gebracht. Dit biedt een basis om nieuwe kennis te ontwikkelen.

Het NOBV wordt mogelijk gemaakt door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. STOWA treedt op als gedelegeerd opdrachtgever.

JOOST BUNTSMA

Directeur STOWA



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



Nationaal Onderzoeksprogramma
Broeikasgassen
Veenweiden

SAMENVATTING

Er is grote urgentie in veenweidegebied om maatregelen uit te rollen die veenafbraak, en daarmee gepaarde bodemdaling en broeikasgasuitstoot, tegengaan. De haalbaarheid van deze maatregelen is, naast het effect op veenafbraak, afhankelijk van factoren die binnen verschillende thema's vallen. Binnen deze studie is in opdracht van de Stowa een kennisinventarisatie uitgevoerd van factoren die specifiek betrekking hebben op het thema 'waterkwantiteit en waterbeheer'. Dit thema vormt samen met vijf andere thema's een onderdeel binnen de breed uitgevoerde haalbaarheidsstudie. Het resultaat van de inventarisatie is een lijst van kennisleemtes binnen het thema die de haalbaarheid van de uitrol van maatregelen beïnvloeden.

INHOUD

H1	INLEIDING	8
1.1	Aanleiding en doel	9
1.2	De maatregelen	10
H2	AANPAK	12
2.1	Gefaseerde aanpak	13
2.1.1	<i>Fase 1: Inventarisatie van factoren</i>	13
2.1.2	<i>Fase 2: In kaart brengen van huidige kennisontwikkeling van factoren</i>	13
2.1.3	<i>Fase 3: Identificatie van belangrijkste kennisleemtes</i>	14
2.2	Overlap met overige thema's	14
H3	FASE 1: INVENTARISATIE VAN FACTOREN	16
3.1	Factoren waterbalans	17
3.1.1	<i>Factoren die de watervraag bepalen</i>	19
3.2	Factoren waterbeheer	23
3.2.1	<i>Factoren van invloed op de wateraanvoer</i>	23
3.2.2	<i>Factoren van invloed op de inrichting van het watersysteem</i>	24
3.2.3	<i>Factoren van invloed op de bedrijfsvoering (overlap met thema 'Bedrijfstechnisch')</i>	26
3.2.4	<i>Factoren van invloed op de waterkwaliteit en ecologie (overlap met thema 'Biodiversiteit, bodem- en waterkwaliteit')</i>	26
3.2.5	<i>Factoren van invloed op het bestuurlijk proces (overlap met thema 'Governance')</i>	27
3.3	Beoordeling van de relevantie factoren bij uitrol	27
3.3.1	<i>Maatregelengroep: Vernatting/waterinfiltratie maatregelen</i>	29
3.3.2	<i>Maatregelengroep: Bodemverbeteringsmaatregelen</i>	31
3.3.3	<i>Maatregelengroep: Alternatieven voor melkveehouderij (natte teelten en natuur)</i>	31
3.3.4	<i>Maatregelengroep: Aanvullende maatregelen melkveeboerderij/aanpassing aan vernatting</i>	34
3.3.5	<i>Maatregelengroep: Aanpassingen aan het watersysteem</i>	34
H4	FASE 2: INVENTARISATIE VAN DE HUIDIGE KENNISONTWIKKELING	36
4.1	Inleiding	37
4.2	Factoren van de waterbalans	37

4.2.1	<i>Veranderingen in de (gewas)verdamping</i>	37
4.2.2	<i>Effecten op kwel/wegzijging</i>	44
4.2.3	<i>Temporele variaties in de waterberging</i>	48
4.2.4	<i>Rondpompen water tussen perceel en sloot</i>	52
4.2.5	<i>Effecten op bodemdoorlatendheid en fysieke eigenschappen</i>	54
4.2.6	<i>Conclusies ten aanzien van de huidige kennis over de totale extra watervraag van maatregelen</i>	57
4.3	Factoren met betrekking tot het waterbeheer	61
4.3.1	<i>Vasthouden versus aanvoeren</i>	61
4.3.2	<i>Waterprioritering bij schaarste</i>	62
4.3.3	<i>Kwaliteit van het inlaatwater</i>	64
4.3.4	<i>Geschiktheid van het watersysteem voor aanvoer</i>	65
4.3.5	<i>Effecten op bergings- en afvoercapaciteit van het systeem</i>	65
4.3.6	<i>Oever en dijkstabiliteit</i>	67
<hr/>		
H5	FASE 3: BELANGRIJKSTE KENNISLEEMTES	70
5.1	Wat zijn de effecten op de afvoercapaciteit van het watersysteem bij piekbuien?	71
5.2	Wat is de extra watervraag in een specifiek gebied, met name bij droogte?	71
5.2.1	<i>Wat is de toename in gewasverdamping van natte vegetaties, met name in piekmomenten?</i>	72
5.2.2	<i>Wat is het aandeel van verschillende componenten van de waterbalans bij gemeten watervraag en hoe vertaalt dit zich naar andere gebieden?</i>	73
5.3	Hoe wordt de extra watervraag gerealiseerd?	73
5.3.1	<i>Hoeveel water kan worden gebufferd binnen het systeem?</i>	73
5.3.2	<i>Wat zijn de mogelijkheden om water aan te voeren in een gebied, ook m.b.t. de waterkwaliteit?</i>	74
5.4	Wat is het effect van extreme vernatting op de veenstructuur?	74
5.5	Wat is het optimale peilbeheer bij maatregelen en wat betekent dit voor onderhoud en inrichting van het watersysteem?	74
5.6	Wat zijn de effecten van de extra watervraag op andere sectoren in een langdurig droge periode?	75

H6	LITERATUUR EN BIJLAGEN	76
	Literatuur	77
	Bijlage A	80
	Bijlage B	83
	Bijlage C	89
	Verklarende woordenlijst	92
	STOWA IN HET KORT	94
	COLOFON	96

H1 INLEIDING



1.1 AANLEIDING EN DOEL

Onderdeel van het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweide (NOBV) is de haalbaarheid van maatregelen tegen broeikasgasuitstoot en bodemdaling in veenweidegebieden in kaart te brengen. Hiertoe heeft het programma een inventarisatie uitgevoerd om de openstaande kennisvragen met betrekking tot de haalbaarheid te definiëren. Deze kennisvragen zijn gerangschikt in een zestal thema's die buiten het broeikasgasonderzoek vallen:

- biodiversiteit, bodem- en waterkwaliteit;
- bedrijfstechnisch;
- betaalbaarheid maatregelen;
- waterkwantiteit en waterbeheer;
- governance;
- kennisdeling.

Deze rapportage richt zich op het thema 'Waterkwantiteit en waterbeheer'. Het doel van het onderzoek is om een inventarisatie uit te voeren van de bestaande kennis, (inter)nationaal lopende en uitgevoerde onderzoeken/projecten en eventuele kennisleemtes met betrekking tot de effecten van maatregelen op de watervraag en het waterbeheer. Hierbij wordt per factor antwoord gegeven op de volgende vragen:

1. In welke mate bepaalt deze factor de haalbaarheid van maatregelen, en over welke termijn is dit belangrijk?
2. Wat is er al bekend over deze factor vanuit bestaande (inter)nationale kennis, lopende onderzoeken etc?
3. Welke kennis over deze factoren moet nog in beeld worden gebracht en hoe belangrijk is het om deze kennisleemtes in te vullen over welke termijn?
4. Op welke manier kan deze kennisbehoefte het beste invulling krijgen, rekening houdend met het belang van de factor, samenhang tussen verschillende factoren, lopende onderzoeken etc?

De hoofd en deelvragen met betrekking tot het thema 'Waterkwantiteit en waterbeheer' zijn door het NOBV als volgt geformuleerd:

Hoofdvragen:

- Wat is de invloed van maatregelen op de watervraag van oppervlaktewater en grondwater?
- Wat is de invloed van maatregelen op het waterbeheer?

Deelvragen:

- Wat is de invloed van handelingsperspectieven op de watervraag?
- Wat is het optimale peilbeheer bij verschillende maatregelen, ook geïntegreerd met andere aspecten van waterbeheer?

1.2 DE MAATREGELEN

Een tabel met de maatregelen is aangeleverd bij de uitvraag van de opdracht. De indeling van deze maatregelengroepen hebben we gehanteerd binnen dit project. De tabel is toegevoegd in [bijlage A](#).

.....

H2 AANPAK



2.1 GEFASEERDE AANPAK

Bij de kennisinventarisatie hebben we een gefaseerde aanpak gehanteerd. Deze fasering komt terug in de opbouw van deze rapportage. Hieronder staan de verschillende stappen omschreven.

2.1.1 Fase 1: Inventarisatie van factoren

- *Definitie van de factoren:* Aan de hand van de lijst van maatregelen zoals aangeleverd in de uitvraag van STOWA (zie bijlage A) is een uitputtende lijst van factoren opgesteld die binnen het thema vallen en een invloed hebben op de haalbaarheid van een maatregel. Hiermee wordt antwoord gegeven op vraag 1. De factoren zijn opgedeeld in de twee verschillende categorieën van de watervraag en het waterbeheer.
- *Bepalen van de relevantie van de factor per maatregel:* Het kan goed voorkomen dat een factor bij meerdere maatregelen een rol speelt, maar niet noodzakelijk met dezelfde consequenties voor de haalbaarheid van de maatregel. Om deze reden is, na het opstellen van de factoren lijst, per combinatie van factor en maatregel een beoordeling gegeven in welke mate de factor relevant is voor de maatregel.
- *Selectie van belangrijkste factoren per maatregelgroep:* Op basis van de beoordeling op relevantie voor elke factor-maatregel combinatie is voor elke maatregelengroep geïdentificeerd wat de meest relevante factoren zijn binnen het thema. In fase 2 is voor deze factoren de huidige kennisontwikkeling in beeld gebracht.

2.1.2 Fase 2: In kaart brengen van huidige kennisontwikkeling van factoren

In deze fase is de huidige kennisontwikkeling van de geselecteerde factoren uit fase 1 in beeld gebracht. Deze fase geeft daarmee antwoord op vragen 2 en 3. Er is gebruik gemaakt van zowel literatuuronderzoek als ook interviews bij experts en afstemming met de overige thema's.

De interviews zijn afgenomen met de volgende personen:

- Mark Kramer (Hoogheemraadschap van Rijnland)
- Wiebe Terwisscha (Wetterskip Fryslan)
- Niek Bosma (Wetterskip Fryslan)
- Henk van Hemert (Rijkswaterstaat)
- Tim Pelsma (Waternet)
- Edwin ter Hennepe (WaterNet)
- Johan Ellen (WaterNet)

-
- Debby van Rotterdam (Nutriënten Management Instituut)
 - Youri Egas (KTC Zegveld)
 - Theo Reuzenaar (Hoogheemraadschap Hollands-Noorderkwartier)
 - Joachim Rozemeijer (Deltares)

Daarnaast heeft de begeleidingscommissie, bestaande uit Erik Jansen (Stowa), Niel de Jong (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) en Harm de Jong (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden), waardevolle input geleverd gedurende het hele project.

Op basis van de kennisinventarisatie omschrijven we wat er al bekend is aan algemene theoretische en wetenschappelijke kennis en aan maatregelspecifieke praktijkkennis uit pilots en veldervaringen. Ook wordt omschreven welke kennis op dit moment mist voor beleidsmedewerkers om een weloverwogen keuze te maken voor verdere uitrol van de maatregel in hun beheergebied.

2.1.3 Fase 3: Identificatie van belangrijkste kennisleemtes

Uit fase 2 zijn de knelpunten in kennisontwikkeling voor de uitrol van maatregelen naar voren gekomen. In deze fase geven we aan welke opbouw van kennis binnen dit thema nog nodig is en over welke termijn om maatregelen op grote schaal uit te rollen.

2.2 OVERLAP MET OVERIGE THEMA'S

Het thema 'Waterkwantiteit en Waterbeheer' staat niet compleet op zichzelf, maar heeft veel raakvlakken en interacties met de overige vijf thema's en met het broeikasgasonderzoek. Er is dan ook regelmatig contact geweest tussen de verschillende thema's in de vorm van een gezamenlijk startoverleg, twee-wekelijkse stand-up meetings, een kennisuitwisselingsmiddag en één op één afstemming.

De belangrijkste raakvlakken zijn met de thema's 'Biodiversiteit, bodem- en waterkwaliteit' en 'Governance'. Waterkwaliteit en kwantiteit hangen nauw samen, zowel op de schaal van een perceel waar vernatting een effect heeft op chemische processen in de bodem en de ecologie, alsook op de schaal van een polder waarbij de waterkwaliteit van extra inlaatwater in het geval van een grotere watervraag van belang is. Op beleidsniveau heeft de extra watervraag mogelijke consequenties voor andere sectoren in tijden van droogte. Ook kunnen maatregelen andere eisen stellen aan het waterbeheer.

Binnen deze inventarisatie noemen we een aantal factoren die nader uitgewerkt zijn binnen de andere thema's. Hier wordt dan ook naar de overige deelrapporten verwezen.

H3 FASE 1: INVENTARISATIE VAN FACTOREN



Op basis van interviews en literatuuronderzoek is een lijst opgesteld van factoren die de watervraag en het waterbeheer van maatregelen beïnvloeden. Hierbij zijn de factoren ingedeeld binnen de volgende categorieën:

1. Factoren met betrekking tot de waterbalans:
 - a. factoren die de watervraag bepalen.
2. Factoren met betrekking tot het waterbeheer:
 - a. factoren die het wateraanbod bepalen;
 - b. factoren die invloed hebben op de inrichting van het watersysteem (afvoer en aanvoer);
 - c. factoren die invloed hebben op bedrijfsvoering (sterke overlap met het thema 'Bedrijfstechisch');
 - d. factoren die invloed hebben op waterkwaliteit en ecologie (sterke overlap met het thema 'Biodiversiteit, bodem- en waterkwaliteit');
 - e. factoren die invloed hebben op het bestuurlijk proces (sterke overlap met het thema 'Governance').

In de secties hierna worden de factoren per categorie omschreven (sectie 3.1 en 3.2) en wordt vervolgens per maatregelengroep bepaald welke factoren het meest relevant zijn voor de haalbaarheid van de maatregelen (sectie 3.3). In het volgende hoofdstuk 4 worden voor deze selectie van factoren de bestaande kennis en kennisleemtes beschreven.

3.1 FACTOREN WATERBALANS

De watervraag van een maatregel wordt duidelijk door het opstellen van een waterbalans. Een waterbalans kan op verschillende schalen en over verschillende tijdsperiodes worden opgesteld en geeft inzicht in de processen die invloed hebben op de waterhuishouding en hun relatieve bijdrage. De kleinste schaal waarop maatregelen geïmplementeerd worden is de perceelschaal, waarbij ze op een deel van een perceel tot het hele perceel worden uitgerold. De componenten die op deze schaal deel uitmaken van de waterbalans zijn:

- (gewas)verdamping;
- neerslag;
- kwel/wegzijging (interactie freatisch grondwater met dieper grondwatersysteem);
- aanvoer/afvoer vanuit oppervlaktewater;
- verandering in de waterberging.

Bij opschaling naar een polder of delen hiervan spelen dezelfde componenten een rol, maar verandert de schaal waarop ze relevant zijn. Een voorbeeld is het effect van vernatting op de verticale waterstroming: bij een veenperceel kan vernatting leiden tot meer wegzijging en daarmee een extra waterverlies uit de veenbodem. Op polderniveau is het afhankelijk van de grondwaterstroming of dit waterverlies van het perceel binnen de polder blijft of naar de omliggende polders 'lekt'. Op polderschaal wordt het pas een waterverlies-post in het laatste geval. Bij de waterbalans van een polder is daarom alleen nog de kwel/wegzijging van belang die over de grenzen van de polder optreedt.

Op polderschaal zijn het daarnaast de inlaat en uitlaat die de relevante waterstroming met het oppervlaktewatersysteem vormen, in plaats van de interactie met een enkele sloot (Figuur 3.1).

Om de watervraag van maatregelen inzichtelijk te maken zijn beide schaalniveaus relevant. Een waterbeheerder kijkt over het algemeen naar het effect op de watervraag van een hele polder, maar de extra watervraag zoals veroorzaakt door maatregelen wordt voor een groot deel bepaald door processen die op perceelsniveau spelen. Inzicht in de processen op perceelsniveau maken daarmee betere berekeningen mogelijk op polderniveau. Ook bepalen de processen op perceelsniveau de ruimtelijke variatie van de watervraag binnen een polder, welke invloed heeft op de optimale inrichting van het watersysteem.

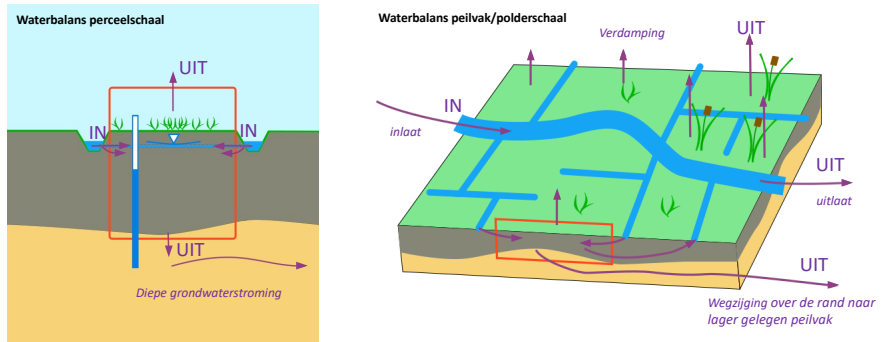
Naast de schaalkeuze speelt de tijdsperiode waarover een waterbalans wordt opgesteld een grote rol bij de resulterende watervraag. Jaargemiddeld heeft Nederland een neerslagoverschot, terwijl in de periode april-september gemiddeld een neerslagtekort optreedt. Het meest kritiek zijn de extreem droge periodes, zoals in 2018, waarbij de huidige watervraag van de veenweidegebieden al begon te knellen.

Door de ruimtelijke en temporele variatie van de watervraag is het belangrijk niet alleen de jaargemiddeldes over een heel poldersysteem inzichtelijk te hebben, maar vooral ook om de 'hotspots' en 'hotmoments' van de extra watervraag te identificeren en kwantificeren.

In de secties hieronder zijn de factoren die invloed hebben op deze hotspots en hotmoments van de watervraag gedefinieerd met een korte toelichting.

FIG. 3.1 WATERBALANS OP PERCEELSCHAAL

Schematische illustratie van de waterbalans op perceelschaal (bij onderwaterdrainage) en op grotere peilvak/polderschaal. Een vergrootte wegzijging op perceelschaal kan, afhankelijk van de diepe grondwaterstroming, in de polder blijven of 'leken' naar omliggende peilvakken/polders.



3.1.1 Factoren die de watervraag bepalen

Veranderingen in de (gewas)verdamping

Gewastranspiratie

Vernattingsmaatregelen leiden tot hogere grondwaterstanden. Bij verhoogde grondwaterstanden heeft een vegetatie als gras minder vaak last van watertekort (door capillaire nalevering) waardoor het meer water kan blijven gebruiken. Een vernattingsmaatregel kan daarom leiden tot een hogere transpiratie van gras t.o.v. de referentiesituatie, met name in droge periodes waarin al de grootste kans is op waterschaarste.

Ook een verandering van gewas/vegetatie heeft invloed op de transpiratie, door een ander watergebruik en een andere reactie op droogte en hoge temperaturen. Neem bijvoorbeeld lisdodde: deze gebruikt bij dezelfde weersomstandigheden een andere hoeveelheid water dan gras door fysiologische verschillen tussen gras en lisdodde. Maar ook de reactie op droogte verschilt met die van gras; wanneer het droog is gaan de huidmondjes van gras dicht zodat deze nog nauwelijks water gebruikt. Een lisdodde is echter gewend aan een omgeving waarin altijd voldoende water is, en heeft daardoor niet deze eigenschap.

Open water/bodemverdamping

Naast transpiratie van vegetatie, verdampt water direct uit de bodem. De contributie van de bodemverdamping aan de totale verdamping is afhankelijk van de bedekingsgraad van de vegetatie en van de vochtigheid van de bodem. Verdamping vanuit een natte bodem is vergelijkbaar met verdamping vanuit open water en is veel hoger dan vanuit een droge bodem. Bepalend is hierbij de vochtigheid aan maaiveld, zodra het bovenste laagje uitdroogt neemt de bodemverdamping sterk af. In hoeverre het maaiveld uitdroogt in de zomer hangt af van de mate van vernatting.

Ook vanuit het oppervlaktewater verdampt water. De contributie hiervan aan de totale verdamping hangt af van het oppervlak open water binnen een polder. Hogere slootwaterpeilen of inundatie van percelen vergroten dit oppervlak, en daarmee de bijdrage van de open water verdamping.

Effecten op kwel/wegzijging

Kwel is een opgaande verticale stroming in de bodem die ontstaat door een overdruk aan de onderkant van het veenpakket. In de omgedraaide situatie, waarbij de druk in het veenpakket hoger is dan eronder, ontstaat wegzijging (neergaande verticale stroming). Wanneer de grondwaterstand binnen een perceel of polder wordt verhoogd heeft dit effect op de kwel/wegzijgingssituatie doordat het drukverschil tussen het freatisch grondwater en het diepere grondwatersysteem verandert. De grootte van dit effect hangt naast dit drukverschil af van de weerstand van de deklaag. Hierdoor is het effect locatie specifiek. Het kan bij extra vernatting leiden tot waterverlies naar de omgeving, zij het omliggende percelen ofwel omliggende polders. Ook door het jaar kan de kwel/wegzijging en de invloed van maatregelen hierop veranderen.

Temporele fluctuaties in de waterberging

Bovenstaande factoren beschrijven de waterstromen die een perceel of polder in of uit gaan. Wanneer er een verschil is tussen de uitgaande en inkomende waterstromen verandert de waterberging (ofwel watervoorraad) van het systeem. Bij een hogere uit dan instroom daalt de watervoorraad. Op perceelschaal leidt dit tot een vermindering van de hoeveelheid water in de bodem (bodemberging) met als gevolg een daling van de grondwaterstand en/of het bodemvocht. Op polderschaal speelt naast berging in de bodem ook berging in het oppervlaktewater een

belangrijke rol. Bij waterberging in het oppervlaktewater stijgt het slootpeil. Wanneer fluctuaties rondom een gefixeerd peil zijn toegestaan kan op deze manier een extreme bui worden opgevangen.

Bij zeer grote vernatting speelt ook waterberging aan maaiveld een rol: op de lagere delen van een perceel ontstaan dan plassen.

Rondpompen van water tussen sloot en perceel

Wanneer de grondwaterstand hoger staat dan het slootwaterniveau ontstaat een drukverschil, en daarmee waterstroom, van perceel richting de sloot. Bijvoorbeeld bij een maatregel als drukdrainage kan zo water tijdens de infiltratie worden rondgepompt. Bij een groter verschil tussen grondwaterstand en slootniveau neemt dit 'rondpompen' toe. De grootte van dit effect hangt naast de drukgradiënt af van de horizontale weerstand tussen sloot en perceel. Het rondpompen van water tussen sloot en perceel hoeft netto niet te resulteren in een waterverlies wanneer het water in het omliggende slootsysteem blijft, en daarmee beschikbaar blijft voor de maatregel.

Effecten op bodemdoorlatendheid en fysische eigenschappen

De eigenschappen van de bodem hebben een grote invloed op de waterstromingen en op de waterberging in de bodem.

Verticale en horizontale verzadigde doorlatendheid

De verzadigde doorlatendheid is een maat voor de snelheid waarmee grondwater door een waterverzadigde bodem kan stromen. Deze is sterk afhankelijk van de bodemstructuur, namelijk de open ruimtes (poriën) die watergevuld zijn bij verzadiging. Deze porieruimtes vormen de gangetjes waardoorheen water stroomt en de grootte van deze gangetjes is bepalend voor de weerstand die het water ondervindt. Zo is de verzadigde doorlatendheid van zand groter dan van klei doordat de porieruimtes in zand groter zijn.

De doorlatendheid van de bodem speelt een belangrijke rol, zowel bij het succes van vernattingsmaatregelen om water te infiltreren, alsook bij de eventuele waterverliezen die kunnen optreden via bijvoorbeeld wegzijging. Door de gelaagde structuur van een veenbodem is de doorlatendheid vaak een stuk lager in verticale dan horizontale richting (anisotropie).

Bodem fysische eigenschappen

Onder de bodem fysische eigenschappen van de bodem vallen, naast de verzadigde waterdoorlatendheid, ook de porositeit en het vochtvasthoudende vermogen (waterretentie). De porositeit is de volumefractie van open ruimtes (poriën) ten opzichte van het totale bodemvolume. Bij waterverzadiging is dit de fractie van de bodem die gevuld is met water.

In de onverzadigde zone boven het grondwater is een gedeelte van de porositeit gevuld met lucht. De bodem blijft echter vochtig boven het grondwater door de capillaire werking (sponswerking) van kleine poriën. Dit hangt af van de bodemstructuur. Klei houdt bijvoorbeeld beter water vast in de onverzadigde zone dan zand, door de kleinere poriën. De vochtigheid van de bodem en de porositeit zijn bepalend in de beschikbare waterberging.

De sponswerking van de onverzadigde zone zorgt voor de capillaire nalevering van water naar de wortels van planten. Bij een neerslagtekort wordt dit een belangrijke bron van water voor de plant. De bodem fysische eigenschappen hangen sterk af van de bodemstructuur, en kunnen daarom per veentype (structuur en chemische samenstelling) en locatie verschillen.

Verdichting

Bij een kleidek en in mindere mate ook bij veen is er een risico op bodemverdichting bij nattere omstandigheden. Door het samendrukken van de bodem, bijvoorbeeld door zware machines, komen bodemdeeltjes dichter op elkaar te liggen en vermindert de porositeit. Dit vergroot de infiltratieweerstand en vermindert de bodemberging waardoor eerder plassen en natschade ontstaan. Ook is het in een verdichte bodem moeilijker voor wortels en bodemleven om de bodem in te dringen. De verdichting kan permanent zijn of reversibel.

Verweking van de veenbodem

Bij extreme vernatting tot aan maaiveld verdwijnt de structuur en samenhang van de veenbodem. Hij wordt daardoor extra kwetsbaar voor erosie, zoals bijvoorbeeld oeverafkalving. De verweking zorgt daarnaast voor verminderde draagkracht. Door de verandering in structuur veranderen mogelijk ook de waterdoorlatendheid en overige bodem fysische eigenschappen. Extreme vernatting kan daarom via effecten op de bodemstructuur ook de waterstroming beïnvloeden.

Preferente stroombanen

Preferente stroombanen zijn bodemstructuren met een verminderde stromingsweerstand waardoor water hier makkelijker doorheen kan stromen dan door de omringende bodem. Een voorbeeld zijn bodemscheuren, of gangetjes gemaakt door wortels of wormen (macro poriën). Bij drains met een drainerende functie is bekend dat preferente stroombanen ontstaan/versterkt worden rondom drains doordat de waterstroming zich concentreert in de best doorlatende stroombanen. Hetzelfde is mogelijk bij infiltratie. Daarnaast ontstaan preferente stroombanen bij scheurvorming in droge periodes. Door deze scheuren kan het water bij neerslag een versnelde weg vinden richting de sloot zonder te worden opgenomen in de bodem.

Optreden van hydrofobie

Verdroogd veen kan hydrofoob (waterafstotend) worden, dit is bijvoorbeeld een bekend fenomeen bij veendijken. Dit bemoeilijkt het opnieuw vernatten van het veen na uitdroging. Zeker in combinatie met droogtescheuren kan het erg lastig worden het veen weer nat te krijgen doordat toegevoerd water zich gaat concentreren in de scheuren in plaats van de bodemmatrix. Bij neerslag kan dit ertoe leiden dat de bodem minder water opneemt dan theoretisch als berging in de bodem mogelijk is.

3.2 FACTOREN WATERBEHEER

Een extra watervraag door maatregelen raakt ook het waterbeheer. Het heeft consequenties voor de waterbeschikbaarheid, maar ook voor de inrichting van het watersysteem. Daarnaast kan vernatting nadelige effecten hebben op bijvoorbeeld wateroverlast.

3.2.1 Factoren van invloed op de wateraanvoer

1. Vasthouden versus aanvoeren

Aan de extra watervraag van maatregelen kan op twee manieren tegemoet worden gekomen: door het vasthouden van regenwater binnen perceel of polder, ofwel door het aanvoeren van extra water via het oppervlaktewatersysteem. In het eerste geval is geen extern water nodig, in het tweede geval wel. Een combinatie is ook mogelijk. Bij de aanvoer van extern water wordt de kwaliteit van dit water belangrijk (zie 'kwaliteit van het inlaatwater').

2. Waterprioritering bij schaarste

In tijden van extreme droogte moet een waterbeheerder prioriteren: de waterbeschikbaarheid voor maatregelen kan daarmee in gevaar komen. Veengebieden vallen onder categorie 1 in de verdringingsreeks en staan daarmee op de hoogste prioriteit. Bij extremen kan zelfs deze categorie in gevaar komen, maar het betekent daarnaast ook dat een verhoogde watervraag in veenweidegebieden andere categorieën nadelig kan beïnvloeden.

3. Kwaliteit van het inlaatwater

Wanneer een verhoogde watervraag wordt gerealiseerd via extern inlaatwater speelt de waterkwaliteit een belangrijke rol, zoals nutriënten en zoutconcentraties. Daarnaast is op perceel niveau bij vernattingsmaatregelen de kwaliteit van het infiltratiewater belangrijk, deze heeft een mogelijk effect op de gewasgroei en op de veenoxidatie: oxidatie versnelt door hogere temperatuur, pH en nutriënten (laatste mede afhankelijk van de chemische samenstelling, zoals de C:N verhouding, in de bodem). Sommige natte vegetaties, zoals veenmos, kunnen alleen met regenwater leven.

3.2.2 Factoren van invloed op de inrichting van het watersysteem

1. Geschiktheid van het watersysteem voor aanvoer

Huidige watersystemen zijn veelal ontworpen op wateroverlast, maar niet op de aanvoer of het vasthouden van water. In de praktijk kan blijken dat het watersysteem aangepast moet worden om het water op de juiste plek te krijgen of te houden voor maatregelen.

2. Effecten op de bergings- en afvoercapaciteit van het watersysteem

Bij hogere slootpeilen is er minder bergingscapaciteit binnen het watersysteem. Ook kan de berging voor een wateroverschot in de ondergrond afnemen bij sterke vernatting. Dit kan leiden tot wateroverlast, zowel op perceelsniveau als binnen een polder.

3. Technische randvoorwaarden bij een snelle peilverlaging

Bij een maatregel als dynamisch peilbeheer (polderschaal) kan bemaling worden toegepast om extra berging te creëren indien veel neerslag wordt verwacht. De snelheid waarmee extra berging wordt gegenereerd hangt af van de technische capaciteiten. Een snelle daling van het oppervlaktewaterpeil kan daarnaast de

stabiliteit van oevers (en in zeldzame gevallen dijken) in gevaar brengen. Voor het dynamisch sturen van peilen met kleine stappen is mogelijk een optimalisatie nodig van de aansturing van gemalen.

4. Effecten op het onderhoud van het watersysteem

Aanpassingen in oevers, watergangen, stuwen, etc. vereisen mogelijk een aanpassing in onderhoud van het watersysteem (bijv. frequentie en manier van baggeren, maaien van slootranden). Bij (druk)drainage is ook een zekere mate van onderhoud nodig om het systeem effectief te houden.

5. Effecten op dijkestabiliteit

Er zijn verschillende mechanismen die dijken en kades in veengebieden instabiel kunnen maken.

Instabiliteit van veendijken door gewichtsverlies bij uitdroging

Waterverzadigd veen bestaat voor 70-90% uit water. Een uitgedroogde veenbodem verliest daardoor een groot deel van zijn gewicht, waardoor hij begint te zweven en instabiel wordt.

Dijkinstabiliteit door na-ijlen grondwaterstand

De stabiliteit van dijken (niet alleen veendijken) komt in gevaar bij een snelle peilverlaging in de teensloot, doordat het grondwater in de dijk achterblijft op de peilverlaging. Dit 'na-ijlen' moet zoveel mogelijk voorkomen worden in dijken.

Scheurvorming, hydrofobie en gasvorming

In uitgedroogd veen ontstaan scheuren. Deze scheuren kunnen zorgen voor lekkage en voor afbrokkeling van veen van dijk of oever. Uitgedroogd veen vertoont hydrofobie, waardoor het lang duurt om na een droge periode voldoende te vernatten. Potentieel ontstaat gasvorming in diepere veenlagen en hebben deze een effect op dijkinstabiliteit, maar hier is nog nauwelijks wat over bekend.

6. Effecten op oeverstabiliteit

Vernatting kan effect hebben op de stabiliteit van oevers. Afkalving van veenoevers gebeurt voornamelijk bij:

- verweking van de onverzadigde zone, -stroming golfslag en wind
- steile oevers (Van Rotterdam *et al.*, 2020).

Veranderingen in slootpeil, oevervegetatie en manier van baggeren/schonen kunnen allen effect hebben op de afkalving. Afkalving vormt ook een probleem voor de waterkwaliteit door extra bagger rijk aan nutriënten, dit is beschreven in het thema 'Biodiversiteit, bodem- en waterkwaliteit'.

3.2.3 Factoren van invloed op de bedrijfsvoering (overlap met thema 'Bedrijfstechnisch')

1. Effecten op draagkracht en indringweerstand

Vernatting van veengronden met of zonder kleidek vermindert de draagkracht en de indringweerstand van de bodem. Voldoende draagkracht is nodig voor landbewerkingen en beweiding. Een sterke graszode kan een belangrijke bijdrage leveren aan de draagkracht. De indringweerstand heeft effect onder andere op wortelgroei, weidevogels en wormactiviteit in de bodem.

2. Effect ecologie en Effecten van vernatting op de perceelsgrens

Door de aflopende vorm van het talud zorgt een hoger slootwaterpeil voor een vermindering van het perceel oppervlak en verschuift de officiële perceelsgrens. Een agrariër raakt zo een deel van zijn land kwijt.

3. Effecten op oeverstabiliteit

Zie 3.2.2

4. Effecten op het onderhoud van het watersysteem

Zie 3.2.2

3.2.4 Factoren van invloed op de waterkwaliteit en ecologie (overlap met thema 'Biodiversiteit, bodem- en waterkwaliteit')

1. Effecten op ecologie en weidevogels

Maatregelen kunnen op verschillende manieren een effect hebben op ecologie en weidevogels. Ecologie is een belangrijk aspect in het huidige oever- en baggerbeheer, welke een link heeft met oeverstabiliteit. Daarnaast hebben maatregelen potentieel effect op slootwaterkwaliteit, door een veranderde bodemchemie en afbraakcondities. Dit is beschreven binnen het thema 'biodiversiteit, bodem- en waterkwaliteit'. Vernatting van graslanden verlaagt de indringweerstand en kan daarmee bijdragen aan betere condities voor weidevogels.

2. Effecten op de afstroom van nutriënten

Een hogere grondwaterstand kan leiden tot een kortere reistijd van nutriënten naar het oppervlaktewater, via bijvoorbeeld scheuren of via het maaiveld. Door vernatting kan ook een verandering in chemische omstandigheden leiden tot mobilisatie en uitspoeling van bijvoorbeeld fosfaat. Of verminderde afbraak een positief of negatief effect heeft op de waterkwaliteit verschilt per type nutriënt en hangt mede af van de chemische samenstelling van het veen. Deze effecten worden beschreven in het thema ‘Biodiversiteit, bodem- en waterkwaliteit’ (Pijlman *et al.*, 2020).

3.2.5 Factoren van invloed op het bestuurlijk proces (overlap met thema ‘Governance’)

1. Toename in afstemming tussen beheerders en gebruikers

Veel van de maatregelen vereisen een hogere mate van sturing van het watersysteem, zowel in de ruimte als in de tijd. Dit vereist meer afstemming tussen boer en waterschap, zodat verschillende belangen op elkaar worden afgestemd. Een belangrijke vraag hierbij is ook wie stuurt aan de waterpeilen. Behalve meer afstemming tussen beheerders en gebruikers neemt ook de behoefte aan afstemming tussen verschillende overheden (waterschap, gemeente, provincie en Rijk) toe. Dit wordt beschreven in het thema ‘Governance’ (Scholten and Troost, 2020).

2. Waterprioritering bij schaarste

Zie 3.2.1

3.3 BEOORDELING VAN DE RELEVANTIE FACTOREN BIJ UITROL

Per factor uit de bovenstaande lijst is beoordeeld hoe relevant deze is bij de verschillende maatregelen uit [bijlage A](#) en daarmee de haalbaarheid van de maatregel kan beïnvloeden. De complete beoordeling op relevantie per factor-maatregel combinatie is aangeleverd in een Excel sheet. Hierbij is voor elke combinatie aangegeven hoe groot de samenhang is tussen de factor en de maatregel. De beoordeling gaat over de mate van samenhang (Laag, Middel, Hoog), dus of de factor invloed heeft op de maatregel ofwel vice versa. Deze beoordeling is nog onafhankelijk van of deze interactie positief of negatief uitpakt, en onafhankelijk van de huidige kennisstatus. Op basis hiervan is voor elke maatregelengroep een selectie gemaakt welke factoren het meest relevant zijn (zie Tabel 3.1).

TABEL 3.1 RESULTAAT VAN DE BEOORDELING OP RELEVANTIE VAN FACTOREN BIJ VERSCHILLENDE MAATREGELENGROEPEN

maatregeltipe beoordeling	Vernatting/waterinfiltratie			Bodemverbetering			alternatieven voor de melkveehouderij		
	H	M	L	H	M	L	H	M	L
Factoren watervraag									
3.1.1 (1) Veranderingen in de (gewas)verdamping	43%	57%	0%	0%	0%	100%	100%	0%	0%
3.1.1 (2) Effecten op kwel/wegzijging	43%	57%	0%	0%	0%	100%	100%	0%	0%
3.1.1 (3) Temporele fluctuaties in de waterberging	43%	57%	0%	0%	67%	33%	100%	0%	0%
3.1.1 (4) Rondpompen water tussen sloot en perceel	14%	57%	29%	0%	0%	100%	33%	33%	33%
3.1.1 (4) Effecten op bodemdiorlatendheid en fysische eigenschappen	0%	100%	0%	0%	100%	0%	67%	33%	0%
Factoren waterbeheer									
3.2.1 (1) Vasthouden versus aanvoeren	100%	0%	0%	0%	33%	67%	100%	0%	0%
3.2.1 (2) Waterprioritering bij schaarste	57%	43%	0%	0%	0%	100%	100%	0%	0%
3.2.1 (3) Kwaliteit van het inlaatwater (inclusief temperatuur)	29%	71%	0%	0%	0%	100%	33%	67%	0%
3.2.2 (1) Geschiktheid van het watersysteem voor aanvoer	100%	0%	0%	0%	0%	100%	83%	17%	0%
3.2.2 (2) Effecten op de bergings- en afvoercapaciteit van het watersysteem	43%	29%	29%	0%	100%	0%	100%	0%	0%
3.2.2 (3) Technische randvoorwaarden snelle peilverlaging	14%	14%	71%	0%	0%	100%	0%	0%	100%
3.2.2 (4) Effecten op het onderhoud van het watersysteem	0%	71%	29%	0%	0%	100%	0%	100%	0%
3.2.2 (5) Effecten op dijksabiliteit	0%	43%	57%	0%	0%	100%	0%	100%	0%
3.2.2 (6) Effecten op oeverinstabiliteit	0%	71%	29%	0%	0%	100%	83%	17%	0%
3.2.3 (1) Effecten op draagkracht en indringweerstand	14%	86%	0%	0%	100%	0%	100%	0%	0%
3.2.3 (2) Effecten van vernatting op de perceelsgrens	0%	43%	57%	0%	0%	100%	100%	0%	0%
3.2.4 (1) Effecten op ecologie en weidevogels	0%	100%	0%	33%	67%	0%	100%	0%	0%
3.2.4 (2) Effecten op afstroom van nutriënten	14%	86%	0%	33%	67%	0%	100%	0%	0%
3.2.5 (1) Toename in afstemming beheerders gebruikers	57%	43%	0%	0%	33%	67%	100%	0%	0%

maatregeltipe beoordeling	aanvullende maatregelen melkveeboerderij/aanpassing aan vernatting			aanpassingen aan het watersysteem		
	H	M	L	H	M	L
Factoren watervraag						
3.1.1 (1) Veranderingen in de (gewas)verdamping	0%	40%	60%	0%	50%	50%
3.1.1 (2) Effecten op kwel/wegzijging	0%	20%	80%	0%	50%	50%
3.1.1 (3) Temporele fluctuaties in de waterberging	50%	25%	25%	0%	0%	100%
3.1.1 (4) Rondpompen water tussen sloot en perceel	0%	20%	80%	0%	75%	25%
3.1.1 (4) Effecten op bodemdiorlatendheid en fysische eigenschappen	0%	80%	20%	0%	0%	100%
Factoren waterbeheer						
3.2.1 (1) Vasthouden versus aanvoeren	0%	20%	80%	50%	0%	50%
3.2.1 (2) Waterprioritering bij schaarste	0%	20%	80%	50%	25%	25%
3.2.1 (3) Kwaliteit van het inlaatwater (inclusief temperatuur)	0%	20%	80%	0%	75%	25%
3.2.2 (1) Geschiktheid van het watersysteem voor aanvoer	0%	20%	80%	25%	50%	25%
3.2.2 (2) Effecten op de bergings- en afvoercapaciteit van het watersysteem	0%	20%	80%	0%	75%	25%
3.2.2 (3) Technische randvoorwaarden snelle peilverlaging	0%	0%	100%	25%	50%	25%
3.2.2 (4) Effecten op het onderhoud van het watersysteem	0%	60%	40%	25%	50%	25%
3.2.2 (5) Effecten op dijksabiliteit	0%	20%	80%	25%	75%	0%
3.2.2 (6) Effecten op oeverinstabiliteit	0%	60%	40%	75%	0%	25%
3.2.3 (1) Effecten op draagkracht en indringweerstand	0%	80%	20%	0%	50%	50%
3.2.3 (2) Effecten van vernatting op de perceelsgrens	0%	20%	80%	0%	75%	25%
3.2.4 (1) Effecten op ecologie en weidevogels	0%	100%	0%	50%	25%	25%
3.2.4 (2) Effecten op afstroom van nutriënten	0%	40%	60%	50%	25%	25%
3.2.5 (1) Toename in afstemming beheerders gebruikers	0%	20%	80%	50%	25%	25%

De geselecteerde factoren zijn hieronder per maatregelengroep op een rij gezet. Voor deze factoren zijn de beschikbare kennis en de kennisleemtes uitgebreider uitgewerkt in hoofdstuk 4.

3.3.1 Maatregelengroep: Vernatting/waterinfiltratie maatregelen

TABEL 3.2 BELANGRIJKSTE FACTOREN TEN AANZIEN VAN DE WATERBALANS

FACTOR	TOELICHTING
Veranderingen in de (gewas)verdamping	Een hoging van de grondwaterstand vergroot de waterbeschikbaarheid voor het wortelstelsel van gras in droge periodes. Hierdoor heeft het minder snel last van watertekort in de zomer waardoor het op die momenten meer water gebruikt ten opzichte van de referentiesituatie met diepere grondwaterstanden. Deze factor is daarom het belangrijkste in de ‘hot moments’ van de watervraag.
Effecten op kwel en wegzijging	Bij maatregelen als beregening en bevoeien komt het water direct in de wortelzone terecht waardoor het nog beter beschikbaar is voor gewasverdamping en daarmee ook het watergebruik van de plant toeneemt. Bij vernatting aan het oppervlak treedt daarnaast meer bodemverdamping op. Bij beregening als methode om te vernatten raakt ook water verloren door verwaaiing.
Temporele fluctuaties in de waterberging	Wanneer de grondwaterstand wordt verhoogd verandert het verticale drukverschil tussen de veenbodem en het grondwater onder het veen. Dit heeft invloed op de verticale stroming van water (kwel/wegzijging). Zo kan op een bestaande wegzijgingslocatie een vernattingsmaatregel leiden tot een toename in de wegzijging en dus een extra watervraag. Het effect is sterk afhankelijk van de lokale bodemopbouw. Vooral op wegzijgingslocaties en locaties met een dun veenpakket is het belangrijk met deze factor rekening te houden bij het bepalen van de watervraag.
Rondpompen tussen perceel en sloot	Vernattingsmaatregelen hebben een effect op de beschikbare bodemberging voor het opvangen van buien, deze wordt in de zomer minder. Als ze worden gecombineerd met veranderingen in oppervlaktewaterpeil verandert ook hier de beschikbare berging. Wanneer de grondwaterstand hoger is dan het slootpeil, zoals bij drukdrainage mogelijk is, kan er water naar de sloot ‘leken’. Dit kan een significant percentage zijn van de totale infiltratie, maar leidt netto niet per se tot waterverlies indien het teruggelekte water opnieuw in de sloot met pompstelsel terecht komt. Het rondpompen kost wel meer pompcapaciteit. Bij complexe bodemstructuren met ondiepe zandbanen kan het ‘leken’ wel leiden tot een waterverlies op perceelsniveau doordat het water mogelijk in een heel andere sloot terecht komt en daarmee niet meer beschikbaar is voor vernatting van het perceel. In dit geval kan deze factor de haalbaarheid sterk beïnvloeden.

Variaties van de factoren in ruimte en tijd: De effecten op kwel en wegzijging zijn sterk afhankelijk van regionale patronen en de lokale bodemeigenschappen. Dit maakt de watervraag gebiedsafhangelijk. Daarnaast varieert de watervraag door het jaar heen door de temporele variatie voornamelijk in verdamping, maar mogelijk ook in de kwel/wegzijging. Om te bepalen of voor een specifiek gebied aan de watervraag kan worden voldaan is het daardoor belangrijk niet alleen de jaargemiddelde watervraag in beeld te brengen, maar ook de extra watervraag op bijvoorbeeld weekbasis, om ook in droge periodes voldoende water te kunnen garanderen.

TABEL 3.3 BELANGRIJKSTE FACTOREN TEN AANZIEN VAN HET WATERBEHEER

FACTOR	TOELICHTING
Vasthouden versus aanvoeren	Om de haalbaarheid van vernattingsmaatregelen te bepalen is van belang waar het extra water vandaan gaat komen. Hoeveel kan worden gerealiseerd door het vasthouden van water en hoeveel moet komen van extra inlaatwater?
Waterprioritering bij schaarste	De extra watervraag van vernattingsmaatregelen kan in tijden van droogte zorgen voor een knelpunt met de watervraag van andere functies in een gebied.
Kwaliteit van het inlaatwater	Indien meer water wordt ingelaten voor de extra watervraag moet rekening worden gehouden met de kwaliteit van dit inlaatwater.
Geschiktheid van het watersysteem voor aanvoer	Bij een extra watervraag van vernattingsmaatregelen is niet alleen relevant of dit water beschikbaar is voor de gehele polder, maar ook of het binnen de polder op de juiste plekken kan komen of kan worden vastgehouden.
Effecten op de bergings- en afvoercapaciteit van het watersysteem	De vernattingsmaatregelen verminderen op perceelschaal de bergingscapaciteit in de bodem. Op polderschaal treedt ook een verlies van berging op door de verminderde bodemberging en berging in het oppervlaktewater in het geval van hogere slootpeilen. Afname van de berging kan leiden tot schades in bijvoorbeeld stedelijk gebied. Een belangrijke vraag voor de haalbaarheid is dan ook of met deze verminderde berging nog voldoende water kan worden afgevoerd om natschades te voorkomen.

3.3.2 Maatregelengroep: Bodemverbeteringsmaatregelen

TABEL 3.4 BELANGRIJKSTE FACTOREN TEN AANZIEN VAN DE WATERBALANS

FACTOR	TOELICHTING
Effecten op bodem-doorlatendheid en fysische eigenschappen	Bodemverbeteringsmaatregelen hebben op zichzelf geen extra watervraag. Wel kunnen ze de componenten van de waterbalans positief of negatief beïnvloeden door hun effect op de bodemstructuur. Dit kan bijvoorbeeld een effect zijn op de bergingscapaciteit, infiltratiecapaciteit en doorlatendheid, scheurvorming, capillaire opstijging en verdichtingsrisico. Het inbrengen van kleideeltjes zal de bodemeigenschappen bijvoorbeeld meer richting kleilig veen veranderen in plaats van puur veen.

TABEL 3.5 BELANGRIJKSTE FACTOREN TEN AANZIEN VAN HET WATERBEHEER

FACTOR	TOELICHTING
Effecten op ecologie en weidevogels	De belangrijkste factor in het waterbeheer die van belang is bij deze maatregelen is het effect op de ecologie. De maatregelen kunnen bijvoorbeeld effect hebben op het bodemleven (micro en macrofauna), oppervlaktewaterkwaliteit en weidevogels door een effect op de chemische afbraakmilieu's in de bodem en/of een effect op de mechanische eigenschappen als draagkracht en indringweerstand. In het thema 'Biodiversiteit, bodem- en waterkwaliteit' wordt nader ingegaan op deze effecten (Pijlman <i>et al.</i> , 2020).

3.3.3 Maatregelengroep: Alternatieven voor melkveehouderij (natte teelten en natuur)

Bij deze maatregelen hangt de relevantie van factoren sterk af van de locatie en hydrologische situatie: Indien het watersysteem moet worden aangepast om de gewenste vernatting te bereiken worden dezelfde factoren relevant zoals genoemd onder de vernattingsmaatregelen. Die factoren worden zelfs nog belangrijker doordat de vernatting groter is. Het type teelt of vegetatie is bepalend voor de mate van vernatting, en heeft daarmee een grote invloed op de watervraag.

Bij een locatie die van nature voldoende nat is zijn de extra factoren die van belang worden hieronder genoemd.

Factoren die specifiek relevant en/of gewas afhankelijk worden bij natte teelten en natte natuur:

TABEL 3.6 BELANGRIJKSTE FACTOREN TEN AANZIEN VAN DE WATERBALANS

FACTOR	TOELICHTING
Veranderingen in de (gewas)verdamping	<p>Een verandering in vegetatie of teelt brengt een andere verdamping met zich mee en een ander tijdsverloop van de verdamping. Dit kan, afhankelijk van het gewas, zorgen voor een forse toename in de verdamping en daarmee de watervraag. Zo verdampt een lisdodde de hele zomer meer dan gras. Waar gras daarnaast bij een watertekort de huidmondjes sluit en stopt met verdampen, hebben vegetaties die gewend zijn aan altijd natte omstandigheden deze eigenschap niet. Een natte teelt kan zo door meer verdamping de watervraag over de hele zomer en specifiek in droge periodes doen toenemen. Deze factor is daarom belangrijk om de extra watervraag van de maatregelen te schatten.</p>
Temporele fluctuaties in de waterberging	<p>Wanneer een natte teelt of natuur tolerant is voor peilfluctuaties wordt wel eens geopperd om extra water vast te houden om de waterbeschikbaarheid voor droge periodes te vergroten. In de praktijk kan deze mogelijkheid beperkt zijn doordat het moeilijk is een afgesloten bak te creëren waarbinnen het water bij de teelt kan worden opgeslagen. Bij hogere peilen neemt ook de wegzijging en lekken van water naar omringende percelen toe, wat leidt tot waterverlies en tot mogelijke wateroverlast. Voor de haalbaarheid van deze extra waterbergingsfunctie moet dus goed worden nagedacht over of dit in de praktijk kan worden gerealiseerd.</p> <p>De mogelijkheid voor peilfluctuaties is teelt/vegetatie en functie afhankelijk. Een voorbeeld: voor optimale productie van lisdoddes zijn minder peilfluctuaties acceptabel dan voor lisdoddes in de natuur of ter uitmijning van nutriënten. Bij afgemaaide lisdoddes mag geen water in de pijpjes komen want dan gaan ze weggroten.</p> <p>Indien de teelt tolerant is voor uitzakking van het grondwater kan dit theoretisch ook een gedeelte van de watervraag in extreme droogte opvangen (niet gunstig voor veenafbraak). Hierbij moet rekening worden gehouden met de effecten op de chemie, dit wordt besproken in het thema 'biodiversiteit, bodem- en waterkwaliteit' (Pijlman <i>et al.</i>, 2020).</p>
Effecten op bodem-doorlatendheid en fysische eigenschappen	<p>Extreme vernatting kan leiden tot verweking van het bodemprofiel en daarmee de structuur en mechanische eigenschappen veranderen. Het betekent bijvoorbeeld dat de draagkracht sterk vermindert, of zelfs helemaal wegvalt. Dit beïnvloedt de mogelijke landbewerkingen, het bodemleven en de houvast die plantenwortels vinden in de bodemstructuur. Het kan ook een effect hebben op de doorlatendheid, en daarmee de waterstromen tussen sloot en perceel, waardoor bijvoorbeeld meer water weglekt of water makkelijker kan worden geïnfiltreerd. Deze factor kan veel praktische implicaties hebben voor de haalbaarheid van bepaald landgebruik en mogelijk voor de watervraag.</p>

TABEL 3.7 BELANGRIJKSTE FACTOREN TEN AANZIEN VAN HET WATERBEHEER

FACTOR	TOELICHTING
Vasthouden versus aanvoeren	De manier waarop de extra watervraag van natte teelten en natuur bereikt kan worden is sterk afhankelijk van de locatie en de teelt/natuur. Sommige teelten/natuur zijn erg gevoelig op de waterkwaliteit, waardoor de watervraag alleen kan worden gerealiseerd door middel van extra water vasthouden. Bij opschaling is dan de vraag hoe dit water wordt vastgehouden: Krijgt de teelt of natuur een eigen peilvak? Hoeveel water gaat uit dit peilvak weglekken? Zijn er nadelige effecten voor naburige percelen?
Kwaliteit van het inlaatwater	Voor sommige natte teelten en natuur is de waterkwaliteit van groot belang. Zo moet voor cranberry of veenmos het water bestaan uit zuurder water dan wel regenwater. Het inlaten van water is daarmee lastig. Dit kan de haalbaarheid van deze teelten sterk beperken.
Effecten op de bergings- en afvoercapaciteit van het systeem	Bij extreme vernatting kan minder water worden opgevangen in de bodem bij buien. Als het praktisch haalbaar is kan dit water worden vastgehouden bij de teelt. Wanneer dit niet mogelijk is verdwijnt bij opschaling van natte teelten een deel van de waterbergingscapaciteit van het watersysteem. Dit kan de haalbaarheid sterk beïnvloeden.
Effecten op oeverstabiliteit	extreme vernatting tot aan maaiveld leidt tot verweking van oevers en vergroot daarmee het risico op afkalving. Bij vernatting boven maaiveld verdwijnt het concept van oevers. Bij opschaling moet nagedacht worden over hoe om te gaan met de bestaande oevers.
Effecten op afstroom van nutriënten	Bij een plas dras situatie of waterpeil boven maaiveld versnelt de stroming van water richting het oppervlaktewater. Hierdoor is er een groter risico op afstroming van nutriënten. Het effect op de waterkwaliteit kan de haalbaarheid van de maatregelen beïnvloeden. Dit wordt beschreven in het thema 'biodiversiteit, bodem- en waterkwaliteit' (Pijlman <i>et al.</i> , 2020).
Toename in afstemming tussen gebruikers	Opgeschaalde natte teelten en natuurontwikkeling vormen hun eigen watersysteem met meerdere peilvakken. Dat heeft een forse impact op de rest van het peilvak. Het kan leiden tot wateroverlast door wegzijging en door verminderde bergingscapaciteit. De benodigde inrichting van het watersysteem bij opschaling van natte teelten kan daarmee de haalbaarheid van de maatregel sterk beïnvloeden.

3.3.4 **Maatregelengroep: Aanvullende maatregelen melkveeboerderij/aanpassing aan vernatting**

Deze maatregelen zijn veelal gericht op het omgaan met een verminderde draagkracht en hebben op zichzelf geen belangrijke effecten op de watervraag of het waterbeheer. Uitzondering hierop vormt de maatregel ‘Gedeeltelijke drooglegging’. Hierbij spelen dezelfde factoren als bij de vernattingsmaatregelen.

3.3.5 **Maatregelengroep: Aanpassingen aan het watersysteem**

We richten ons binnen deze maatregelengroep op de maatregelen ‘flexibel peil’ en ‘dynamisch peil’ welke op zichzelf als maatregel kunnen worden ingezet of in combinatie met andere vernattingsmaatregelen als onderwaterdrainage.

TABEL 3.8 BELANGRIJKSTE FACTOREN TEN AANZIEN VAN DE WATERVRAAG

FACTOR	TOELICHTING
Temporele fluctuaties in de waterberging	<p>Fluctuaties in peilen kunnen extra water vragen of juist meer water vasthouden binnen een watersysteem. Flexibel peilbeheer werkt bijvoorbeeld waterbesparend doordat het peil rondom streefpeil op een natuurlijke manier mag fluctueren: zo wordt bij een neerslagoverschot meer neerslag vastgehouden en wordt bij een neerslagtekort het moment van waterinlaat uitgesteld. Door fluctuaties in de waterberging toe te staan gaat er minder water actief uit en in het watersysteem. Het effect op de watervraag van dynamisch, actief, peilbeheer is afhankelijk van de parameters waarop gestuurd wordt en kan daardoor zowel water verbruikend ofwel besparend uitwerken.</p> <p>Wanneer in een droge periode bijvoorbeeld actief het slootpeil in een polder wordt verhoogd kost die verhoging water, op een moment van mogelijke schaarste is het belangrijk met deze watervraag rekening te houden.</p>

TABEL 3.9 BELANGRIJKSTE FACTOREN TEN AANZIEN VAN HET WATERBEHEER

FACTOR	TOELICHTING
Vasthouden versus aanvoeren	Een peilverhoging kan passief gebeuren door meer water vast te houden, of actief door extra inlaatwater. De manier waarop bepaald in grote mate de watervraag van peilfluctuaties.
Waterprioritering bij schaarste	Een extra watervraag door actieve peilverhoging in een droge periode kan een knelpunt vormen met andere watersystemen.
Kwaliteit van het inlaatwater	Wanneer er veel extra inlaatwater nodig is om peilverhogingen mogelijk te maken is de waterkwaliteit van belang.
Geschiktheid van het watersysteem voor aanvoer	Afhankelijk van de inrichting van het watersysteem heeft een actieve peilverhoging vanaf de inlaat van een polder mogelijk niet het gewenste effect tot in de haarvaten van het watersysteem.
Effecten op de bergings- en afvoercapaciteit van het systeem	Hogere slootwaterpeilen leiden tot een verminderde bergingscapaciteit van het watersysteem, waardoor het bij een extreme bui mogelijk niet voldoende water kan afvoeren. Indien dynamisch peilbeheer wordt ingezet om voor te bemalen voor verwachte neerslag kan hiermee extra berging worden gecreëerd.
Oever en dijkstabiliteit	Fluctuaties in het waterpeil kunnen zorgen voor extra oeverafkalving door verweking bij hoog peil en door waterstroming langs kwetsbare bodemlagen. Afhankelijk van de kwetsbaarheid van de oevers moet iets gedaan worden aan de oeverinrichting en beheer om de maatregelen mogelijk te maken. Snelle peilverlagingen in sloten die direct aan een dijk grenzen zijn niet wenselijk voor de stabiliteit van die dijken. Of dit de haalbaarheid van peilfluctuaties beperkt is te bespreken met dijkspecialisten.
Toename in afstemming tussen beheerders en gebruikers	Doordat het waterbeheer sterker afhankelijk wordt van lokale situaties wordt het peilbesluit ingewikkelder. Hierdoor is meer afstemming nodig tussen belanghebbenden. De manier waarop met deze afstemming rekening kan worden gehouden is onderdeel van het thema 'Governance' (Scholten and Troost, 2020).

H4 FASE 2: INVENTARISATIE VAN DE HUIDIGE KENNISONTWIKKELING



4.1 INLEIDING

In het vorige hoofdstuk is het belang van de verschillende factoren bij uitrol van maatregelen in beeld gebracht. Hieruit kwam een selectie voort van factoren die een belangrijke rol kunnen spelen bij de haalbaarheid van maatregelen. Hieronder wordt voor de geselecteerde factoren omschreven wat het kennisniveau is en of aanvullende kennis noodzakelijk is om maatregelen uit te rollen. Per factor kijken we naar:

- De theoretische kennis: weten we hoe de factor in theorie wordt beïnvloedt door een bepaalde maatregel?
- De praktische kennis: welke kennis is beschikbaar uit pilots en veldervaringen?

De theoretische kennis is nodig om de pilotstudies beter te interpreteren. Zo kunnen de conclusies van specifieke pilots worden vertaald naar een watervraag horende bij andere type regio's, meteorologische omstandigheden, mate van vernatting en type gewassen. Door het onderscheid te maken tussen theoretische kennis en praktijk/pilot kennis kan voor de specifieke componenten van de waterbalans een keuze worden gemaakt welke processen meer kennis vanuit meetdata behoeven.

4.2 FACTOREN VAN DE WATERBALANS

Er zijn tot nu toe weinig pilot en modelstudies die de watervraag van de verschillende type maatregelen hebben onderzocht. De studies die er zijn hebben vaak niet expliciet onderscheid gemaakt tussen de verschillende componenten van de waterbalans, maar hebben zich gericht op de totale watervraag. Deze studies zijn kort samengevat in [bijlage B](#), bij de factoren van de waterbalans wordt hier regelmatig naar gerefereerd.

Hieronder is eerst de huidige en missende kennis omschreven per factor binnen de waterbalans. Aan het eind staat wat dit betekent voor de totale watervraag van de maatregelen.

4.2.1 Veranderingen in de (gewas)verdamping

Theoretische kennis

Verdamping is een belangrijke component in de waterbalans, in Nederland verdampt circa 70% van de totale neerslag (Schuurmans and Droogers, 2010). Met name in de maanden april tot en met september heeft verdamping een grote invloed op de waterbalans. Een maatregel kan deze bijdrage op verschillende manieren beïnvloeden;

TABEL 4.1 INTERACTIES

MAATREGELENGROEP	EFFECT OP VERDAMPING
Vernattingsmaatregelen	Vernatting leidt tot een vermindering van droogtestress van gras, en daarmee tot een toename in verdamping tijdens de 'hot moments' van droogte
Alternatieven voor de melkveehouderij	Een verandering in gewas (zoals bij de natte teelten) leidt tot een verandering in de potentiële verdamping en een verandering in de stress respons van het gewas op droogte en hoge temperaturen. Een verandering in bedekkingsgraad van de bodem leidt tot meer/minder bodemverdamping.
Overige	Een verandering in oppervlak open water leidt tot meer/minder open water verdamping.

De verdamping van verschillende type gewassen wordt vaak omschreven door middel van gewasfactoren, die de verdamping van het gewas relateren aan een referentie verdamping. In Nederland wordt hiervoor gebruik gemaakt van de referentie verdamping volgens Makkink (ETref). Internationaal wordt gebruik gemaakt van de Penman-Monteith referentieverdamping (E0). De twee zijn vergelijkbaar (maar niet hetzelfde) en geven een theoretische maximale verdamping vanuit een ideale grasmat, in aanwezigheid van voldoende water. Gewasfactoren met Makkink als referentieverdamping zijn bijvoorbeeld te vinden in (Feddes, 1987) en (Droogers, 2009). De referentieverdamping is opgesteld voor gras, waardoor deze een gewasfactor heeft die door het jaar heen dicht bij 1 ligt. Verdamping uit open water is circa 1,3 maal de referentie verdamping van Makkink (Droogers, 2009), dit betekent dat sloten circa 30% harder verdampen dan grasland onder optimale omstandigheden.

De referentieverdamping geeft de potentiële verdamping onder optimale omstandigheden, in afwezigheid van stressfactoren zoals een watertekort. Wanneer bijvoorbeeld gras watertekort heeft wordt de daadwerkelijke, actuele verdamping gereduceerd ten opzichte van de potentiële verdamping. Om de effecten van droogte op de verdamping te berekenen kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van de Feddes reductie coëfficiënt die afhankelijk is van de zuigspanning in de bodem (Feddes *et al.*, 1978) of gewasgroeimodellen als SWAP-WOFOST en AquaCrop. Volgens (Massop *et al.*, 2005) kan bij extreme droogte grasland verdamping reduceren ten opzichte van de potentiële verdamping met 10% onder normale omstandig-

heden tot 40% in extreme droogte. Deze reductie in verdamping gebeurt door het sluiten van de huidmondjes van het gras. Ook hittestress kan de verdamping verder reduceren. Hittestress begint meestal na droogtestress, doordat het verkoelende effect van de verdamping is afgenomen met het sluiten van de huidmondjes.

Verdamping moerasnatuur en natte teelten

Voor de gewasfactoren van moeras vegetaties zijn veel onderzoeken te vinden, maar de resultaten lopen sterk uiteen. Uit (Spieksma *et al.*, 1996) blijkt het lastig verschillende onderzoeken te vergelijken door verschillende meetmethodes, maar de onderzoeken laten veel variatie zien in resultaten. [Bijlage C](#) toont een literatuuroverzicht uit deze studie voor gewasfactoren van natte vegetatie (factoren ten opzichte van de open waterverdamping). Voor bijvoorbeeld lisdoddes zijn er grote variaties, van 0,75 tot 4 maal de open water verdamping. Variaties komen niet alleen door verschillende meetmethodes, maar ook door locatiespecifieke condities. Een belangrijk aspect hierbij is de advectie stroom, de aanvoer van extra energie via droge en warme luchtstromen. Afhankelijk van de oriëntatie, grootte en hoogte van bijvoorbeeld een lisdodde veld (individueel, in een smalle strook, in een groot veld) verandert de advectiestroom en daarmee de gewasfactor. Vooral aan de randen van de vegetatie of bij lintvormige vegetatie kan hierdoor de verdamping sterk oplopen en daarmee groter worden dan de open water verdamping. De FAO noemt dit het 'clothesline' en 'oasis' effect (Allen *et al.*, 1998): door hogere vegetatie dan de omgeving neemt de ruwheid van het oppervlak toe, en daarmee de turbulentie en verdamping (clothesline effect). Door een hogere vochtigheid dan de omgeving is de voorbijgaande lucht relatief droog en verdampt daardoor meer water uit de natte vegetatie ('oasis effect').

Voor lisdodden is in bijvoorbeeld (Towler *et al.*, 2004) een verdamping gemeten van gemiddeld 8 en maximaal 14 mm/d. Dit is een stuk hoger dan de gemiddelde potentiële verdamping van gras in Nederland (circa 3 mm/d in de zomer) en komt overeen met gewasfactoren tot een factor 5. Maar voor lisdoddes zijn ook veel kleinere gewasfactoren te vinden, zie het overzicht van (Spieksma *et al.*, 1996). De verklaring ligt in verschillen in advektiestromen. Ook het klimaat heeft hier een grote invloed op: een rietpilot in Italië (Milani and Toscano, 2013) heeft gewasfactoren gemeten tot een factor 8. In een dergelijk Mediterraan klimaat zal het 'oase' effect nog groter zijn. De FAO zelf hanteert een lijst met gewasfactoren ten opzichte van de Penman Monteith referentiegewasverdamping, een selectie hiervan is te zien in Tabel 4.1 in

bijlage C (Allen *et al.*, 1998). De maximale verdamping van de moerasvegetaties als riet en lisdodde is hierbij circa 10-20% groter dan voor grassen. De verdampingsfactoren van riet zijn vergelijkbaar met die van riet en lisdoddes.

Over de gewasverdamping van azolla is nog weinig informatie beschikbaar. Er zijn echter studies naar de toepassing van Azolla's om de verdamping uit open water (bijvoorbeeld in rijstvelden) tegen te gaan en zo water te besparen. Azolla's zouden daarbij de verdamping met circa 20% verminderen. Dit betekent dat ze een vergelijkbare verdamping hebben als de potentiële grasverdamping ((Kimani *et al.*, 2020) (Diara and Van Hove, 1984)(LALLANA *et al.*, 1987)). Watertekorten zullen bij azolla teelt niet optreden, maar watertemperatuur kan wel een effect hebben op de verdamping.

Ook aan de gewasverdamping van cranberries is niet veel gemeten. Studies uit Noord Amerika rapporteren 55 en recenter 83% ten opzichte van de open waterverdamping (70-105% van de potentiële grasverdamping) ((Hattendorf and Davenport, 1996), (Vanderleest and Bland, 2016)).

De bovenstaande informatie betreffende gewasfactoren bij verschillende vegetaties is samengevat in tabel 4.2. In wetenschappelijke literatuur zijn meer publicaties te vinden die in dit beeld passen. De grote variatie voor natte vegetaties toont echter aan dat de bruikbaarheid van gepubliceerde gewasfactoren bij moerasvegetaties erg beperkt is omdat deze sterk afhankelijk is van lokale condities. Ook voor toekomstige klimaatprojecties zijn ze niet geschikt: zoals in (Bartholomeus *et al.*, 2013) genoemd kan de gewasfactor methode alleen worden toegepast onder de meteorologische omstandigheden waarvoor ze zijn bepaald, omdat ze een gecombineerd resultaat weergeven van verschillende verdampingsposten (interceptie, bodemverdamping en transpiratie) tijdens de meting. Deze posten kunnen onder andere weerscondities veranderen.

Duidelijk is dat natte vegetaties een significant grotere watervraag kunnen veroorzaken dan gras. De verdamping kan meerdere keren de open water verdamping overstijgen bij een grotere ruwheid van het oppervlak en groter verschil in vochtigheid met de omgeving. In een toekomstig klimaat kunnen sterkere luchtstromingen, en drogere warme lucht de gewasverdamping vergroten. Over de reactie van de gewasverdamping van natte vegetaties bij water en hittestress is nog weinig bekend. Het is echter niet te verwachten dat natte vegetaties stoppen met verdampen door het sluiten van hun huidmondjes omdat ze gewend zijn aan

constant vochtige condities. Zolang de transpiratie doorgaat zullen ze ook niet snel temperatuurstress ondervinden door het verkoelende effect van transpiratie, maar eerder juist meer gaan verdampen.

Voor opschaling van natte teelten wordt het essentieel de gewasverdamping te meten in de Nederlandse meteorologische situatie en bij typische veldsituaties van de teelt op verschillende momenten in het groeiseizoen. Bij klimaatprojecties van de watervraag moet rekening worden gehouden met een naar alle waarschijnlijkheid vergrotend effect op de gewasfactor.

TABEL 4.2 EEN RUWE SCHATTING VAN DE GEWASFACTOR VOOR VERSCHILLENDE TEELTEN IN DE ZOMER OP BASIS VAN BOVENGENOEMDE STUDIES. ZEKER VOOR NATTE VEGETATIES IS HIER VEEL VARIATIE IN MOGELIJK.

GEWAS	GLG	GEWASFACTOR (KC)
Gras	Makkink Referentieverdamping	1
Gras	Gereduceerde verdamping bij watertekort	0,6-0,9 ten opzichte van Makkink (Massop <i>et al.</i> , 2005)
Moerasnatuur		0,75-4 ten opzichte van Penman Monteith referentieverdamping E0
Azolla	Drijvend	1-1,1 (circa 20% minder dan open water verdamping)
Lisdodde	Op maaiveld	0,75-4 ten opzichte van Penman Monteith referentieverdamping E0
Riet	Op maaiveld	0,75-4 ten opzichte van Penman Monteith referentieverdamping E0
Cranberry	10-20 cm-mv	0,7-1,05 ten opzichte van Penman Monteith referentieverdamping E0
Veenmos	Op maaiveld	Waarschijnlijk vergelijkbaar met moerasnatuur
Open water		1,3

Praktijkkennis

Zoals eerder genoemd staan in [bijlage B](#) de pilotstudies in Nederland waarin de watervraag van vernattingsmaatregelen is onderzocht. Deze studies hebben de effecten van de vernattingsmaatregelen als onderwater en drukdrainage op

grasverdamping niet expliciet genoemd. Bij pilots met natte teelten is nog niet aan de watervraag gemeten. De theoretische kennis over gewasfactoren zoals in de voorgaande sectie beschreven zijn wel deels gebaseerd op metingen in Nederland aan gewasvegetaties, maar niet in relatie tot maatregelen tegen veenafbraak. Bij een lisdodde veld in Zegveld is wel aangegeven dat het water dat op het veld wordt gepompt met circa 2 centimeter per dag wegzakt, maar het is niet bepaald welke fractie hiervan uit gewasverdamping bestaat. Verder bleek uit de interviews dat door waterschappers en een aantal onderzoekers ervan wordt uitgegaan dat de toename van grasverdamping door vernattingsmaatregelen (onderwater en druk-drainage) tijdens droogte circa 1-2 mm/d zal zijn.

FIG. 4.1 ONDERZOEKSLOCATIE MET GROTE LISDODDE OP KTC ZEGVELD



FIG. 4.2 GROEI VAN AZOLLA IN ZUIDERVEEN

Bron: innovatieprogrammaveen.nl



Conclusie

Bij vernattingsmaatregelen kan de extra watervraag van grasland toenemen in tijden van droogte, doordat watertekorten verminderen. Hierdoor zorgt de maatregel voor een extra watervraag in de ‘hot moments’ van de totale watervraag. In extreem droge periodes is de actuele verdamping van gras tot 40% minder dan de potentiële verdamping, wat betekent dat vernattingsmaatregelen de gewasverdamping in die periodes met hetzelfde percentage kunnen doen toenemen (gereduceerde grasverdamping ten opzichte van potentiële grasverdamping in Tabel 4.3). Dit is grofweg in overeenstemming met het getal van 1-2 mm/d genoemd in interviews. De effecten van vernattingsmaatregelen op de verdamping van gras zijn daarmee redelijk goed in beeld.

De extra watervraag bij verdamping van natte vegetatie en natte teelten als riet en lisdodde is minder goed in beeld want deze kent veel variatie afhankelijk van de locatie, weersomstandigheden en hoogte van de teelt. Hij varieert grofweg tussen de open water verdamping (20-30% hoger dan de potentiële grasverdamping) tot meerdere factoren maal de open water verdamping (tot 500% hoger dan de potentiële grasverdamping). De hoogste verdamping is te verwachten bij een relatief klein veld en hoge vegetatie, waar randeffecten en turbulentie een grote rol spelen. Bij toenemende temperaturen stopt de vegetatie niet met verdampen, in tegenstelling tot gras dat zijn huidmondjes sluit. Dit betekent dat bij droogte en warmte de verdamping van gras afvlakt, waar de verdamping van deze teelten verder

toeneemt. Zo ontstaat een groter verschil met grasland tijdens de ‘hot moments’ van de watervraag. Om de haalbaarheid van opschaling van deze maatregelen te bepalen is het belangrijk de toename in gewasverdamping, vooral in de piekmomenten, in beeld te brengen. Gezien de mogelijk grote gewasverdamping en de onzekerheid over de exacte grootte zijn metingen nodig binnen de pilots in Nederland. Zo komen gegevens beschikbaar over de gewasverdamping onder Nederlandse weersomstandigheden en typische veldindelingen van natte teelten.

4.2.2 Effecten op kwel/wegzijing

In onderstaande tabel staan de type maatregelen omschreven waarbij de factor relevant is.

TABEL 4.3 EFFECTEN OP KWEL/WEGZIJGING PER MAATREGELENGROEP

MAATREGELENGROEP	EFFECTEN OP KWEL/WEGZIJGING
Vernattingsmaatregelen	Vernatting leidt tot een hogere freatische grondwaterstand. Hierdoor verandert het drukverschil tussen veenpakket en onderliggende zandlagen. Dit heeft effect op de verticale stroming.
Alternatieven voor de melkveehouderij	Vernatting leidt tot een hogere freatische grondwaterstand. Hierdoor verandert het drukverschil tussen veenpakket en onderliggende zandlagen. Dit heeft effect op de verticale stroming.
Overige	-

Theoretische kennis

Bij een waterdrukverschil tussen het freatisch grondwater (de grondwaterstand in het veenpakket) en het diepere grondwater onder het veenpakket ontstaat verticale waterstroming van de hoogste naar de laagste waterdruk. Afhankelijk van de richting van het drukverschil resulteert dit in kwel (opgaande stroming) of wegzijging (neergaande stroming). Een wegzijgingssituatie betekent bijvoorbeeld dat het freatisch grondwater hoger staat dan de waterdrukhoogte onder de veenbodem. Wanneer de grondwaterstand wordt verhoogd wordt deze overdruk groter en neemt de wegzijging toe.

De grootte van de verticale grondwaterstroming q wordt omschreven door de wet van Darcy en is het product van de verticale doorlatendheid (K_v) en de drukgradiënt (dH/dz). Deze laatste is het waterdrukverschil dH over de dikte van het veenpakket dz :

$$q = K_v \frac{\Delta H}{dz}$$

Deze wetmatigheid ligt ten grondslag aan hydrologische modellen en hiermee gegenereerde kwel/infiltratie kaarten. De relatie laat zien dat een hogere freatische grondwaterstand leidt tot een verandering in de drukgradiënt. Een wegzijgings-situatie wordt hiermee versterkt, terwijl een hogere grondwaterstand in kwelgebied de kwel kan tegendrukken. Bij een lichte kwel kan de situatie omslaan naar wegzijging.

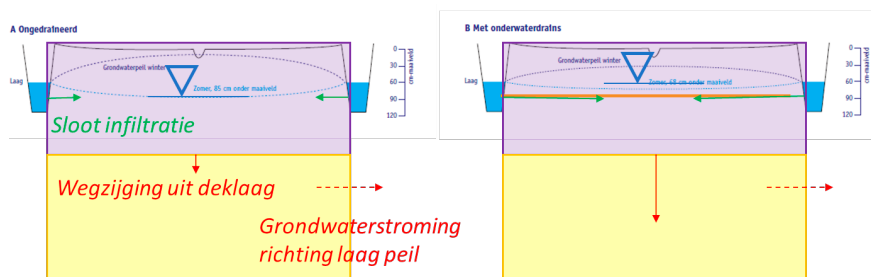
De mate waarin de kwel/infiltratie aan de onderrand van de veenbodem verandert hangt af van de dikte (dz) en verticale doorlatendheid (K_v) van het veenpakket. Dit betekent dat het effect met betrekking tot de watervraag nauw samenhangt met de lokale bodemopbouw en hydrologische situatie van een gebied. Er zijn daarom wat betreft het effect op kwel en wegzijging duidelijke hot spots waar vernattingsmaatregelen leiden tot extra waterverlies.

In een dun veenpakket ondervindt water minder weerstand tegen verticale stroming dan in een dik veenpakket. Bij een dun veenpakket en een wegzijgings-situatie zal een hogere grondwaterstand dan ook snel leiden tot meer wegzijging. Dit is een verlies van water uit de veenbodem op perceelsniveau. Afhankelijk van de diepere grondwaterstroming kan dit waterverlies binnen de polder blijven of daarbuiten terecht komen. Het is daarom afhankelijk van deze diepere grondwaterstroming of de toename in wegzijging ook een waterverlies is op polderniveau.

Met behulp van hydrologische modellen en voldoende data over de lokale bodemopbouw en het grondwatersysteem onder de veendeklaag kunnen de effecten van een grondwaterstandsverhoging op kwel en wegzijging worden doorgerekend voor een gebied. Zo wordt duidelijk waar een grondwaterstandsverhoging leidt tot meer waterverlies aan de onderrand van het veen. Ook wordt duidelijk in hoeverre dit waterverlies toeneemt bij toenemende maten van vernatting, zoals bij drukdrainage, natte teelten en natte natuur.

Voor een snelle inschatting is het mogelijk gebruik te maken van de eendimensionale Darcy vergelijking. Ter illustratie berekenen we het effect van een grondwaterstandsverhoging van 15 cm en 40 cm op de wegzijging in een hypothetische veenbodem met eigenschappen zoals je die bij bijvoorbeeld Zegveld kunt vinden. Het veenpakket is 8 meter dik (dz) en de huidige grondwaterstand staat 50 cm hoger dan de waterdrukhoogte onder het veenpakket (dH). De drukgradiënt is dan $0,5/8=0,0625$ m/m. Doordat de grondwaterstand hoger is dan de waterdrukhoogte onder het veen is er sprake van een neergaande waterstroom (wegzijgingssituatie). Deze is niet heel groot door de weerstand die het water ondervindt in het dikke veenpakket, namelijk 0,2 mm/d (q). De combinatie van deze drukgradiënt (dH/dz) en wegzijging (q) betekent dat de verticale doorlatendheid van de veenbodem ongeveer 3 mm/d is (0,2 mm/d gedeeld door 0,0625 m/m). Als alle parameters gelijk blijven behalve de grondwaterstand (dus de dikte van het veen, de verticale doorlatendheid en de waterdruk onder het veenpakket) dan wordt de drukgradiënt dH/dz , en dus ook de wegzijging, 30% hoger bij een grondwaterstandsverhoging van 15 cm. Bij een grondwaterstandsverhoging van 40 cm is dit een toename van 80% (0,16 mm/d).

FIG. 4.3 SCHEMATISCHE ILLUSTRATIE VAN EEN TOENAME VAN DE WEGZIJGING BIJ EEN VERHOOGDE GRONDWATERSTAND DOOR ONDERWATERDRAINAGE



Praktijkkennis

Vernattingsmaatregelen

Zoals eerder genoemd staan in bijlage B de pilotstudies in Nederland waarin de watervraag van vernattingsmaatregelen is onderzocht. Deze hebben over het algemeen geen onderscheid gemaakt in de verschillende componenten van de

waterbalans. Onderstaand de enkele informatie die hierover te vinden is:

In de modelstudie 'Pilot Onderwaterdrains Utrecht' (Hendriks *et al.*, 2013) (bijlage B) blijkt een duidelijk effect van de lokale kwel/infiltratie op de extra watervraag. Deze is hoger voor het wegzijgingsgebied bij de pilot Demmeriksekade en het minste bij de pilot De Keulevaart liggend in een kwelgebied.

In het project Spaarwater Flevoland is op twee pilotlocaties (Zeewolde en Nagele) water geïnfiltreerd via drains en een puttensysteem. Op de locatie bij Nagele veranderde de kwelsituatie in een wegzijgingssituatie door de grondwaterstandsverhoging (gemeten door stijghoogteverschillen in en onder een veenpakket van 3,5 m dikte). Op de locatie bij Zeewolde was de veenlaag niet van voldoende dikte om weerstand te creëren tussen de infiltrerende drains en het onderliggend zandpakket en lekte zo het infiltratiewater direct de zandlaag in.

In de modelstudie van Deltares voor West-Nederland (Rozemeijer *et al.*, 2019) is de berekende extra watervraag bij onderwater en drukdrainage niet uitgesplitst in verschillende waterbalanscomponenten. Wel zijn er verschillen tussen gebieden in de extra watervraag. Deze verschillen tussen gebieden worden in de studie veroorzaakt door zowel variaties in de stroming aan de onderrand, als ook in het percentage land geschikt voor onderwaterdrainage.

Alternatieven voor de melkveehouderij

Bij Zegveld ligt een lisdodde veld waar het waterniveau in een dag 2 cm zakt. Het is niet duidelijk welk percentage hiervan wordt veroorzaakt door een toename in wegzijging over de onderrand van het veen, en welk percentage door terugstroom naar het lagergelegen slootpeil en de gewasverdamping. Een analyse met metingen en informatie over veendikte en stijghoogtes kan hier meer inzicht in verschaffen.

Conclusie

De effecten van vernattingsmaatregelen op de kwel/wegzijging zijn te kwantificeren wanneer voldoende kennis beschikbaar is over de lokale bodemopbouw en de hydrologische situatie. Door de afhankelijkheid van de lokale situatie is het effect sterk locatie-specifiek. Het grootste waterverlies via wegzijging is te verwachten in gebieden met een dun veenpakket en een huidige wegzijgingssituatie. Van de verschillende maatregelen is vooral bij natte teelten te verwachten dat er een groot effect optreedt op de verticale stroming wanneer de waterstand een stuk wordt verhoogd ten opzichte van de huidige situatie.

Voor de haalbaarheid van zowel de vernattingsmaatregelen als de alternatieven

voor de melkveehouderij in een specifiek gebied is het essentieel om rekening te houden met mogelijke effecten op de verticale stroming. Deze kan afhankelijk van lokale omstandigheden een groot effect hebben op de watervraag. Door het lokale karakter kan niet worden uitgegaan van waardes die over grote gebieden zijn gemiddeld. De belangrijkste gebiedsspecifieke data die hierbij goed in beeld moeten zijn zijn de bodemopbouw (veentype, dikte en doorlatendheid) en huidige kwel/wegzijingssituatie.

4.2.3 Temporele variaties in de waterberging

In onderstaande tabel staan het type maatregelen omschreven waarbij de factor relevant is.

TABEL 4.4 TEMPORELE VARIATIES IN DE WATERBERGING PER MAATREGELENGROEP

MAATREGELENGROEP	TEMPORELE VARIATIES IN DE WATERBERGING
Vernattingsmaatregelen	De watervoorraad in de bodem neemt toe bij hogere grondwaterstanden, waardoor de bodemberging afneemt. Bij sturing via slootpeil verandert ook de waterberging in het oppervlaktewater.
Alternatieven voor de melkveehouderij	Het hangt sterk af van het type teelt of natuur welke variaties in waterpeil, en daarmee waterberging, mogelijk zijn binnen een perceel.
Aanpassingen aan het watersysteem (n.b. flexibel en dynamisch peil)	Fluctuaties in peilen kunnen extra water vragen of juist zorgen voor extra waterberging binnen een watersysteem.
Overige	De waterberging speelt niet alleen een rol bij de watervraag van maatregelen, maar ook bij de effecten van vernatting op afvoer van water tijdens piekbuien.

Theoretische kennis

De watervoorraad of waterberging binnen een gebied kan aanwezig zijn in de bodem, in de vorm van grondwater en bodemvocht, aan maaiveld in de vorm van plassen, en in het oppervlaktewatersysteem in sloten en grote wateroppervlakten.

De watervoorraad in de bodem bestaat uit grondwater in de verzadigde zone en bodemvocht in de onverzadigde zone tussen grondwater en maaiveld. Het

maximale volumepercentage dat in de bodem kan worden opgeslagen is gelijk aan de porositeit, het volume open ruimtes (poriën) op het totale bodemvolume. Over het algemeen heeft veen een porositeit van 70-90% (afhankelijk van type veen, veraarding etc). In de onverzadigde zone boven het grondwater is een gedeelte van deze porieruimtes gevuld met lucht, dit volume is theoretisch beschikbaar als extra bodemberging. Het gemiddelde hiervan in de onverzadigde zone is de bergingscoëfficiënt. Deze neemt toe bij diepere grondwaterstanden. Omdat veen door zijn bodemstructuur tamelijk vochtig blijft bij zuigspanningen van bijvoorbeeld 100 cm is de berging coëfficiënt in de onverzadigde zone beperkt. Bij een grondwaterstand van 100 cm is dit ongeveer 10% (afhankelijk van de waterretentie eigenschappen van veen (Wösten *et al.*, 2001), (Van der Gaast *et al.*, 2009)). Dit betekent dat de bodem bij een grondwaterstand van 100 cm plek heeft voor opslag van circa 10 cm water. Hoe hoger de grondwaterstand des te kleiner wordt de bergingscoëfficiënt.

In de praktijk kan het gebeuren dat deze theoretisch bepaalde berging niet beschikbaar is voor wateropslag binnen een perceel. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren door het hydrofoob (waterafstotend) worden van het veen.

Bij extremere vernatting kan binnen een perceel water worden opgeslagen aan maaiveld. Hier is de bergingscoëfficiënt een stuk hoger (100%). De totale beschikbare maaiveldberging is afhankelijk van het micro-reliëf van een perceel. Plassen ontstaan immers op de laagst gelegen delen.

Wanneer het praktisch haalbaar is het water boven maaiveld vast te houden creëert dit nog meer beschikbare berging voor neerslagoverschot. Dit kan bijvoorbeeld een mogelijkheid zijn bij natte teelten of natte natuur.

Op polderschaal speelt de beschikbare waterberging in oppervlaktewateren een belangrijke rol. De wateropslag in het oppervlaktewater is afhankelijk van het areaal aan oppervlaktewater en het waterpeil. Actieve sturing van het waterpeil kan de beschikbare watervoorraad vergroten of verkleinen. Bij hogere waterpeilen vermindert de beschikbare berging om neerslag op te vangen.

Praktijkkennis

Alternatieven voor de melkveehouderij:

In de Factsheet Natte teelten 2018, gepubliceerd door het kennisprogramma bodemdaling, is per gewastype aangegeven welke fluctuaties in de grondwater-

stand mogelijk zouden zijn voor de groei van verschillende teelten, samengevat in Tabel 4.5. Hierbij is geen rekening gehouden met eventuele effecten op broeikasgas-emmissies bij de verschillende waterstanden. De kennis over mogelijke fluctuaties bij verschillende teelten is in ontwikkeling, en de factsheet wordt op dit moment herzien. De mogelijke fluctuaties hangen niet alleen af van de het specifieke gewas maar kunnen ook verschillen per functie van het gewas, moet de productie optimaal zijn of dient het ter uitmijnen van nutriënten en voor natuur?

Theoretisch kunnen deze fluctuaties gebruikt worden om water op te slaan, zo zou de teelt zelf een deel van zijn extra watervraag bij een wateroverschot kunnen bufferen. Voor een waterbufferende functie is de juiste gewaskeuze belangrijk. Lisdodde en riet zijn bijvoorbeeld tolerant voor grote variaties (Bestman *et al.*, 2019). Dit hangt wel af van de bewerking, afgemaaide stengels mogen niet onder water komen omdat deze de wortels voorzien van zuurstof. Veenmos, in tegenstelling, is niet tolerant voor waterstanden boven maaiveld doordat oppervlaktewater geen goede waterkwaliteit heeft voor inundatie van veenmosweides (Smolders *et al.*, 2019). De kennis over de fluctuaties die verschillende gewassen kunnen tolereren is nog in ontwikkeling en moet onder andere blijken uit de praktijk binnen pilots. De informatie uit de factsheet wordt daarom periodiek aangepast. Naast deze kennis moet in de praktijk nog blijken of de waterbuffering praktisch te realiseren is. Het vraagt waarschijnlijk veel aanpassingen in het watersysteem om lokaal water op te slaan tot tientallen centimeters boven maaiveld. Deze vernatting kan ook voor overlast zorgen in de omgeving door toename in wegzijging langs de randen van zo'n waterbufferend gebied. In de praktijk zijn wat betreft dat laatste voorbeelden te vinden rondom vernatte natuurgebieden.

TABEL 4.5 TOLERANTIE VAN VERSCHILLENDE NATTE TEELTEN VOOR (GROND)WATERSTANDS-FLUCTUATIES

NATTE TEELT	TOLERANTIE VERDROGING	TOLERANTIE VERNATTING
Azolla	Waterpeil op +5 cm of meer	Hoger waterpeil betekent meer golfslag en minder beschikbaarheid over voedingsstoffen
Lisdodde	Hogere productie bij +20 cm dan -20 cm.	Optimaal is een waterstand van 10-30 cm+mv. Fluctuaties zijn geen probleem.
Riet	-20 cm	+20 cm
Cranberry	GWS niet lager dan -30 cm	Inundatie voor bepaalde periode lijkt mogelijk
Veenmos	-10 cm	0 cm

Aanpassingen aan het watersysteem: flexibel en dynamisch peil

Bij peilfluctuaties verandert de waterberging in het oppervlaktewatersysteem. Afhankelijk van de sturing kan dit water kosten of water besparen. Enkele van de (model)studies uit [bijlage B](#) hebben onderzocht wat de effecten zijn van flexibel ofwel dynamisch peilbeheer in combinatie met onderwater of drukdrainage.

Flexibel peilbeheer: Volgens (van den Akker *et al.*, 2011) kan voor de polder Zegveld flexibel peilbeheer, waarbij een marge van 10 cm wordt gehanteerd rond streefpeil, de extra watervraag van onderwaterdrainage met 5% verminderen in droge zomers, en met 20% in een gemiddelde zomer.

Dynamisch peilbeheer: Dynamisch peilbeheer met als doel op grondwaterstand en weersverwachting te sturen leidt tot een grotere watervraag (Jansen *et al.*, 2009). Een andere definitie van dynamisch peilbeheer is gehanteerd in (Rozemeijer *et al.*, 2019), waarbij peilen juist anticiperend op droogte zijn verhoogd om meer water vast te houden. Volgens de studie leidt deze methode tot een uitstel van waterinlaat in droge periodes van 1-2 weken. Of dynamisch peilbeheer leidt tot een extra watervraag of tot waterbesparing is dus sterk afhankelijk van het gekozen management en de parameters waarop wordt gestuurd.

Conclusie

Doordat sommige natte teelten een fluctuatie van waterpeilen kunnen tolereren kan dit theoretisch worden gebruikt om water te bufferen. Zo zou de extra watervraag van deze teelten deels kunnen worden opgevangen door het vasthouden van water. Ook zou dit bufferend werken voor wateroverlast. De fluctuaties die teelten kunnen hebben zijn gewas en functie afhankelijk en nog niet helemaal in beeld. Meer kennis hierover kan worden opgebouwd binnen pilots. De belangrijkste kennisleemte voor deze toepassing van wateropslag bij natte vegetatie is hoe deze praktisch kan worden gerealiseerd op verschillende schaalgroottes. Voor de opslag van extra water is een afkoppeling nodig van de rest van het watersysteem. Ook kan wateroverlast ontstaan aan de randen van zo'n gebied door toegenomen wegzijging.

Bij de maatregelen flexibel en dynamisch peil varieert de watervoorraad in het oppervlaktewatersysteem om zo water te sparen of extra water beschikbaar te krijgen voor maatregelen. Het hanteren van een flexibel peil, waarbij peilen mogen

fluctueren binnen een bepaalde marge, kan de watervraag verminderen door extra waterberging bij neerslagoverschot en uitzakking van het peil bij droogte. Dynamisch peilbeheer kan juist extra water kosten wanneer het anticiperend op droogte wordt gedaan door middel van actieve waterinlaat, in plaats van het vasthouden van neerslagoverschotten. Aan de hand van modellen is het effect van een peilstrategie in combinatie met vernattingsmaatregelen voor een bepaald gebied inzichtelijk te maken. Hierbij is het effect niet gelijk in gemiddelde of droge zomers, en is daarom extra aandacht nodig voor de ‘hot moments’ in de watervraag. Ook is het effect gebiedsafhankelijk door de specifieke inrichting van het watersysteem en oppervlaktes open water.

4.2.4 Rondpompen water tussen perceel en sloot

In onderstaande tabel staan het type maatregelen omschreven waarbij de factor relevant is.

TABEL 4.6 RONDPOMPEN WATER TUSSEN PERCEEL EN SLOOT PER MAATREGELENGROEP

MAATREGELENGROEP	RONDPOMPEN WATER TUSSEN PERCEEL EN SLOOT
Vernattingsmaatregelen: drukdrainage	Wanneer de grondwaterstand hoger staat dan slootpeil kan water ‘lekker’ richting de sloot. Deze situatie kan ontstaan bij drukdrainage.
Alternatieven voor de melkveehouderij	Wanneer de grondwaterstand hoger staat dan slootpeil kan water ‘lekker’ richting de sloot. Deze situatie kan ontstaan bij een natte teelt of natuur indien vernatting van het perceel kunstmatig in stand wordt gehouden, onafhankelijk van het slootpeil.
Overige	Aanwezigheid van scheuren of andere structuurveranderingen die effect hebben op de horizontale doorlatendheid kunnen deze factor versterken (of tegengaan indien de doorlatendheid vermindert).

Theoretische kennis

Stroming vanuit het perceel naar de sloot ontstaat wanneer de grondwaterstand hoger is dan het slootpeil. Dit is bijvoorbeeld vaak het geval in de winter, wanneer drainage van grondwater optreedt bij neerslagoverschot. Het kan echter ook gebeuren wanneer door maatregelen de grondwaterstand hoger komt te staan dan de sloot. Hierdoor gaat water tijdens de infiltratie terugstromen vanuit het perceel richting de sloot. Deze stroming neemt toe bij een groter verschil tussen de grond-

waterstand en het slootwaterpeil. Daarnaast is de stroming afhankelijk van de horizontale doorlatendheid. Zoals bij de factor ‘Effecten op bodemdoorlatendheid en fysieke eigenschappen’ is omschreven (volgende sectie) heeft de doorlatendheid van veen zoals gemeten in het veld vaak veel variatie (gemiddelde orde grootte 10-20 cm/d). Voor stroming naar de sloot speelt niet alleen deze bodemdoorlatendheid een rol, maar ook de weerstand van de slootrand zelf. Over de grootte van deze weerstand is weinig bekend.

Binnen de vernattingsmaatregelen kan bij drukdrainage de situatie ontstaan waarbij dit rondpompen optreedt, doordat waterinfiltratie onafhankelijk van slootpeil wordt gestuurd. Hetzelfde kan gebeuren bij beregening en bevoeien mocht de grondwaterstand tot boven slootpeil komen (hier zijn nog geen metingen van bekend). Ook wanneer natte teelten kunstmatig nat worden gehouden met een waterpeil hoger dan het omringende slootpeil zal dit lekken naar de sloot optreden.

Praktijkkennis

Drukdrainage: In (Hoving *et al.*, 2018) is de waterinfiltratie bij drukdrainage gemeten bij twee verschillende slootwaterpeilen, van 20 en 55 cm-mv. Tijdens de infiltratie was de gemiddelde grondwaterstand circa 45 cm-mv in beide situaties. Dit betekent dat bij het hoge slootpeil de grondwaterstand hier altijd onder stond en er dus geen rondpompen kon plaatsvinden, terwijl bij het lage slootpeil de grondwaterstand gemiddeld 15 cm boven het slootpeil stond waardoor wel water van perceel naar sloot kan ‘lekken’. Uit de debietmetingen bleek dan ook dat de wateraanvoer 2,5 keer hoger was bij het lage slootpeil dan bij het hoge slootpeil, zowel gemiddeld als bij de maximale infiltratie. Op het moment van maximale infiltratie was het verschil 4,4 mm/d, dit betekent dat op dat moment meer dan 4 mm/d teruglekte naar de sloot! Dit is meer dan de helft van de totale infiltratie. De aanbeveling uit deze pilotstudie is dan ook om het slootpeil op het streefpeil of hoger te houden om rondpompen te voorkomen.

Natte teelten: Op Zegveld is een proefperceel met lisdodde ingericht waar het water tot 2 cm/d uitzakt. Een deel van dit waterverlies kan mogelijk verklaard worden door terugstroom van water naar de sloot, maar dit is nog niet gekwantificeerd.

Conclusie

Zodra bij een maatregel het grondwater hoger staat dan slootwaterpeil ontstaat

een stroming van perceel naar de sloot. Dit leidt tot een waterverlies uit het perceel, hoewel het water mogelijk wel beschikbaar blijft vanuit de sloot om opnieuw te worden geïnfiltrerd. De grootte van deze stroming is, naast het drukverschil, afhankelijk van de horizontale doorlatendheid en de weerstand van de slootrand. Er is voldoende kennis over het mechanisme, maar nog beperkte kennis over de horizontale doorlatendheden van veen die de grootte van deze waterstroom bepalen. Ook kan een maatregel bij langdurige vernatting effect hebben op deze doorlatendheid, zie de factor 'effecten op bodemdoorlatendheid en fysische eigenschappen'.

Het rondpompen kan ook technisch gezien onwenselijk zijn doordat het meer vraagt van het drukdrainage systeem. Het kan worden tegengegaan door slootpeilen rond het streefpeil van de grondwaterstand te houden.

4.2.5 Effecten op bodemdoorlatendheid en fysische eigenschappen

In onderstaande tabel staan het type maatregelen omschreven waarbij de factor relevant is.

TABEL 4.7 EFFECTEN OP BODEMDOORLATENDHEID EN FYSISCH EIGENSCHAPPEN PER MAATREGELENGROEP

MAATREGELENGROEP	EFFECTEN OP BODEMDOORLATENDHEID EN FYSISCH EIGENSCHAPPEN
Vernattingsmaatregelen: drukdrainage	Extreme vernatting kan leiden tot verweking van het bodemprofiel en verschillende bodemfysische eigenschappen beïnvloeden, zoals de doorlatendheid van de bodem.
Alternatieven voor de melkveehouderij	Bodemverbeteringsmaatregelen kunnen effect hebben op bodem fysische eigenschappen, zoals porositeit, waterretentie en doorlatendheid. Vernattingsmaatregelen kunnen minder effectief worden bij het optreden van hydrofobie (waterafstotendheid) bij uitdroging van veen. De bergingscapaciteit van de bodem kan verminderen bij het optreden van hydrofobie. Horizontale en verticale waterdoorlatendheid hebben een groot effect op componenten van de waterbalans.

Theoretische kennis

De verticale en horizontale waterdoorlatendheid van veen zijn belangrijke eigenschappen die de verschillende waterstromingen in de bodem bepalen. De

doorlatendheid heeft bijvoorbeeld een groot effect op de efficiëntie van vernattingsmaatregelen, in een slecht doorlatende bodem is het moeilijk water te infiltreren. Ook de andere waterstromen die de waterbalans bepalen hangen af van de doorlatendheid (kwel/wegzijging, rondpompen van water). De doorlatendheid is afhankelijk van de poriestructuur van het veen, en daardoor van het type veen. Bijvoorbeeld schalterveen staat bekend als heel slecht doorlatend veen waardoor ook infiltratie van water nauwelijks mogelijk is.

Metingen van doorlatendheden van veen zijn zowel in lab als veld gedaan. Labmetingen liggen bijvoorbeeld ten grondslag aan de gerapporteerde doorlatendheden in de Staringreeks (Wösten *et al.*, 2001). In deze reeksen is de gemiddelde doorlatendheid van verschillende types veen (oligotroof, mesotroof en eutroof veen) circa 1-3 cm/d. Door de heterogeniteit van veen en de resulterende grote variaties in doorlatendheden is het moeilijk deze nauwkeurig in het veld te bepalen, maar een aantal studies komen uit op een gemiddelde van 10-20 cm/d gemeten bij Zegveld en in de Noordoost polder ((Hoving *et al.*, 2018), (van der Bolt *et al.*, 1999)), een factor 10 groter dan in lab metingen. Het verschil kan verklaard worden door de aanwezigheid van macro-poriën, grotere open gangetjes in de bodem die bijvoorbeeld zijn ontstaan door wortels, scheuren of wormen. Deze macro-poriën gaan verloren in de monsters die in een lab worden geanalyseerd, maar leveren een belangrijke bijdrage aan de velddoorlatendheid doordat ze als een soort snelwegen voor waterstroming fungeren.

Doordat het oorspronkelijke plantmateriaal van veen in horizontale laagjes is afgezet is de horizontale doorlatendheid over het algemeen groter dan de verticale doorlatendheid (een vuistregel is circa een factor 10 verschil). Het oorspronkelijke plantmateriaal zal ook een rol spelen in verschillen tussen types veen (rietveen, zeggeveen, bosveen, veenmosveen), maar hier zijn geen studies over bekend.

Verticale en horizontale waterstroming worden, naast de doorlatendheid van de veenbodem, ook sterk beïnvloedt door de aanwezigheid van zeer slecht doorlatende lagen. Voor horizontale stroming is dit bijvoorbeeld de slootweerstand. Verticale stroming kan worden tegengegaan door een slecht doorlatend laagje dat aan de basis van het veenpakket aanwezig kan zijn (van den Akker *et al.*, 2017).

Veen kan zwellen door vernatting, wat een invloed heeft op de structuur. Daarnaast kan veen bij langdurige vernatting verweken, waardoor de structuur wegvalt. Dit maakt het gevoelig voor erosie. Deze effecten kunnen een effect op de doorlatendheid hebben, dit is echter nog niet onderzocht.

Uitdroging kan belangrijke effecten hebben op de doorlatendheid: de vorming van droogtescheuren kan bijvoorbeeld de horizontale doorlatendheid vergroten. Wanneer droog veen hydrofoob wordt stroomt water voornamelijk door de macroporiën. Dit bemoeilijkt de infiltratie en het opnieuw vernatten van het veen. Door het hydrofoob worden vermindert ook (tijdelijk) de sponswerking van het veen.

Praktijkkennis

Natte teelten: Bij het lisdodde veld in Zegveld wordt in de praktijk gezien dat de langdurige vernatting van het veen leidt tot een onduidelijk gedefinieerde start van maaiveld. De draagkracht is hier zodanig verminderd dat de bovenste tientallen centimeters nauwelijks nog vaste structuur hebben. Ook bij het veld van de pilot 'Boeren bij Hoog water' in Zegveld, waar vernatting met onderwaterdrainage tot 20 cm-mv wordt beoogd, is gesignaleerd dat de structuur van het veen direct onder de graszode sterk verweekt en structuur mist. De sterkte van de graszode wordt hierdoor extra belangrijk om nog in staat te zijn het land te gebruiken. Bij zulke extreme vernattingen met grondwaterstanden vanaf 20 cm-mv of hoger wordt ook het micro-reliëf binnen het perceel bepalend waar zwakke plekken optreden en de graszode permanent beschadigd kan raken. De verweking heeft mogelijk een effect op de doorlatendheid, waardoor het perceel, als het eenmaal dusdanig is vernat, gemakkelijker nat blijft.

Overige vernattingsmaatregelen: De maatregel bevoeien is relatief nieuw in de aanpak tegen veenaafbraak, en daardoor is er nog weinig bekend over de effectiviteit ten opzichte van andere maatregelen. In Friesland zijn er al wel duidelijke effecten te zien geweest op de grondwaterstand. Aangezien bij bevoeien de infiltratie van water van bovenaf gebeurt kan de veenstructuur in belangrijke mate bepalen of ook de vochtigheid van de veenbodem toeneemt. De aanwezigheid van bijvoorbeeld droogte scheuren kan ervoor zorgen dat het water via deze scheuren direct het grondwater bereikt en daardoor de droge bodem omzeilt. Ook het hydrofoob worden van de bodem kan dit effect versterken en het vernatten tegenwerken. De metingen die hier nu mee gedaan worden kunnen dit uitwijzen.

Conclusie

Verticale en horizontale doorlatendheden zijn belangrijke parameters in hydrologische modellen, en noodzakelijk om de effecten van een maatregel op de waterbalans te modelleren ofwel te schatten. Met uitzondering van schalterveen lijkt de

gemiddelde horizontale doorlatendheid in het veld vaak in de orde van 10-20 cm/d te zijn. Als vuistregel kan de verticale doorlatendheid een factor 10 kleiner worden aangenomen. Doorlatendheden kunnen veel variatie vertonen, ook binnen percelen. Lokale metingen kunnen daarom extra inzicht geven en modellen verbeteren, maar dan moeten er wel veel metingen worden gedaan om deze variatie uit te middelen. Wanneer de werking van maatregelen of de watervraag in een gebied erg gevoelig is voor de doorlatendheid is het aan te raden deze metingen te doen.

De structuur van veen kan door veel processen worden beïnvloed, soms met een gevolg voor de doorlatendheid of de mogelijkheid het veen nat te krijgen. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer er door droogte scheuren ontstaan of het veen hydrofoob wordt. Binnen pilots is hier nog geen speciale aandacht naar uitgegaan. Bij extreme vernatting (GWS op 20 cm-mv of minder) heeft verweking van veen mogelijk belangrijke implicaties voor de draagkracht en waterstromingen in de bodem. Dit is in de praktijk nog weinig onderzocht en in hoeverre dit invloed heeft op het landgebruik moet nog blijken uit pilots als 'boeren op hoogwater' in Zegveld.

4.2.6 Conclusies ten aanzien van de huidige kennis over de totale extra watervraag van maatregelen

Bovenstaande factoren beschrijven de individuele componenten van de waterbalans en de factoren die hier invloed op hebben. In model en pilotstudies is vooral gekeken naar de totale watervraag, en niet naar de individuele componenten. De stand van zaken rondom de kennis over de totale watervraag van maatregelen omschrijven we hier:

Ervaringsgetallen

Uit de interviews is gebleken dat veel waterschappers leunen op de modelstudie van Deltares (Rozemeijer *et al.*, 2019) met betrekking tot de extra watervraag van vernattingsmaatregelen. Hierbij worden de getallen genoemd van 10% extra watervraag bij onderwaterdrainage en 30-40% extra watervraag bij drukdrainage. Er wordt nauwelijks onderscheid gemaakt tussen de verschillende componenten van de waterbalans. De enige schatting die we hebben gehoord is ten aanzien van de extra gewasverdamping van gras bij vernattingsmaatregelen: welke in de zomer rond 1-2 mm/ha zou liggen. Ook wordt er niet echt rekening gehouden met regionale verschillen.

Metingen

Opvallend uit de pilots en modelstudies (bijlage B) is dat er weinig directe metingen beschikbaar zijn van de watervraag. De metingen die zijn gedaan richten zich op de watervraag op perceel niveau van vernattingsmaatregelen onderwater- en drukdrainage. Op grotere schaal zijn op dit moment geen gemeten waarden te vinden van de extra watervraag. In gesprekken is aangegeven dat metingen aan de inlaat van een polder vaak lastig te interpreteren zijn ten aanzien van de watervraag van de maatregelen, doordat veel water wordt ingelaten voor het doorspoelen en de maatregel slechts in een deel van de polder is aangelegd. Een extra watervraag van 10% wordt dan moeilijk te onderscheiden van de totale watervraag. Wat ook opvalt is dat de enkele metingen die aan debieten zijn gedaan zijn beperkt tot pilots in het Groene Hart, voornamelijk rondom Zegveld (met uitzondering van pilot locaties in Flevoland en de Noord-Oost polder). Dit betekent dat voor de regio's die hierbuiten vallen, zoals het Friese veenweide gebied, geen directe metingen beschikbaar zijn.

Er zijn verschillende oorzaken van het feit dat er nog weinig metingen zijn gedaan aan de extra watervraag van maatregelen:

- In afwezigheid van een verzameldrain is de watervraag bij bijvoorbeeld onderwaterdrainage lastig te meten, hiervoor moet een deel van de aanvoer sloot worden afgedamd. Dit is bijvoorbeeld gedaan in het onderzoek van (Hendriks *et al.*, 2013) bij twee pilotlocaties met onderwaterdrainage in Utrecht.
- In aanwezigheid van een verzameldrain en put is het mogelijk met flowmeters de waterstroom door de verzameldrain te meten. Deze mogelijkheid is echter niet bij iedereen bekend en kostbaar.
- Het is lastig de extra watervraag van maatregelen op grotere schaal te meten, doordat ook andere processen binnen de polder de watervraag beïnvloeden. Bijvoorbeeld het doorspoelen van de polder.

Wanneer een pompsysteem wordt gebruikt is wel makkelijker te meten hoeveel water het perceel in gaat, bijvoorbeeld in het geval van drukdrainage of bevoeien.

Bij een aantal nieuwere pilotprojecten is er de intentie om meer metingen te doen aan de watervraag. Dit is bijvoorbeeld bij de hoogwaterboerderij op Zegveld en bij HDSR in Kortrijk/Portengen.

Studies aan de totale watervraag

De paar metingen en modelstudies op perceel niveau tonen aan dat de extra water-

vraag op een locatie sterk wordt beïnvloed door de lokale hydrologische situatie (mate van kwel/wegzijing). In (Hendriks *et al.*, 2013) is de extra waterinfiltratie 28% en 110% voor een kwel en wegzijingssituatie respectievelijk. Ook de meteorologische omstandigheden hebben een belangrijke invloed, in een nat jaar is de extra watervraag een stuk lager dan in droge jaren. Er zijn daarom zowel 'hot moments' en 'hot spots' te definiëren voor de extra watervraag.

Om aan de variabele getallen voor individuele pilot locaties te ontsnappen blijkt uit interviews dat beleidsmedewerkers graag gebruik maken van de regionale studie van Deltares. Als eerste inschatting geeft deze studie waardevolle inzichten in de extra watervraag binnen veenweides van westelijk Nederland. Door de ruimtelijke en temporele variatie in de extra watervraag zijn de gemiddelde percentages die uit deze studie worden gebruikt echter niet voldoende om beleid op te voeren in alle veengebieden. De getallen gaan namelijk voorbij aan deze regionale verschillen en geven een berekende watervraag voor gebieden waar slechts gedeeltelijk onderwaterdrainage wordt uitgerold, op basis van een aantal simpele aannames. Wanneer in de praktijk op meer locaties onderwaterdrainage wordt toegepast kloppen de getallen niet meer. Daarnaast is ook in het rapport aangegeven dat de extra watervraag uit het model verschilt per gebied en kan oplopen tot 20% bij OWD en 80% bij drukdrainage, in tegenstelling tot de gemiddelde waarden van 8 en 36% respectievelijk. Deze variatie is ook te zien in de enkele pilotstudies: de variaties worden voornamelijk veroorzaakt door de lokale hydrologische situatie.

Het Landelijk Hydrologisch Instrumentarium (LHM) is daarnaast een model met gridcellen van 250x250 m, waarin verdamping niet goed wordt gemodelleerd. Het is daarom de vraag hoe goed het effect van de afname van droogtestress bij hogere grondwaterstanden in het model wordt meegenomen, terwijl deze duidelijk een belangrijke component vormt in de extra watervraag. Om dit beter te kunnen beoordelen zou de totale watervraag uitgesplitst moeten worden in de verschillende componenten (verdamping, kwel/wegzijing, veranderde berging). Door de grootte van de gridcellen geeft de rapportage ook aan dat de effecten bij hoge hydraulische gradiënten aan randen van peilvakken niet goed zijn door te rekenen. Tenslotte is het model niet gekalibreerd op gemeten waarden van de watervraag, omdat deze metingen nog nauwelijks beschikbaar zijn. Deze kanttekeningen zijn erkend in de rapportage en in het interview met Deltares en zijn inherent aan het gebruik van het LHM.

Kennisleemtes ten aanzien van de totale watervraag

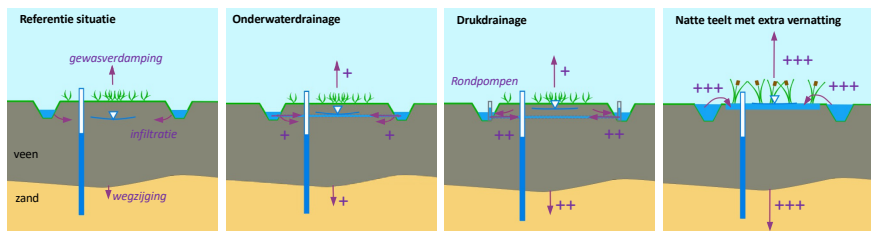
Per regio is beter inzicht nodig in de extra watervraag van vernattingsmaatregelen, zowel door het jaar heen als in piekmomenten. Dit kan door een hydrologische modelstudie uit te voeren voor de specifieke regio om de effecten van maatregelen door te rekenen. Hiervoor zijn data nodig van de lokale bodemopbouw en grondwatersysteem. Door middel van modellen kan ook worden doorgerekend wat het beste peilbeheer is om water te besparen in combinatie met de vernattingsmaatregelen.

Om modellen voor de bepaling van de watervraag te kalibreren zijn daarnaast meer metingen nodig binnen pilots. Het is belangrijk dat binnen deze metingen onderscheid wordt gemaakt tussen de verschillende componenten van de waterbalans die de gemeten watervraag uitmaken, zodat de resultaten ook inzicht opleveren voor andere locaties.

Voor natte teelten en natte natuur is nog geen kennis beschikbaar over de totale extra watervraag. Om deze te bepalen is meer kennis nodig op de volgende punten:

- De gewasverdamping van natte teelten en natte natuur kent een grote variatie afhankelijk van de locatie en veldindeling. Potentieel zorgt deze component voor een grote extra watervraag. Daarom zijn metingen nodig in de Nederlandse situatie met typische veldindelingen van de teelt.
- In hoeverre de watervraag van natte teelten kan worden opgevangen door peilfluctuaties toe te staan hangt af van de tolerantie van de teelt en de praktische haalbaarheid om dit te realiseren binnen het watersysteem. Hierover is nog niet voldoende kennis en ervaring beschikbaar.

FIG. 4.4 COMPONENTEN VAN DE WATERBALANS OP PERCEELSNIPEAU EN HET EFFECT VAN VERSCHILLENDE MAATREGELN OP DEZE COMPONENTEN (VERGROTEND EFFECT IS AANGEGEVEN MET '+').



4.3 FACTOREN MET BETREKKING TOT HET WATERBEHEER

In de onderstaande secties staat de kennisinventarisatie van de belangrijkste factoren binnen het waterbeheer die niet of deels onder andere thema's vallen. De factoren op het waterbeheer spelen vooral een rol bij opschaling van de maatregelen.

4.3.1 Vasthouden versus aanvoeren

In onderstaande tabel staan het type maatregelen omschreven waarbij de factor relevant is.

TABEL 4.8 VASTHOUDEN VERSUS AANVOEREN PER MAATREGELENGROEP

MAATREGELENGROEP	VASTHOUDEN VERSUS AANVOEREN
- Vernattingsmaatregelen	De extra watervraag kan (deels) worden opgevangen
- Alternatieven voor de melkveehouderij	door water vast te houden of aan te voeren, ofwel een combinatie.
- Aanpassingen aan het watersysteem	Peilverhogingen in oppervlaktewater kunnen passief gerealiseerd worden door meer water vast te houden of actief door meer water in te laten.

Theoretische kennis

Wanneer maatregelen een extra watervraag creëren moet vanuit het waterbeheer worden gekeken hoe deze watervraag kan worden gerealiseerd. Hoe meer water binnen het gebied kan worden gebufferd, des te minder extra inlaatwater er nodig is. Bij de factor 'Temporele variaties in de waterberging' staat omschreven op wat voor manier bij verschillend landgebruik water kan worden vastgehouden binnen percelen. Dit hangt af van de tolerantie voor peilfluctuaties, maar ook van de praktische haalbaarheid om extra water vast te houden.

Bij reguliere melkveehouderij en teelten die weinig fluctuaties in peil kunnen tolereren is weinig buffering mogelijk binnen een perceel. De peilstrategieën bepalen dan in belangrijke mate hoeveel extra waterinlaat in het gebied met de maatregel nodig is. Met voldoende kennis over de bergingscapaciteit van het oppervlaktewatersysteem en de extra watervraag door het jaar heen is te dit te bepalen, ook bij verschillende schaalgroottes van de maatregel. Meer berging kan worden gecreeërd door bijvoorbeeld extra sloten aan te leggen, sloten te verbreden

of laaggelegen delen van een polder te laten inunderen. Bij de keuze voor vasthouden of aanvoeren moet rekening worden gehouden met de andere factoren binnen waterbeheer (bijvoorbeeld de kwaliteit van het inlaatwater en de afvoercapaciteit).

Praktijkkennis

In de praktijk is de extra watervraag nog niet vaak gekoppeld aan een gebieds-specifieke optimalisatie tussen vasthouden en aanvoeren omdat maatregelen vaak nog niet op polderschaal zijn toegepast. Voor waterbeheerders is er ook geen grote push om de extra aanvoer te minimaliseren omdat veen in de hoogste categorie valt van de verdringingsreeks bij waterschaarste (zie de factor ‘Waterprioritering bij schaarste’).

Conclusie

Wanneer de watervraag bekend is, is het als waterbeheerder mogelijk af te wegen hoe deze watervraag kan worden gerealiseerd. Meer water kan in het systeem worden vastgehouden door aanpassingen in het peilbeheer of het creëren van extra berging. Het is belangrijk hierbij rekening te houden met de andere factoren in het waterbeheer, zoals de effecten op de afvoercapaciteit.

Een belangrijke kennisleemte is al genoemd onder de factor ‘Temporele variaties in de waterberging’, namelijk de praktische uitvoerbaarheid van het extra vasthouden van water bij natte teelten en natte vegetatie. Dit vereist een aanpassing in de inrichting van het watersysteem waarbij de teelt in een peilvak komt te staan waarbinnen waterpeilen boven maaiveld kunnen worden vastgehouden.

4.3.2 Waterprioritering bij schaarste

In onderstaande tabel staan het type maatregelen omschreven waarbij de factor relevant is.

TABEL 4.9 WATERPRIORITERING BIJ SCHAARSTE PER MAATREGELENGROEP

MAATREGELENGROEP	WATERPRIORITERING BIJ SCHAARSTE
- Vernattingsmaatregelen	De extra watervraag kan zorgen voor een knelpunt met
- Alternatieven voor de melkveehouderij	de watervraag van andere functies in een gebied.
- Aanpassingen aan het watersysteem	

Theoretische kennis

Zoals uitgebreider omschreven in het thema 'Governance' (Scholten and Troost, 2020) valt de watervraag van veenweides in de hoogste categorie van de verdringingsreeks die in werking treedt bij waterschaarste. Dit betekent dat een extra inlaatbehoefte van een poldersysteem door maatregelen in veenweides niet snel een probleem vormt of als probleem wordt gezien. Het kan echter wel ten koste gaan van andere functies of polders die om hetzelfde water concurreren.

Praktijkkennis

De praktijk toont aan dat bij extreme droogte zoals in 2018 ook de hoogste categorie van de verdringingsreeks op sommige plekken in veenweidegebied in gevaar komt.

Conclusie

Door klimaatverandering zal de verdringingsreeks vaker in werking treden en ook de watervraag van veenweidegebieden op piekmomenten in gevaar komen. Een toenemende waterschaarste kan ertoe leiden dat de verdringingsreeks in de toekomst wordt herzien. Ook kan de waterverdeling vanuit grote oppervlaktewateren veranderen, zoals bijvoorbeeld het IJsselmeer. Het is de vraag of de watervraag van veenweides dan altijd kan worden gegarandeerd of dat er onderscheid zal worden gemaakt tussen natuur en landbouwfuncties. Als er niet genoeg water is heeft dit een groot effect op de maatregelen die veel water vragen in deze piekmomenten, zoals de natte teelten. Kennis over de ontwikkeling van de verdringingsreeks is te vinden in het thema 'Governance' (Scholten and Troost, 2020).

Daarnaast heeft in de piekmomenten de watervraag van veenweides effect op de lagere categorieën in de verdringingsreeks. Deze ongewenste neveneffecten zijn nu nog niet inzichtelijk. Binnen het Deltaprogramma wordt een watervraagprognose tool ontwikkeld, waarin prognoses van de watervraag worden berekend, bijvoorbeeld voor de zoetwaterregio van het IJsselmeergebied en Oost Nederland. Het effect van de watervraag van maatregelen in veengebieden zou hierin moeten worden meegenomen en vervolgens moeten worden afgewogen tegen de waterbeschikbaarheid.

4.3.3 Kwaliteit van het inlaatwater

In onderstaande tabel staan het type maatregelen omschreven waarbij de factor relevant is.

TABEL 4.10 KWALITEIT VAN HET INLAATWATER PER MAATREGELENGROEP

MAATREGELENGROEP	KWALITEIT VAN HET INLAATWATER
- Vernattingsmaatregelen	Bij extra inlaatwater is de kwaliteit relevant
- Aanpassingen aan het watersysteem	
Alternatieven voor de melkveehouderij	Voor sommige natte teelten en natuur is de waterkwaliteit extra belangrijk

Theoretische kennis

De extra watervraag van maatregelen kan betekenen dat meer water een polder wordt ingelaten. De waterkwaliteit van dit water is relevant. Bij bijvoorbeeld natte vegetaties is, afhankelijk van de natte teelt of natuur, een bepaalde waterkwaliteit vereist. Dit kan de haalbaarheid sterk beperken wanneer hierdoor geen extra inlaatwater mogelijk is. Veenmos heeft bijvoorbeeld regenwater nodig. De vereiste waterkwaliteit per vegetatie is verder uitgewerkt binnen het thema 'Biodiversiteit, bodem- en waterkwaliteit'.

Daarnaast moet bij extra inlaatwater rekening worden gehouden met risico's op verzilting en effecten op KRW waarden.

Praktijkkennis

In de praktijk is er nog niet een analyse uitgevoerd waarbij de effecten van de extra watervraag van maatregelen op de waterkwaliteit in de polder is onderzocht. Dit zal ook per gebied verschillen afhankelijk van de kwaliteit van het beschikbare inlaatwater.

Conclusie

Met kennis van de extra inlaatbehoefte bij opschaling van de maatregelen is het mogelijk te analyseren of er nadelige effecten te verwachten zijn op de waterkwaliteit. Dit is sterk afhankelijk van de extra watervraag en de kwaliteit van het inlaatwater. Hierdoor is de relevantie van de waterkwaliteit van het inlaatwater gebieds en periode afhankelijk.

4.3.4 Geschiktheid van het watersysteem voor aanvoer

In onderstaande tabel staan het type maatregelen omschreven waarbij de factor relevant is.

TABEL 4.11 GESCHIKTHEID VAN HET WATERSYSTEEM VOOR AANVOER PER MAATREGELENGROEP

MAATREGELENGROEP	GESCHIKTHEID VAN HET WATERSYSTEEM VOOR AANVOER
- Vernattingsmaatregelen	Bij een extra watervraag is niet alleen relevant of dit
- Alternatieven voor de melkveehouderij	water beschikbaar is, maar ook of het op de juiste
- Aanpassingen aan het watersysteem	plekken kan komen.

Theoretische kennis

Watersystemen kunnen onderling veel verschillen in hun indeling, maar zijn over het algemeen ontworpen om een goede afvoer te garanderen en zo waterschades te voorkomen. Dit betekent dat de inrichting van het watersysteem niet per se optimaal is voor de aanvoer van water. Wateraanvoer vanuit een inlaat komt zo misschien niet terecht tot in de haarvaten van het systeem. Ook de begroeiing en bagger in sloten kan ervoor zorgen dat een peilverhoging niet overal effect heeft. Een goede wateraanvoer vereist daarom mogelijk aanpassingen in de inrichting en in het beheer (bijvoorbeeld het maaien van vegetatie in sloten).

Praktijkkennis

Uit interviews blijkt dat waterbeheerders de kennis hebben over hun watersysteem om te bepalen of deze ook geschikt is voor wateraanvoer.

Conclusie

Bij extra waterinlaat moet rekening worden gehouden met de inrichting van het watersysteem. Deze zijn veelal ontworpen op afvoer, dus aanpassingen kunnen nodig zijn voor een goede aanvoer. Waterbeheerders moeten hier rekening mee houden, maar hebben de kennis in huis om dit te doen.

4.3.5 Effecten op bergings- en afvoercapaciteit van het systeem

In onderstaande tabel staan het type maatregelen omschreven waarbij de factor relevant is.

TABEL 4.12 EFFECTEN VAN BERGINGS- EN AFVOERCAPACITEIT VAN HET SYSTEEM PER MAATREGELENGROEP

MAATREGELENGROEP	EFFECTEN OP BERGINGS EN AFVOERCAPACITEIT VAN HET SYSTEEM
- Vernattingsmaatregelen	Door vernatting vermindert de bergingscapaciteit van de bodem en het oppervlaktewater. Dit kan een goede afvoer in gevaar brengen en zorgen voor waterschades bij piekbuien
- Alternatieven voor de melkveehouderij	
- Aanpassingen aan het watersysteem	

Theoretische kennis

Zoals beschreven bij de factor ‘temporele variaties in de waterberging’ vermindert vernatting de beschikbare berging. Het is afhankelijk van het type maatregel in welke mate. Een voordeel van een maatregel als drukdrainage kan bijvoorbeeld zijn dat de bodem vernat wordt onafhankelijk van het slootpeil, hiermee blijft berging beschikbaar in het oppervlaktewater (Tegelijkertijd is het bij drukdrainage niet gunstig als het slootpeil te veel onder de grondwaterstand staat, omdat dit het rondpompen van water vergroot, zie de factor ‘rondpompen tussen perceel en sloot’).

Bij hoge grondwaterstanden ontstaan snel plassen binnen een perceel doordat er geen ruimte in de bodem is voor wateroverschotten. Door het verlies van berging in de bodem komt neerslag minder vertraagd in het oppervlaktewater terecht. Als een gebied is vernat tot of boven maaiveld en geen vermogen heeft om water vast te houden zorgt dit direct voor een belasting op het omliggende watersysteem.

Bij hoge oppervlaktewaterpeilen verliest een watersysteem ruimte om wateroverschot op te vangen. Daardoor moet er sneller water worden afgevoerd. Als dit niet lukt ontstaat er wateroverlast. Dit is traditioneel het grootste probleem van Nederlandse poldersystemen en de belangrijkste functie waarop ze zijn ontworpen. Het is dan ook belangrijk dat deze functie geborgd blijft bij vernattingsmaatregelen.

Piekafvoeren kunnen gebufferd worden door bij verwachte neerslag voor te bemalen. Hierdoor wordt er extra berging gecreëerd in het watersysteem om de neerslag op te vangen. Hierbij moet wel rekening worden gehouden met de technische haalbaarheid van snelle peilverlagingen en de effecten op oeverstabiliteit.

Praktijkkennis

Voor drie pilot locaties uit de studie van ‘Onderwaterdrains Utrecht’ (Hendriks *et al.*, 2013) is modelmatig berekend wat de effecten zijn van extreme buien bij onderwaterdrains. Voor een enkele bui van 48 mm in een uur in 1953 en voor een reeks van extreme buien in 2002 zijn de effecten op de afvoer en het oppervlakte-waterpeil doorgerekend. De maximale steiging van het waterpeil was hierbij 7 cm. De toename van het aantal draaiuren van het gemaal was maximaal 9%.

Conclusie

Vernattingsmaatregelen verminderen de beschikbare berging in een watersysteem. Dit kan nadelige effecten hebben op de afvoercapaciteit en wateroverlast veroorzaken. Traditioneel zijn watersystemen in Nederland ingericht op het voorkomen van waterschade en waterschappers zijn daarmee specialist in het regelen van deze functie. Er is daarom voldoende kennis in huis om ook de effecten van maatregelen in veenweidegebied door te rekenen. Dit is echter nog nauwelijks gedaan, behalve in een pilotstudie. Voordat een maatregel kan worden uitgerold in een gebied is het wel essentieel om de effecten op één van de primaire functies, namelijk afvoer en voorkomen van wateroverlast, goed in beeld te hebben.

4.3.6 Oever en dijkstabiliteit

In onderstaande tabel staan het type maatregelen omschreven waarbij de factor relevant is.

TABEL 4.13 OEVER- EN DIJKSTABILITEIT PER MAATREGELENGROEP

MAATREGELENGROEP	OEVER- EN DIJKSTABILITEIT
Alternatieven voor de melkveehouderij	extreme vernatting tot aan maaiveld leidt tot verweking van oevers en vergroot daarmee het risico op afkalving. Bij vernatting boven maaiveld verdwijnt het concept van oevers.
Aanpassingen aan het watersysteem	fluctuaties in het waterpeil kunnen zorgen voor extra oeverafkalving. Snelle peilverlagingen in teensloten zijn niet wenselijk voor de stabiliteit van dijken.
Overige	Ook bij vernattingsmaatregelen zoals een hoger zomerpeil en grondwaterstanden tot 20 cm-mv kan extra afkalving plaatsvinden door verweking.

Theoretische kennis

Oeverstabiliteit: De maatregelen kunnen veenoevers extra kwetsbaar maken voor afkalving wanneer door vernatting de oever verweekt. Hierdoor wordt deze kwetsbaarder voor golfslag, stroming en wind. Ook wanneer de maatregel het stromingsprofiel door een sloot verandert kan dit effect hebben op de oeverstabiliteit. Door peilfluctuaties verplaatst bijvoorbeeld de maximale stromingssnelheid verticaal langs het oeverprofiel. Hierdoor kunnen kwetsbare lagen extra eroderen en kan vegetatie zich niet goed aanpassen.

Andere factoren die een negatieve invloed hebben op de stabiliteit van oevers zijn bijvoorbeeld het ontstaan van droogtescheuren en het te steil, en daarmee instabiel worden, van de oever door baggeren.

De stabiliteit van oevers kan vergroot worden door middel van vegetatie met sterke wortelstelsels. Ook een minder steile oever en beschoeiing kunnen hierbij helpen en aanpassingen in de frequentie en manier van baggeren. De maatregel ‘veenweidesloot van de toekomst’ is daarom een goede aanvulling bij maatregelen die het risico op afkalving vergroten. De kennis hierover is in ontwikkeling, en staat omschreven in (Van Rotterdam *et al.*, 2020).

Dijkstabiliteit: In Nederland ligt ongeveer 3500 km aan veendijken. Er zijn verschillende mechanismes waardoor deze dijken instabiel kunnen worden. Droogte is niet goed voor de dijk door het ontstaan van droogtescheuren en door gewichtsverlies van de veenbodem bij uitdroging. Door dit gewichtsverlies kan hij gaan zweven op het onderliggend zand, zoals gebeurde bij de dijkdorbraak bij Wilnis in 2003. Deze doorbraak was aanleiding van uitgebreide onderzoeksprogramma's waardoor de kennis over veendijken in Nederland snel is verbeterd ((STOWA, 2005), (Berendsen *et al.*, 2019)). Vernatting kan daarmee juist gunstig uitwerken voor deze dijken.

Een ander mechanisme dat dijken instabiel maakt (niet beperkt tot dijken die uit veen bestaan) is het snel verlagen van het waterpeil in de teensloot van een dijk. Het grondwater in de dijk reageert vertraagd op zo'n peilverlaging waardoor het talud instabiel kan worden. Dit na-ijlen moet dus zoveel mogelijk voorkomen worden. Kleine en langzame peilfluctuaties zullen niet snel een probleem vormen. Uit de interviews met twee dijkspecialisten komt naar voren dat zij een peilfluctuatie van 5-10 cm niet als een probleem zien, maar dat een peildaling van decimeters per dag veel te snel zou zijn voor de stabiliteit van een dijk. Nu zal deze situatie niet snel

ontstaan binnen maatregelen, maar gezien de grote consequenties is het goed hiervan bewust te zijn, met name bij de maatregel dynamisch peilbeheer.

Praktijkkennis

Praktijkkennis over de kwetsbaarheid van oevers door vernatting is op dit moment in ontwikkeling. Binnen Waterschap Amstel Gooi en Vecht is hierover een onderzoek gedaan (Van Rotterdam *et al.*, 2020), en ook in het Friese veenweide gebied wordt extra onderzoek opgestart. Uit de interviews kwam naar voren dat een peilverhoging van 40 naar 20 cm onder maaiveld al grote consequenties heeft voor de oeverstabiliteit door de extra verweking.

Conclusie

Vernatting maakt oevers gevoeliger voor afkalving door verweking van het veen. Ook peilfluctuaties vormen een extra risico voor oevers. De kennis hierover is op dit moment in ontwikkeling.

De stabiliteit van dijken kan in gevaar komen bij snelle peilverlagingen in de teensloot van dijken. Het is belangrijk hiervan bewust te zijn bij een maatregel als dynamisch peilbeheer. In principe is hier voldoende kennis over beschikbaar bij de dijkspecialisten van een waterschap. Het vraagt voornamelijk afstemming.

H5 FASE 3: BELANGRIJKSTE KENNISLEEMTES



In het vorige hoofdstuk is de kennis over de belangrijkste factoren die de haalbaarheid van maatregelen kunnen beïnvloeden omschreven. Hieruit komen een aantal kennisleemtes naar voren met betrekking tot de watervraag en het waterbeheer. Hieruit hebben we de belangrijkste kennisleemtes geselecteerd, omdat ze het grootste effect hebben op de haalbaarheid van maatregelen. Waar mogelijk is aangegeven op welk moment deze kennis beschikbaar moet zijn.

5.1 WAT ZIJN DE EFFECTEN OP DE AFVOERCAPACITEIT VAN HET WATERSYSTEEM BIJ PIEKBUIEN?

Maatregelen waarbij de berging in de bodem en het oppervlaktewater vermindert hebben een effect op de afvoercapaciteit van het watersysteem. Dit kan betekenen dat piekbuien leiden tot meer wateroverlast. Dit is nog niet in beeld gebracht voor de verschillende maatregelen. De kennis om dit te doen is in principe aanwezig. Bij een zomerse bui kunnen droogteverschijnselen die optreden in de structuur van het veen een rol spelen bij de bergingscapaciteit: door droogtescheuren en het optreden van hydrofobie kan de beschikbare bodemberging in de praktijk lager zijn dan theoretisch wordt aangenomen. Hier ligt een extra kennisleemte.

Urgentie: Voordat maatregelen breed worden uitgerold op polderschaal moeten de effecten op de afvoer bij piekbuien in beeld zijn. Wateroverlast brengt namelijk grote kosten met zich mee, en een verminderde bergingscapaciteit in landelijk gebied kan ook effect hebben in stedelijk gebied. Dit bepaalt de haalbaarheid voor opschaling van vernattingsmaatregelen, de alternatieven voor de melkveehouderij (natte teelten en natte natuur) en voor aangepaste peil strategieën zoals flexibel en dynamisch peilbeheer.

5.2 WAT IS DE EXTRA WATERVRAAG IN EEN SPECIFIEK GEBIED, MET NAME BIJ DROOGTE?

De extra watervraag die maatregelen veroorzaken is een belangrijke factor in de haalbaarheid van maatregelen. Het heeft bijvoorbeeld effect op de benodigde inrichting en op de totale waterbeschikbaarheid van een watersysteem, met name in de 'hot moments' bij extreme droogte. Klimaatverandering maakt de factor daarmee nog relevanter. Op dit moment is hij niet goed in beeld voor de verschillende maatregelen en voor verschillende gebieden. Zowel metingen als modelstudies zijn beperkt. Metingen beperken zich tot vernattingsmaatregelen (onderwater en drukdrainage) op pilotschaal. Doordat bij de gemeten of gemodelleerde water-

vraag bijna nooit onderscheid wordt gemaakt in de verschillende componenten van de waterbalans zijn de resultaten moeilijk te relateren aan bodemopbouw, hydrologische situatie en landgebruik en daardoor weinig bruikbaar voor een andere situatie dan bij de specifieke pilot aanwezig is.

Urgentie: Zonder inzicht in de extra watervraag is geen goede afweging te maken tussen de voordelen van de maatregel en de implicaties voor het waterbeheer en de waterbeschikbaarheid. Het zal per gebied verschillen hoe nauwkeurig de watervraag in beeld moet zijn om een goede afweging te maken. Bij voldoende waterbeschikbaarheid door het jaar heen hoeft de watervraag misschien minder goed in beeld te zijn dan wanneer de waterbeschikbaarheid beperkt is. Maar ook bij een hoge waterbeschikbaarheid kan de haalbaarheid van maatregelen bij een grote watervraag in gevaar komen, door de effecten op het waterbeheer. Dit betekent dat het afhangt per gebied of een gebrek aan kennis over de extra watervraag ervoor zorgt dat uitrol van de maatregel op dit moment niet haalbaar is.

Wanneer de haalbaarheid van opschaling van maatregelen in een gebied afhangt van de extra watervraag moeten onderstaande kennisleemtes worden gevuld.

5.2.1 Wat is de toename in gewasverdamping van natte vegetaties, met name in piekmomenten?

Voor de maatregelen binnen de groep 'alternatieven voor de melkveehouderij' is een toename in gewasverdamping waarschijnlijk de belangrijkste oorzaak van een extra watervraag. Uit literatuur blijkt dat de gewasverdamping van natte vegetaties als lisdodde en riet heel variabel kan zijn, maar de potentie heeft om meerdere malen groter te zijn dan de verdamping van grasland. Binnen de pilots is deze echter nog niet gemeten.

De alternatieve vegetaties zullen ook een andere reactie hebben op droogte dan gras: gras gaat minder verdampen bij droogte door het sluiten van huidmondjes. Door verschillende stress reacties wordt het verschil in de gewasverdamping tussen grasland en natte alternatieven waarschijnlijk nog groter in tijden van droogte. Hier missen meetgegevens van de gewasverdamping van natte vegetaties in de Nederlandse veenweiden en kennis over stressreacties van de verschillende type vegetaties bij droogte en hoge temperaturen.

5.2.2 **Wat is het aandeel van verschillende componenten van de waterbalans bij gemeten watervraag en hoe vertaalt dit zich naar andere gebieden?**

De extra watervraag van maatregelen is de som van het effect op de verschillende waterstromen. Zo hangt het af van de lokale hydrologische situatie en bodemopbouw in hoeverre de maatregel zorgt voor extra waterverlies aan de onderrand van een veenbodem. Op dit moment mist inzicht bij zowel metingen als modellen in de bijdrages van de verschillende waterstromen aan de extra watervraag.

5.3 **HOE WORDT DE EXTRA WATERVRAAG GEREALISEERD?**

Wanneer maatregelen worden opgeschaald is een belangrijke vraag hoe de extra watervraag kan worden gerealiseerd. De manier waarop dit wordt gedaan heeft implicaties voor bijvoorbeeld de extra inlaat in een polder, de bergingscapaciteit binnen de polder, de inrichting van het systeem en het onderhoud (bijvoorbeeld ten aanzien van oevers).

5.3.1 **Hoeveel water kan worden gebufferd binnen het systeem?**

Een belangrijke kennisleemte is in hoeverre de watervraag kan worden gerealiseerd door het vasthouden van water, bijvoorbeeld door flexibel peilbeheer of door extra waterbuffering bij de alternatieven voor de melkveehouderij.

Alternatieven voor de melkveehouderij

Ten aanzien van alternatieven voor de melkveehouderij speelt hierin mee dat er nog onvoldoende kennis is over de fluctuaties in waterpeil die de verschillende natte vegetaties tolereren. Niet alleen per gewas, maar ook per landgebruik (zoals lisdoddes als natuur of als productiegewas).

Een tweede kennisleemte hierbij is hoeveel fluctuaties praktisch te realiseren zijn, zonder wateroverlast te veroorzaken voor de omgeving. Hier is binnen deze maatregelengroep nog geen praktijk ervaring mee.

Urgentie: Wanneer waterbuffering rondom natte teelten een belangrijk aspect is van de aanpak om de extra watervraag te realiseren is deze kennis essentieel voor de haalbaarheid. Ook wanneer de fluctuaties dienen om meer berging voor piekbuien te realiseren.

Flexibel en dynamisch peil

Fluctuaties in oppervlaktewaterpeil kunnen worden gebruikt om meer water vast te houden en zo de vraag om extra inlaatwater te verkleinen. Wanneer er veel actief wordt gestuurd op gewenste peilen kan dit ook juist extra water kosten (zoals bij dynamisch peilbeheer). Als het peilbeheer wordt aangepast met een bepaald doel, zoals water sparen, moet gebiedsspecifiek in beeld worden gebracht wat dan precies de beste peilstrategie is.

5.3.2 Wat zijn de mogelijkheden om water aan te voeren in een gebied, ook m.b.t. de waterkwaliteit?

Wanneer de extra watervraag gedeeltelijk of geheel moet worden gerealiseerd door middel van extra inlaatwater is een belangrijke vraag of dit te realiseren is binnen het bestaande watersysteem en wat de mogelijke implicaties zijn voor de waterkwaliteit. Waar komt het inlaatwater vandaan en wat is de kwaliteit van dit water? Zijn er technische aanpassingen nodig in het watersysteem om de aanvoer mogelijk te maken? Bij opschaling binnen een gebied is het belangrijk hierover na te denken.

5.4 WAT IS HET EFFECT VAN EXTREME VERNATTING OP DE VEENSTRUCTUUR?

Wanneer een veenbodem extreem wordt vernat zorgt dit voor verweking van het veen. Dit is bijvoorbeeld één van de oorzaken van oeverafkalving in veengebieden. Op dit moment lopen er pilots waarbij wordt gezien dat de structuur van het veen direct onder de graszode bij een vernatting tot 20 cm onder maaiveld verweekt, en daardoor de sterkte van de graszode erg belangrijk wordt voor de manier van landgebruik. Ook bij natte teelten ontstaat deze verweking. De langdurige effecten op gewasgroei, draagkracht en doorlatendheid van het veen zijn nog niet in beeld. Deze kennis kan opgebouwd worden binnen de pilotfase van maatregelen.

5.5 WAT IS HET OPTIMALE PEILBEHEER BIJ MAATREGELEN EN WAT BETEKENT DIT VOOR ONDERHOUD EN INRICHTING VAN HET WATERSYSTEEM?

Bij het passief toestaan van fluctuaties rondom een streefpeil (flexibel peilbeheer) wordt water vastgehouden binnen het systeem en extra inlaat uitgesteld. Dit werkt waterbesparend. Bij actieve sturing (dynamisch peilbeheer) zijn de fluctuaties onafhankelijk van neerslag overschot of tekort te sturen. Hierdoor kan de actieve sturing voor meerdere doelen worden ingezet, zoals het creëren van extra berging voor een bui, of het extra inlaten van water precies op het moment dat dit nodig is voor maatregelen. Daarmee kan het ook juist water kosten als peilen veel op en

neer gaan. Bij het combineren van maatregelen met de juiste peilstrategie is daarom een analyse nodig hoe het beste gestuurd kan worden in een specifiek gebied. De vragen die daarbij belangrijk zijn, zijn bijvoorbeeld: Hoeveel en wanneer gaan de peilen op en neer? Op welke momenten gaat dit water kosten en hoeveel? Wat zijn de consequenties voor de oevers (en misschien zelfs dijken) in het gebied bij deze fluctuaties? Of er een risico is voor de stabiliteit van dijken/kades is af te stemmen met dijkspecialisten.

De kennis over de beste peilstrategie is nodig voordat tot een dergelijke maatregel wordt besloten.

5.6 WAT ZIJN DE EFFECTEN VAN DE EXTRA WATERVRAAG OP ANDERE SECTOREN IN EEN LANGDURIG DROGE PERIODE?

De extra watervraag van maatregelen kan ervoor zorgen dat in droge periodes de waterbeschikbaarheid binnen een polder, maar ook regionaal, gaat knellen. Veengebieden staan op dit moment bovenaan de verdringingsreeks die op zo'n moment in werking treedt. Dit betekent echter dat de watervraag van veengebieden een negatief effect kan hebben op andere sectoren die lager in de verdringingsreeks staan. Het is daarom belangrijk dat een extra inlaat behoefte veroorzaakt door veenmaatregelen wordt afgewogen tegen de watervraag van andere sectoren. Hiervoor moet duidelijk zijn wat die extra watervraag precies is, voornamelijk in droge periodes. Deze afweging zou moeten worden meegenomen in waterprognose tools die worden ontwikkeld op regionale schaal binnen het Deltaprogramma. Waterbeheerders zullen bij uitrol deze afweging echter ook op kleinere schaal moeten maken.

H6 LITERATUUR EN BIJLAGEN



LITERATUUR

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Papers. FAO, Rome.
- Bartholomeus, R., Voortman, B., Witte, J.-P., 2013. Metingen en proceskennis vereist voor nauwkeurige verdampings-berekening in grondwatermodellen. *Stromingen* 19, 37–52.
- Berendsen, J.W., Derksen-Hooijberg, M., Hofman, P., 2019. Historisch onderzoek veenkaden.
- Bestman, M., Geurts, J., Egas, Y., van Houwelingen, K., Lenssinck, F., Koornneef, A., Pijlman, J., Vroom, R., van Eekeren, N., 2019. Natte teelten voor het veenweidegebied. Veenweiden Innovatiecentrum, Louis Bolk Instituut en Radboud Universiteit Nijmegen.
- Diara, H.F., Van Hove, C., 1984. Azolla, a water saver in irrigated rice fields?, in: *Practical Application of Azolla for Rice Production*. Springer, pp. 115–118.
- Droogers, P., 2009. Verbetering bepaling actuele verdamping voor het strategisch waterbeheer. Definitiestudie. STOWA.
- Feddes, R.A., 1987. Crop factors in relation to Makkink's reference crop evapotranspiration, in: Hooghart, J.C. (Ed.), *Evaporation and Weather*, TNO Proceedings and Information. Commission of Hydrological Research, The Hague, The Netherlands, pp. 33–45.
- Feddes, R.A., Kowalik, P.J., Zarasny, H., 1978. *Simulation of Field Water Use and Crop Yield*. John Wiley & Sons.
- Hattendorf, M.J., Davenport, J.R., 1996. Cranberry evapotranspiration. *HortScience* 31, 334–337.
- Hendriks, R.F.A., van den Akker, J.J.H., van Houwelingen, K.M., van Kleef, J., Pleijter, M., van den Toorn, A., 2013. Pilot onderwaterdrains Utrecht. Alterra, Wageningen-UR, The Netherlands.
- Hoving, I.E., van den Akker, J.J.H., Massop, H.T.L., Holshof, G.J., van Houwelingen, K., 2018. Precisiewatermanagement op veenweidegrond met pompgestuurde onderwaterdrains. Wageningen Livestock Research.
- Jansen, P.C., Querner, E.P., Van den Akker, J.J.H., 2009. Onderwaterdrains in het veenweidegebied: de gevolgen voor de inlaatbehoefte, de afvoer van oppervlaktewater en voor de maaiveldaling. Alterra.

-
- Kimani, S.M., Kanno, T., Tawaraya, K., Cheng, W., 2020. Floating Azolla Cover Influences Evapotranspiration from Flooded Water Surfaces. *Wetlands* 1–8.
- Lallana, V.H., Sabattini, R.A., Lallana, M.D.C., 1987. Evapotranspiration from Eichhornia Crassipes, Pistia Stratiotes, S Alvini a Herzogii and Azolla Carolini an a During Summer in Argentina. *Journal of aquatic plant management* 25, 48–50.
- Massop, H.T.L., van Bakel, P.J.T., Kroon, T., Kroes, J.G., Tiktak, A., Werkman, W., 2005. Op zoek naar de ‘ware’neerslag en verdamping. Alterra report 1158.
- Milani, M., Toscano, A., 2013. Evapotranspiration from pilot-scale constructed wetlands planted with Phragmites australis in a Mediterranean environment. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 48, 568–580.
- Pijlman, J., Roelen, S., Van Eekeren, N., 2020. Klimaatmaatregelen in het veenweidegebied in relatie tot biodiversiteit, bodem- en waterkwaliteit.
- Rozemeijer, J., Boomsma, H., Veldhuizen, A., Pouwels, J., van den Akker, J., Kroon, T., 2019. Effecten van onderwaterdrainage op de regionale watervraag: berekeningen met het Landelijk Hydrologisch Model. *Deltares*.
- Scholten, M., Troost, A., 2020. Technische en maatschappelijke haalbaarheid maatregelen bodemdaling, Onderdeel governance.
- Schuurmans, J.M., Droogers, P., 2010. Penman-monteith referentieverdamping: Inventarisatie beschikbaarheid en mogelijkheden tot regionalisatie. STOWA.
- Smolders, A.J.P., van de Riet, B.P., Van Diggelen, J.M.H., Dijk, G. van, Geurts, J.J.M., Lamers, L.P.M., 2019. De toekomst van ons veenweidelandschap-Over vernat-ten, optoppen en veenmosteelt.
- Spieksma, J.F.M., Dolman, A.J., Schouwenaars, J.M., 1996. De parametrisatie van de verdamping van natuurterreinen in hydrologische modellen. *RU Groningen [etc.]*.
- STOWA, 2005. Droogteonderzoek veenkaden; Samenvatting van het onderzoeks-programma en de belangrijkste bevindingen.
- Towler, B.W., Cahoon, J.E., Stein, O.R., 2004. Evapotranspiration crop coefficients for cattail and bulrush. *Journal of Hydrologic Engineering* 9, 235–239.
- van den Akker, J., Hendriks, R., van Delft, B., 2017. De organische veenbasis: afbraakprocessen in relatie tot hydrologie. VBNE, Vereniging van Bos-en Natuurterreineigenaren.
- van den Akker, J.J.H., Jansen, P.C., Querner, E.P., 2011. Huidige en toekomstige watervraag van veengronden in het Groene Hart: verkenning naar het effect van onderwaterdrains. Alterra.

-
- van der Bolt, F.J.E., Bierkens, M.F.P., Kleijer, H., 1999. Beoordeling kwelonderzoek Ketelmeer; onderzoek naar het oorzakelijk verband tussen de in 1997 in de Noordoostpolder opgetreden landbouwschade en de aanleg van het specie-depot IJsselooig in het Ketelmeer. DLO-Staring Centrum.
- Van der Gaast, J.W.J., Massop, H.T.L., Vroon, H.R.J., 2009. Effecten van klimaatverandering op de watervraag in de Nederlandse groene ruimte: analyse van de waterbeschikbaarheid rekeninghoudend met de freatische grondwaterstand. Alterra.
- Van Rotterdam, D., de Pater, J., Verweij, J., 2020. Oeverafkalving in het agrarisch beheerde veenweide; oorzaken en oplossingen.
- Vanderleest, C.P., Bland, W.L., 2016. Evapotranspiration from cranberry compared with the equilibrium rate. *Canadian Journal of Soil Science* 97, 5–10.
- Wösten, J.H.M., Veerman, G.J., Groot, W.J.M. de, Stolte, J., 2001. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks (Alterra-rapport No. 153). Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, The Netherlands.

BIJLAGE A

TAB A.1 MAATREGELEN

Maatregelen die binnen het NOBV worden onderzocht, zijn grijs gekleurd.

Vernatting / waterinfiltratie	Algemene omschrijving	Door vernatting van veen wordt de indringing van zuurstof en daarmee de veenafbraak door <i>aërobe bacteriën</i> beperkt. Deze maatregelen kunnen worden toegepast bij grasland voor melkveehouderij als grondgebruik. Vernatting zorgt voor een toename van de watervraag.
	Onderwaterdrainage	Door de slechte doorlatendheid van veen is de grondwaterstand over het algemeen niet gelijk aan het slootpeil, maar lager in de zomer (door minder neerslag en evapotranspiratie) en hoger in de winter (door neerslagoverschot en lagere evapotranspiratie). Drainagebuizen om de 4 à 6 meter op ca -20cm beneden het slootpeil zorgen ervoor dat de uitwisseling van water tussen perceel en bodem verbetert. Hierdoor zakt de grondwaterstand 's zomers minder uit en neemt de oxidatie van veen af. 's Winters draineren de buizen en blijft de draagkracht van de bodem hoger.
	Drukdrainage	Drukdrainage is een variant op onderwaterdrainage, waarbij de drains van een perceel worden aangesloten op een put waar water in- en uitgepompt kan worden. Net als bij een watertoren zorgt dit voor wat extra druk voor infiltratie of onderdruk voor ontwatering. Hierdoor kan de grondwaterstand actief gestuurd worden, onafhankelijk van het slootpeil. Anders dan bij gewone onderwaterdrainage zakt de grondwaterstand ook tussen de drains niet meer uit.
	Slootpeilverhoging (als losse maatregel of als versterking van het effect van onderwaterdrainage)	Verhoging van het slootpeil zorgt ervoor dat ook de grondwaterstand verhoogd wordt, al wordt de mate van uitzakken (op het perceel) in de zomer niet voorkomen. Een hoger slootpeil verhoogt ook de hoeveelheid water die het perceel in stroomt door onderwaterdrains en kan zo de werking daarvan verbeteren.
	Hoog zomerpeil	Verhoging van het zomerpeil zorgt ervoor dat het grondwater in de percelen in de zomer hoger staat. De verwachting is dat in de zomer de hoogste emissies plaats vinden. Hoger zomerpeil kan gecombineerd worden met greppel-infiltratie.
	Greppel-infiltratie	Greppels worden aangelegd tussen sloten, vaak in het midden van het perceel, waar de invloed van de sloten op de grondwaterstand het kleinst is. Greppels worden vanouds gebruikt voor afwatering, maar door de greppelbuizen af te sluiten en er water in te pompen of regenwater in vast te houden vindt vanuit de greppel infiltratie plaats en wordt de grondwaterstand rond de greppel verhoogd. Bij voldoende hoog slootpeil kan het water ook vanuit de sloot de greppel inlopen.
	Bevoeien	De gebruiker laat met behulp van een pomp water uit de sloot over het perceel stromen, waar het van boven in de bodem infiltreert. Hierdoor stijgen het bodemvochtgehalte en de grondwaterstand. Maatregel wordt vooral voor andere doelen gebruikt (bijv. bestrijden muizen) maar heeft dan ook effect op de grondwaterstand.
	Beregenen	Water wordt van bovenaf op het perceel gebracht met een beregeningsinstallatie. Hierdoor worden bodemvochtgehalte en grondwaterpeil aangevuld. Wordt in het veenweidegebied niet of nauwelijks toegepast en dan vooral om droogteschade te voorkomen.
bodemverbetering	Algemene omschrijving	Maatregelen die broeikasgasemissies verder beperken anders dan via vernatting, maar daar wel mee te combineren zijn.
	Klei in veen (vorming klei-humuscomplex)	Door het inbrengen van kleideeltjes in de bodem kan een klei-humuscomplex worden gevormd. Deze klei-humuscomplexen worden minder snel afgebroken dan puur veen. Ze komen ook van nature voor in delen van het veenweidegebied. De maatregel is nog in ontwikkeling, maar wordt al onderzocht. Het gaat om relatief kleine hoeveelheden klei, die over meerdere jaren verspreid ingespoeld of geïnjecteerd worden in de bodem.
	Verzuring en/of verzilting van veen met als doel bacteriële veenafbraak te remmen	Wordt als maatregel nog niet in de praktijk gebracht, maar uit de literatuur blijkt dat verzilte bodems minder snel afbreken.
	Dieper inbrengen van het profiel bij de organische laag van moerige gronden en ondiepe veengronden	Door omkeren van het bodemprofiel komt een minder bodemdalingsgevoelige laag boven te liggen, waardoor de veenafbraak zou verminderen. Vooral in Friesland interesse in.

alternatieven voor melkveehouderij	Algemene omschrijving	<i>Bij extreme vernatting om veenaafbraak te remmen wordt melkveehouderij als grondgebruik onmogelijk. Natuurontwikkeling en natte teelten zijn dan een alternatief. De kans op anaërobe afbraak van veen en methaanvorming wordt groter naarmate vernatting sterker is. Bij natte teelten moeten vaak nog toepassingen en ketens voor de afzet worden ontwikkeld. Bij extremere vernatting is ook de watervraag groter.</i>
	Natte natuur	Moerasnatuur heeft hogere (grond)waterstanden en kent daarom minder indringing van zuurstof en daarom minder bodemdaling. Emissie van moerasgas (methaan) blijft wel mogelijk.
	Natte teelten (drijvend): Azolla	Azolla (kroosvaren) is een drijvende waterplant die stikstof bindt uit de luchten eiwitrijk is.
	Natte teelten (in water): lisdodde (groot en klein), riet	Lisdodde en riet zijn gewassen die goed groeien bij grondwaterstanden rond maaiveld. Ze kunnen enige peilfluctuaties hebben. Voor een hoge productie vraagt lisdodde veel nutriënten.
	Natte teelten (gws -10 tot -20cm t.o.v. maaiveld): cranberry, gagel,	Meerdere natte teelten, zoals cranberry en gagel, groeien goed bij grondwaterstanden tussen 10 en 20 cm beneden maaiveld. Bij deze grondwaterstand wordt weinig tot geen oxidatie van veen verwacht, maar zal naar verwachting ook de methaanuitstoot beperkt zijn.
	Natte teelten (peil op maaiveld vereist, regenwater): veenmos	Veenmos kan aangroeiën wanneer het grondwater aan maaiveld staat. De plant kan zich ontwikkelen wanneer nutriëntengehaltes erg laag zijn. Hiervoor is aanvoer van regenwater nodig. Veenmos is onder andere geschikt als substraat.
aanvullende maatregelen melkveehouderij/aanpassing aan vernatting	Natte teelten ter uitmijning van nutriënten als voorfase van natuurontwikkeling.	Sommige gewassen nemen veel nutriënten op en houden deze vast. Dit geldt bijvoorbeeld voor lisdodde, die groeit bij hoge waterstanden. Als deze gewassen vervolgens worden geoogst, neemt het nutriëntengehalte in de bodem af, wat voor sommige natuurdoeltypen gewenst is. Er is dan een aantal jaren nog enige (teruglopende) productie.
	Algemene omschrijving	<i>Maatregelen die broeikasgasemissies verder beperken of hogere grondwaterstanden binnen een rendabele bedrijfsvoering mogelijk maken</i>
	Extensivering van de landbouw, eventueel natuurinclusief	Bij vernatting neemt de draagkracht van de bodem in het algemeen af. Een minder grote belasting van de bodem door een lagere veedichtheid per hectare maakt dit minder problematisch. Daarnaast kan de hogere waterstand samen met de extensivering zorgen voor meer biodiversiteit.
	Gedeeltelijke drooglegging	Een deel van het perceel behoudt een zekere drooglegging en blijft in gebruik voor weidegang. Een ander deel wordt verder vermat en biedt mogelijkheden voor alternatief gebruik of als land waar niet wordt beweïd, maar wel in een drogere periode gras geoogst kan worden. Zo wordt de veenaafbraak nog verder beperkt.
	Geschiktere veerassen	Lichtere veerassen hebben wellicht een minder draagkrachtige bodem nodig dan traditionele rassen. Daardoor zou een nog hogere grondwaterstand mogelijk zijn.
	Aangepaste bemesting	De bemesting kan zo worden aangepast dat de biochemische processen in de bodem veranderen. Vooral het broeikasgas lachgas blijkt sterk afhankelijk van de hoeveelheid stikstofverbindingen in de bodem. De relatie tussen hoeveelheid, soort en moment van bemesting en de veenaafbraak wordt onderzocht.
kruidenrijk grasland	Een kruidenrijk grasland realiseren door beheer, inzaaien en/of vernatting. Dit draagt bij aan een grotere biodiversiteit. De verwachting is dat een meer gevarieerd grasland een grotere draagkracht heeft, waardoor hogere grondwaterstanden mogelijk zijn. Bij een proef met inzaaien van smalle weegbree is aangetoond dat de emissie van lachgas vermindert.	

Aanpassingen aan het watersysteem	Algemene omschrijving	<i>Maatregelen die de werking van andere maatregelen versterken, de nadelen daarvan (toenemende watervraag, minder bergingscapaciteit in de bodem) en/of extremen in neerslag en droogte beter helpen opvangen.</i>
	flexibel peil	In plaats van vaste zomer- en winterpeilen wordt bij flexibel peilbeheer een bereik van waterpeilen toegestaan, waarbinnen variatie mogelijk is. Een lager slootpeil in droge periodes kan de bodemdaling versterken. Bij drukdrainage wordt de grondwaterstand onafhankelijk van het slootpeil geregeld en is dat risico er niet. Ook is met drukdrainage bij hevige neerslag een veel hoger slootpeil mogelijk met behoud van voldoende droogte in het land, zodat de bergingscapaciteit toeneemt. Hiermee kan de toenemende watervraag bij waterinfiltratie worden tegengegaan.
	dynamisch peil	Bij dynamisch peil wordt actief gestuurd op het slootpeil. De werking van onderwaterdrainage wordt versterkt worden door in droge periodes het slootpeil verder op te zetten, wat ook gunstig is voor de grasgroei. Ook kan dynamisch peilbeheer waterbeheerders helpen in te spelen op (verwachte) periodes van droogte of hevige regenval.
	Kennis van historische watersystemen	Studie van historische waterlopen kan informatie opleveren die helpt om het watersysteem zo aan te passen dat vernatting en waterberging beter mogelijk worden.
	veenweidensloot van de toekomst	Een ander profiel en een ander beheer van de veenweidensloot gericht op het voorkomen van afkalving en baggervorming, het vergroten van het waterbergend vermogen en het versterken van de biodiversiteit bij dynamisch of flexibel peilbeheer.

BIJLAGE B

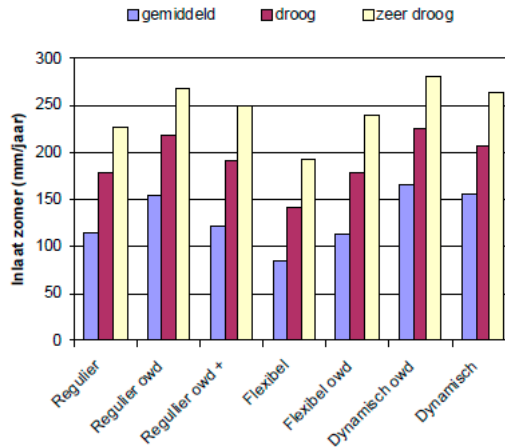
MODEL EN PILOTSTUDIES NAAR DE WATERVRAAG

Er is slechts op een aantal locaties aan de watervraag van maatregelen gemeten. In een aantal studies zijn deze metingen gebruikt om een model te kalibreren en hier scenario's mee door te rekenen. Hieronder staat een selectie van relevante pilots en studies, op chronologische volgorde:

B.1 Onderwaterdrains in het veenweidegebied en de gevolgen voor de inlaatbehoefte, de afvoer van oppervlaktewater en voor de maaiveldvaling (Jansen *et al.*, 2009)

- Locatie: Groene Hart, polder Zegveld
- Model of metingen? Modelstudie met model SIMGRO en SIMWAT. Geen metingen aan watervraag.
- Maatregel: onderwaterdrainage met regulier, flexibel en dynamisch peilbeheer. Peil met OWD is 50 cm-mv, zonder OWD 60 cm-mv.
- Schaalrgoote: 1945 ha (46 peilvakken).
- Periode: 1991-2006.
- Hydrologische situatie: wegzijgingsgebied met gemiddelde flux van 0,2 mm/dag. Inlaat polder gemiddeld 2,5-3 mm/dag.
- Resultaten totale watervraag: De hoeveelheid inlaatwater in een zeer droge zomer is bijna het dubbele van een gemiddelde zomer (Figuur B.1). Flexibel peilbeheer met als doel minder water in te laten kan de inlaat over de hele zomerperiode verlagen. Dynamisch peilbeheer met als doel op grondwaterstand en weersverwachting te sturen zorgt voor een hogere watervraag. Onderwaterdrainage in combinatie met regulier peilbeheer leidt tot 35 % (40 mm) extra inlaat in een gemiddelde zomer. Op droge dagen is de maximale inlaat circa 3 mm/d.
- Resultaten 'verandering kwel/wegzijging': Een verhoging van de wegzijgingsflux van 0,2 naar 0,5 mm/d leidt tot substantieel grotere waterinlaat in de zomer (60-80 mm).
- Resultaten 'temporele veranderingen in de waterberging': Een vergroting van het percentage open water (12 naar 20%) zorgt ervoor dat significant minder inlaatwater nodig is.

FIG. B.1 SAMENVATTING VAN RESULTATEN VOOR DE BENODIGDE INLAAT IN DE ZOMER BIJ VERSCHILLENDE SCENARIO'S UIT (JANSEN ET AL., 2009).



B.2 Huidige en toekomstige watervraag van veengronden in het Groene Hart (van den Akker *et al.*, 2011)

- Pilot locatie: polder Zegveld en het Groene Hart
- Model of metingen? Modelstudie met SIMGRO (Vervolgstudie van (Jansen *et al.*, 2009)).
- Maatregel: onderwaterdrainage met regulier peil (50 cm-mv) of flexibel peil (marge van 10 cm rond streefpeil). Zonder OWD is het peil ook 50 cm-mv aangenomen.
- Schaalgrootte: 1945 ha (46 peilvakken).
- Periode: droog jaar 1976, zeer droog jaar 2003, extreem droog jaar 1976 en klimaatscenario's W voor 2050.
- Hydrologische situatie: wegzijgingsgebied met gemiddelde flux van 0,2 mm/dag.
- Resultaten: het verschil in de verdamping in scenario met en zonder onderwaterdrainage kan oplopen tot 43 en 63 mm in een erg droog jaar (1976) voor veen zonder en met kleidek. In de klimaatscenario's neemt dit toe tot 98 en 128 mm respectievelijk (aannahme 40 cm wortelzone).
- Conclusie voor polder Zegveld: 'Onderwaterdrains leiden in de meeste scenario's tot een toename van de watervraag van 10-15%. Flexibel peilbeheer heeft in een gemiddelde zomer ca. 20% minder water nodig dan regulier waterbeheer,

maar dat verschil wordt kleiner bij klimaatverandering en aanzienlijk kleiner in (zeer)droge zomers zoals 1976.' Wanneer voor het gehele Groene Hart OWD wordt toegepast op locaties met wegzijging en geschikte drooglegging is de toename van de watervraag in dit gebied 7% (5 miljoen m³) tot 14%, afhankelijk van klimaatscenario. Meest extreme situatie: In een zomer als 1976 met klimaatscenario W en W+ wordt de watervraag door OWD 9 miljoen m³ groter dan zonder. Flexibel peil kan in droge jaren de watervraag laten afnemen met 5%.

B.3 Pilot Onderwaterdrains Utrecht (Hendriks *et al.*, 2013)

- Pilot locaties: Demmeriksekade, Keulevaart en Krimpenerwaard.
- Model of metingen? Metingen van debieten d.m.v. afdammen van de meetsloot met onderwaterdrains zijn gebruikt om model SWAP te kalibreren. (Meetproblemen met lekkages door damwanden bij Demmeriksekade).
- Maatregel: onderwaterdrainage.
- Schaalgrootte: perceelschaal.
- Meetperiode: 2011-2012.
- Hydrologische situatie: Demmeriksekade-> grote wegzijgingssituatie. Keulevaart: lichte kwelsituatie.
- Resultaten: De debietmetingen zijn gebruikt om het model SWAP te ijken. Op basis van het geijkte model zijn de volgende conclusies getrokken ten aanzien van de waterinfiltratie:
 1. Demmeriksekade: Voor de gekalibreerde periode 2011-2012 neemt de infiltratie van drains toe tot een factor van 110%, afhankelijk van meteorologische omstandigheden. Door de relatief grote wegzijgingssituatie bestaat de totale waterinfiltratie in een droog voorjaar van 2011 voor 2/3 uit een toename in de wegzijgingsflux.

Piekvraag in tijden van droogte: De modelberekeningen voor droge jaren 1976 en 2003 tonen een netto toename van de infiltratie via drains van circa 95 mm, 65% (infiltratie vindt hoofdzakelijk plaats van begin april tot begin september).
 2. Keulevaart: De extra watervraag van onderwaterdrainage is laag doordat er een lichte kwel situatie aanwezig is. Voor de gekalibreerde periode is de extra waterinfiltratie ten opzichte van de referentiesituatie slechts rond 10 mm, een relatieve toename van 28-42% in 2011 en 2012 respectievelijk. Piekvraag in tijden van droogte: De modelberekeningen voor droge jaren 1976 en 2003 tonen een netto toename van de infiltratie via drains van 35 mm, 35%.

-
- Conclusies: 'De drains hebben een groot effect op de infiltratie van slootwater de bodem in en daarmee op de inlaat van water gedurende het/de zeer droge voorjaar en zomer van erg droge jaar 1976. De toename van de infiltratie door drains bedraagt 33-60% in 1976 en de toename van de bruto inlaat 22%-37%. In het iets minder droge jaar 2003 ligt deze toename in dezelfde orde van grootte maar is in absolute termen wat (ca.10 mm) kleiner dan in 1976. De onderrand in de vorm van kwel en wegzijging heeft grote invloed op de extra infiltratie en inlaat bij toepassen van drains: bij wegzijgingsgebied Demmeriksekade is de extra inlaat groter dan bij kwelgebied De Keulevaart.'

B.4 Precieswatermanagement op veenweidegrond met pompgestuurde onderwaterdrains, (Hoving *et al.*, 2018)

- Locatie: KTC Zegveld.
- Model of metingen? Metingen aan pompcapaciteit.
- Maatregel: Pomp gestuurde drainage in combinatie met hoog (20 cm-mv) en laag (55 cm-mv) slootpeil.
- Schaalgrootte: perceelschaal.
- Meetperiode: 22 juni 2016- 22 december 2017 (aantal onderbrekingen in data-reeks).
- Hydrologische situatie: 6,4 m veenpakket. GLG op 50-80 cm-mv. Horizontale doorlatendheid over algemeen 10-20 cm/d.
- Resultaten: Wateraanvoer via het pompsysteem was 2,5 keer groter bij laag slootpeil dan hoog slootpeil. Gemiddeld werd 0,6 en 1,6 mm/d water het perceel in gepompt bij hoog en laag slootpeil respectievelijk. Piekwaardes bij droogte: Maximale waardes waren 2,2 en 6,8 mm/d respectievelijk hoog en laag slootpeil. Rondpompen: Het verschil is te verklaren door terugstromen van water van perceel naar sloot (de GWS staat in de zomer circa 15 cm hoger dan slootpeil bij het lage slootpeil). Aanbeveling om slootpeil op streefpeil of hoger te houden om dit rondpompen te voorkomen.

B.5 Spaarwater Flevoland, 2019

- Locatie: twee pilotpercelen bij Zeewolde en Nagele.
- Model of metingen? Metingen aan in en uitstroom van verzamel drains door middel van flowmeters.
- Maatregel: regelbare drainage met putsysteem.
- Schaalgrootte: perceelschaal.
- Meetperiode: 2017-2019.

- Hydrologische situatie: lichte kwelsituatie, kleidek op veen op zand. Bij Zeewolde: dunne veenlaag (variabele dikte, circa 1 m). Bij Nagele: dikkere veenlaag tot 4 m-mv.
- Door de drainage kan het waterpeil in het perceel goed worden gestuurd. De doorlatendheid van het veen is voldoende groot om ook tussen de drainage de grondwaterstand op te zetten. Belangrijke randvoorwaarde is dat de inzijging in het perceel beperkt is. Bij Nagele was er in eerste instantie sprake van een kwel-situatie die bij extreme peilopzet omslaat in infiltratie. Door de aanwezigheid van een scheidende laag tussen het grote systeem en de ondiepe systeem was voldoende wateraanvoer mogelijk. In Zeewolde is deze scheidende laag minder goed ontwikkeld waardoor de aanvoer van water geen effect had op de ondiepe grondwaterstanden. Het ingelaten water werd door het regionale systeem afgevoerd.

B.6 Effecten van onderwaterdrainage op de regionale watervraag (Rozemeijer *et al.*, 2019)

- Locatie: West-Nederland (Utrecht, Zuid-Holland en Noord-Holland tot Noordzeekanaal).
- Model of metingen? Modelstudie met het Landelijk Hydrologisch Model (LHM)
- Maatregel: Onderwaterdrainage en drukdrainage, met en zonder flexibel peil waarbij dynamisch peil is gericht op waterbesparing (opzet van 10 cm in periodes met dreigend watertekort). Dit is niet de definitie van dynamisch peil zoals gehanteerd in deze studie.
- Schaalgrootte: regio schaal.
- Rekenperiode: 1998-2006 huidig en klimaatscenario's GL en WH.
- Hydrologische situatie: OWD is toegepast in infiltratiegebieden en gebieden met minder dan 100 mm per jaar kwel, met minimale drooglegging 40 cm.
- Resultaten: Gemiddelde toename van de watervraag in de gebieden met minstens 10% geschiktheid voor OWD is 8% (0,09 mm/d). In sommige gebieden is de extra watervraag echter meer dan 20%. Bij drukdrainage is de gemiddelde extra watervraag 36% (0,4 mm/d). In enkele gebieden is dit echter meer dan 80%. Bij toekomstig klimaat is de extra watervraag van OWD circa 0,10 mm/d (iets hoger dan 0,09 mm/d bij huidig klimaat). Piek in extra watervraag in tijden van droogte (juli 2003): 1,25 mm/d (8%) met OWD, 1,57 (36%) bij drukdrainage. Gebruik van peilopzet van 10 cm ter anticipatie op droogte creëert gemiddeld 30 mm water binnen een gebied. Hiermee kan de waterinlaat in droge periodes 1 tot 2 weken gestopt worden.

-
- Let op: bovenstaande zijn gemiddeldes, het onderzoek geeft ook waarden uitgesplitst per waterschap. De gemiddeldes zijn de extra watervraag voor een heel gebied, waarbij slechts een gedeelte van het gebied OWD is toegepast op basis van criteria.

BIJLAGE C

GEWASFACTOREN

TAB C.1 LITERATUUROVERZICHT VERDAMPING VAN LAAGVEENMOERASSEN, UIT (SPIEKSMAN ET AL., 1996)

auteurs	gewas faktor (*) / gewas weerstand	vegetatie	Meetmethode	
Linacre (1970)	f=0.6	Riet	Bowen ratio	Australië
Eisenlohr (1966)	f=0.9		Bowen ratio	USA
Šmid (1975)	f=0.88-1.86	Riet	Bowen ratio/pan	Tjechosl.
Lafleur (1990)	f=0.74 f=0.90	Zegge (droge lokatie) Zegge (natte lokatie)	Bowen ratio	Canada
Lafleur en Roulet (1992)	f=0.77	Zegge	Bowen ratio	Canada
Price (1994)	f=0.97 r _a =31 sm ⁻¹ r _c =74 sm ⁻¹	Lisdodde	Bowen ratio	Canada
Koerselman & Beltman (1988)	f=0.81 f=0.74 f=0.76	Ronde Zegge Moeraszegge, Veenmos Lisdodde	lysimeters	Nederland
Van Wirdum (1991)	f=0.67 f=0.45 f=0.55 f=0.56 f=0.47	Veenmos Polytrichum (mos) Galigaan Scorpidium (mos) Riet	lysimeters	Nederland
Brezny et al. (1973)	f=1.4	Water Hyacint (**)	lysimeter & pan	India
Bernatowicz et al. (1976)	f=1.7-4.0	Riet, Lisdodde, Mattenbies	lysimeter & pan	Polen
DeBusk et al. (1983)	f=0.9 f=1.7	Klein Kroos Water Hyacint ¹	lysimeter & pan	USA
Dolan et al. (1984)	f=0.32-0.71 gem. 0.5	Pijlkruid, Moerashyacint	g ¹ waterfluctuaties lysimeter & pan	USA
Anderson & Idso (1987)	f=0.87 f=1.40	Water Hyacint ¹ (kort) Water Hyacint ¹ (lang)	lysimeter & pan	USA
Snyder & Boyd (1987)	f=1.31-2.52 gem. (1.75) f=1.05-2.50 gem. (1.62)	Water Hyacint ¹ Lisdodde	lysimeter & pan	USA

(*) De gewasfactor f is steeds genomen t.o.v. open water verdamping. Indien in de kolom meetmethoden "pan" meld staat is de open water verdamping direct gemeten, anders is deze berekend met Penman(achtige) formules.

(**) Water Hyacint (*Eichhornia crassipes*) komt in West-Europa niet voor. Geen Nederlandse naam is voorhanden, dat de Amerikaanse benaming is aangehouden.

TAB C.2 SELECTIE VAN GEWASFACTOREN

Selectie van gewasfactoren voor grassen, moerasvegetaties en rijst uit (Allen et al., 1998). De gewasfactoren gelden voor gewassen in een gematigd vochtig klimaat, in afwezigheid van stress, en ten opzichte van de FAO Penman-Monteith referentie verdamping. Voor de gewasfactoren is onderscheid gemaakt in de verschillende groei stadia van het gewas (init, mid en end).

Crop	K_{cini}^1	K_C mid	K_C end	Maximum Crop Height (h) (m)
j. Forages				
Alfalfa Hay				
- averaged cutting effects	0.40	0.95 ¹³	0.90	0.7
- individual cutting periods	0.40 ¹⁴	1.20 ¹⁴	1.15 ¹⁴	0.7
- for seed	0.40	0.50	0.50	0.7
Bermuda hay				
- averaged cutting effects	0.55	1.00 ¹³	0.85	0.35
- Spring crop for seed	0.35	0.90	0.65	0.4
Clover hay, Berseem				
- averaged cutting effects	0.40	0.90 ¹³	0.85	0.6
- individual cutting periods	0.40 ¹⁴	1.15 ¹⁴	1.10 ¹⁴	0.6
Rye Grass hay				
- averaged cutting effects	0.95	1.05	1.00	0.3
Sudan Grass hay (annual)				
- averaged cutting effects	0.50	0.90 ¹⁴	0.85	1.2
- individual cutting periods	0.50 ¹⁴	1.15 ¹⁴	1.10 ¹⁴	1.2
Grazing Pasture				
- Rotated Grazing	0.40	0.85-1.05	0.85	0.15-0.30
- Extensive Grazing	0.30	0.75	0.75	0.10
Turf grass				
- cool season ¹⁵	0.90	0.95	0.95	0.10
- warm season ¹⁵	0.80	0.85	0.85	0.10

o. Wetlands - temperate climate				
Cattails, Bulrushes, killing frost	0.30	1.20	0.30	2
Cattails, Bulrushes, no frost	0.60	1.20	0.60	2
Short Veg., no frost	1.05	1.10	1.10	0.3
Reed Swamp, standing water	1.00	1.20	1.00	1-3
Reed Swamp, moist soil	0.90	1.20	0.70	1-3
p. Special				
Open Water, < 2 m depth or in subhumid climates or tropics		1.05	1.05	
Open Water, > 5 m depth, clear of turbidity, temperate climate		0.6525	1.2525	
i. Cereals				
	0.3	1.15	0.4	
Rice	1.05	1.20	0.90-0.60	1

13 *Deze Kcmid factor is een gemiddelde tussen voor en na het maaimoment.*

14 *Deze Kc factoren staan respectievelijk voor het moment direct na maaien, bij volledige bedekking en direct voor maaien respectievelijk, in plaats van moment van het groeiseizoen.*

VERKLARENDE WOORDENLIJST

Capillaire nalevering	Een opgaande waterstroom van ondiep grondwater richting de wortelzone bij een neerslagtekort. Deze stroming ontstaat door de sponswerking (capillaire werking) van de bodem en is afhankelijk van de grondwaterstand en van de bodemstructuur.
Freatisch grondwater	Water in de ondiepe bodem beneden de grondwaterspiegel. De waterdruk van dit grondwater is gelijk aan de grondwaterstand doordat er geen afsluitende bodemlaag aanwezig is om een over of onderdruk te creëren.
Zuigspanning	Absolute waarde van de drukhoogte van het bodemvocht boven het grondwater. De zuigspanning loopt op naarmate de bodem verder uitdroogt. Er is dan ook een verband tussen de zuigspanning en het bodemvochtgehalte in de bodem welke afhankelijk is van de bodemstructuur.
Kwel	Opgaande grondwaterstroming. Grondwater stroomt hierbij onder druk vanuit het diepere grondwatersysteem naar de ondiepe bodem en oppervlaktewater.
wegzijging	Neergaande grondwaterstroming. Grondwater in de ondiepe bodem stroomt onder druk omlaag naar het diepere grondwatersysteem.
Verzadigde doorlatendheid	Maat voor de snelheid waarmee grondwater door een verzadigde bodem kan stromen.
Transpiratie	Verdamping door planten of vegetatie via de huidmondjes.
Hydrofobie	Waterafstotendheid. Een hydrofobe bodem is moeilijk te vernatten.

Waterretentie	Watervasthoudende vermogen van de bodem boven het grondwater.
Bodemfysische eigenschappen	Fysische eigenschappen van de bodem, zoals de verzadigde en onverzadigde doorlatendheid en waterretentie.
Verdichting	Samendrukken van de bodem waardoor de bodemstructuur verandert en bodemdeeltjes dichter op elkaar komen te liggen. Ook wel compactie genoemd.
Verweking	Verlies van de bodemstructuur door het wegvallen van korrelspanning bij langdurige vernatting.
Macro poriën	Grote open ruimtes (poriën) in de bodem (>75 µm) die bijvoorbeeld ontstaan door scheuren, plantenwortels, bodemleven etc. Water kan snel door deze structuren stromen, daarmee verhogen ze de bodemdoorlatendheid.
Preferente stroombanen	Stroombanen in de bodem waar water geconcentreerd doorheen kan stromen door de goede doorlatendheid (bijv. bij macro-poriën).

STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' - de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft - om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken.

De grote onderzoeklijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en hetzelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

 **STOWA**

Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

Bezoekadres

Stationsplein 89, vierde etage
3818 LE Amersfoort

t. 033 460 32 00
e. stowa@stowa.nl
i. www.stowa.nl

COLOFON

Amersfoort, mei 2021

Uitgave

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 cd Amersfoort

Tekst

Frouke Hoogland met medewerking van Arjen Roelandse en Jouke Velstra (Acacia Water).

Begeleidingscommissie

Wouter Berkhout (Provincie Overijssel), Niek Bosma (Wetterskip Fryslân), Joost Buntsma (STOWA), Pui Mee Chan (STOWA), Gilles Erkens (Deltares), Robert Jan Fontein (Provincie Overijssel), Francis de Graaf (Waterschap Drents Overijsselse Delta), Jantine Hoekstra (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden), Erik Jansen (STOWA), Harm de Jong (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden), Niel de Jong (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier), Linda Kuil (Waterschap Drents Overijsselse Delta), Hans Mankor (Provincie Utrecht), Anne Marieke Motelica (Waterschap Amstel, Gooi en Vecht), Chris van Naarden (Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit), Martijn Näring (Hoogheemraadschap van Delfland), Tim Pelsma (Waterschap Amstel, Gooi en Vecht), Paule Schaap (Provincie Fryslân), Jan Strijker (Provincie Zuid-Holland)

Opdrachtgevers

Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en STOWA

Vormgeving Vormgeving Studio B, Utrecht

Afbeeldingen iStock, Louis Bolk Instituut (pag. 42)

STOWA 2021-23A

ISBN 978.90.5773.932.3

Copyright

De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

Disclaimer

Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

stowa

STICHTING
TOEGEPAST ONDERZOEK WATERBEHEER

stowa@stowa.nl www.stowa.nl

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE AMERSFOORT

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

