

# Een meer natuurlijk peilbeheer: relaties tussen geohydrologie, ecosysteemdynamiek en Natura 2000

## ***Rapportage Fase 1: Een kennisoverzicht op verschillende schaalniveaus voor het Nederlands laagveen- en zeekleigebied***

I.S. Mettrop  
R. Loeb  
L.P.M. Lamers  
A.M. Kooijman  
D.G. Cirkel  
N.G. Jaarsma



Ministerie van Economische Zaken



UNIVERSITEIT VAN AMSTERDAM



Radboud Universiteit Nijmegen



© 2012 Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie

Rapport nr. 2012/OBN165-LZ  
Den Haag, 2012

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie.

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij het Bosschap onder vermelding van code 2012/OBN165-LZ en het aantal exemplaren.

Oplage 150 exemplaren

Samenstelling Ivan S. Mettrop (red.), Universiteit van Amsterdam  
Roos Loeb, Onderzoekcentrum B-Ware  
Leon P.M. Lamers, Onderzoekcentrum B-Ware/RUN  
Annemieke M. Kooijman, Universiteit van Amsterdam  
Gijsbert Cirkel, KWR  
Nico G. Jaarsma, Witteveen & Bos

Druk Ministerie van EL&I, directie IFZ/Bedrijfsuitgeverij

Productie Bosschap, bedrijfsschap voor bos en natuur  
Bezoekadres : Princenhof Park 9, Driebergen  
Postadres : Postbus 65, 3970 AB Driebergen  
Telefoon : 030 693 01 30  
Fax : 030 693 36 21  
E-mail : algemeen@bosschap.nl

# Voorwoord

Het doel van het Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (O+BN) is het ontwikkelen, verspreiden en benutten van kennis voor terreinbeheerders over natuurherstel, Natura 2000, leefgebiedenbenadering en ontwikkeling van nieuwe natuur.

In het kader van Natura 2000 worden in Europees perspectief zeldzame soorten en zeldzame vegetatietypen in Nederland beschermd. Daarnaast zijn er doelstellingen geformuleerd omtrent de waterkwaliteit. In 2015 moeten de Nederlandse wateren voldoen aan de eisen van de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW). Oevervegetaties spelen een belangrijke rol in de Nederlandse uitwerking van KRW. Er is steeds meer aandacht voor het weghalen van beschoeiingen en het laten ontstaan van oevers met moerasbegroeiingen ten gunste van de waterkwaliteit. Het grootste knelpunt in laagveengebieden is het uitblijven van verlanding. Een van die essentiële schakels hierin zou fluctuatie in het waterpeil kunnen zijn. Gericht dynamisch peilbeheer kan een zeer positieve uitwerking hebben op de totstandkoming van verschillende verlandingsstadia die ten grondslag liggen aan de ontwikkeling van oevervegetatie en trilvenen. Met het oog op Natura 2000-doeleinden is nader onderzoek op het gebied van een meer natuurlijk peilbeheer aldus zeer gewenst.

Momenteel is er veel aandacht voor alternatieve vormen van peilbeheer, zowel vanuit het natuurbeheer als vanuit het waterbeheer. De gereguleerde hydrologie en het daarmee samenhangende rigide waterpeil worden vaak gezien als knelpunt voor succesvol beheer en ontwikkeling van natuur. Een meer natuurlijk waterpeil zou oplossing kunnen bieden. Het ontbreekt momenteel echter aan de noodzakelijke kennis om de effecten goed te kunnen inschatten. Aldus is er behoefte aan bundeling van kennis en nader onderzoek op het vlak van een meer natuurlijk peilbeheer.

Het doel van deze studie is om de bestaande kennis met betrekking tot de voor- en nadelen van een meer natuurlijk peilbeheer voor de natuurkwaliteit, binnen de in Natura 2000 genoemde habitattypen van laagveen- en zeekleilandschappen, op een heldere wijze in beeld te brengen. Dit is nodig om een goede afweging te kunnen maken voor beheer en beleid in de praktijk.

In het voorliggende rapport wordt vanaf hoofdstuk 6 per regionale landschaps-eenheid inzichtelijk gemaakt wat de kansen en knelpunten zijn van een meer natuurlijk peilbeheer voor o.a. de flora en fauna.

Ik wens u veel leesplezier.

Drs. E.H.T.M. Nijpels  
Voorzitter Bosschap





# Dankwoord

Hartelijk worden alle onderzoekers, natuur- en waterbeheerders en andere deskundigen die hebben bijgedragen aan dit rapport bedankt voor hun betrokkenheid, kennisoverdracht en interesse. Specifiek willen we hier noemen: Casper Cusell (UvA en RUN); Geert Kooijman (Staatsbosbeheer); Boudewijn Beltman (Universiteit Utrecht); Winnie Rip (Waternet); Liesbeth Bakker (NIOO-KNAW); Judith Sarneel (NIOO-KNAW); Johan Loermans (B-Ware); Han Runhaar (KWR); Martin de Haan (KWR); Geert van Wirdum (Deltares); Wiebe Borren (Deltares); Niels Hogeweg (Landschap Noord-Holland); Hans Breeveld (Staatsbosbeheer); Berco Hoegen (Staatsbosbeheer); Nicko Straathof (Natuurmonumenten); Annemieke Ouwehand (Natuurmonumenten); Martijn van Schie (Natuurmonumenten); Noemi von Meijenfildt (Witteveen & Bos); Henk Hut (Staatsbosbeheer); Hanneke den Held; Marc Schmitz en de leden van het Nederlands OBN Deskundigenteam Laagveen- en Zeekleilandschap.

# Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	2
1 Inleiding	7
1.1 Doel van het onderzoek	8
1.2 Aansluiting bij lopende projecten	8
1.3 Leeswijzer	9
2 Theoretisch kader	11
2.1 Representatieve regionale landschapseenheden	12
2.2 Inzicht in abiotische en biotische processen	14
2.3 Peilbeheer in historisch perspectief	16
2.3.1 Historie van het peilbeheer	16
2.3.2 Vervening en natuurgebieden	18
2.4 Vormen van peilbeheer	19
2.4.1 Gereguleerde waterpeilen	19
2.4.2 Een meer natuurlijk peilbeheer	20
2.5 Klimaat en klimaatverandering	21
3 Relevante processen en factoren op landschapsniveau	23
3.1 Historische ontwikkelingen in het landschap	23
3.1.1 Ontwikkeling van laag-Nederland	23
3.1.2 Vorming Noordzeebekken	23
3.1.3 Vorming van veengebieden	24
3.2 (Geo)hydrologie	25
3.2.1 Kwel en wegzijging	25
3.2.2 Stijghoogteverschillen	26
3.2.3 Weerstandbiedende lagen	27
3.2.4 Stromingsmechanismen	28
3.3 (Grond)waterkwaliteit	29
4 Relevante processen en factoren op gebiedsniveau	33
4.1 Water- en stofstromen	33
4.1.1 Kwelfluxen, neerslaglenzen en oppervlakkige afstroming	33
4.1.2 Drainage en infiltratie	39
4.1.3 Inundatie	41
4.1.4 In- en uitlaat van oppervlaktewater in relatie tot peilbeheer	41

4.2	Oppervlaktewaterkwaliteit en peilbeheer	42
4.2.1	Nutriëntenbelasting en peilbeheer	43
4.2.2	Overige samenstelling van het ingelaten oppervlaktewater	45
4.2.3	Verblijftijd	46
4.2.4	Moerasontwikkeling en vloedvlaktes	47
4.3	Peilbeheer en bodemdaling	48
4.4	Praktische/maatschappelijke aspecten	49
5	Relevante processen en factoren op standplaatsniveau	51
5.1	Relevante N 2000 habitattypen en soorten	51
5.1.1	H3140; Kranswierwateren	51
5.1.2	H3150; Meren met krabbenscheer en fonteinkruiden	52
5.1.3	H7210; Galigaanmoerassen	53
5.1.4	H7140 (A&B); Overgangs- en trilvenen (trilvenen en veenmosrietlanden)	53
5.1.5	H6410; Blauwgraslanden	55
5.1.6	H4010B; Vochtige heiden, laagveengebied (moerasheiden)	56
5.1.7	H1330B; Schorren en zilte graslanden (binnendijks)	57
5.1.8	H6430(A&B); Ruigten en zomen	58
5.1.9	H91D0; Hoogveenbossen	59
5.2	(Grond)waterstand als standplaatsfactor	59
5.2.1	Beschikbaarheid van zuurstof en water	59
5.2.2	Peilverhoging	61
5.2.3	Peilverlaging	64
5.2.4	Wisselend waterpeil	67
5.3	Biogeochemische processen	68
5.3.1	Biogeochemische processen bij peilverhoging	68
5.3.2	Biogeochemische processen bij peilverlaging	71
5.3.3	Biogeochemische processen bij wisselend peil	73
5.4	Effecten op fauna	73
5.4.1	Effecten van hoger peil op fauna	73
5.4.2	Effecten van lager peil op fauna	76
5.4.3	Effecten van een wisselend peil op fauna	77
6	Regionale landschapseenheid 1	79
6.1	Regio omschrijving	79
6.2	Hydrologie, waterkwaliteit en peilregime	79
6.3	Huidige natuurwaarden	81
6.4	Knelpunten/kansen	83
7	Regionale landschapseenheid 2	85
7.1	Regio beschrijving	85
7.2	Hydrologie, waterkwaliteit en peilregime	86
7.3	Huidige natuurwaarden	89
7.4	Knelpunten/kansen	90

8	Regionale landschapseenheid 3	93
8.1	Regio omschrijving	93
8.2	Hydrologie, waterkwaliteit en peilregime	93
8.3	Huidige natuurwaarden	94
8.4	Knelpunten/kansen	96
9	Regionale landschapseenheid 4	99
9.1	Regio beschrijving	99
9.2	Hydrologie, waterkwaliteit en peilregime	99
9.3	Huidige natuurwaarden	101
9.4	Knelpunten/kansen	102
10	Regionale landschapseenheid 5	105
10.1	Regio beschrijving	105
10.2	Hydrologie, waterkwaliteit en peilregime	105
10.3	Huidige natuurwaarden	107
10.4	Knelpunten/kansen	109
11	Regionale landschapseenheid 6	113
11.1	Regio beschrijving	113
11.2	Hydrologie, waterkwaliteit en peilregime	113
11.3	Huidige natuurwaarden	114
11.4	Knelpunten en kansen	115
12	Regionale landschapseenheid 7	117
12.1	Regio beschrijving	117
12.2	Hydrologie, waterkwaliteit en peilregime	117
12.3	Huidige natuurwaarden	117
12.4	Knelpunten/kansen	118
13	Synthese, discussie en kennisleemten	119
13.1	Natuurlijk peilbeheer als maatregel?	119
13.1.1	Mogelijke voor- en nadelen samengevat	119
13.1.2	Wanneer toepassen?	122
13.2	Kennisleemten en voorgesteld nader onderzoek	126
13.2.1	PVEW nader onderzoek (fase 2)	126
14	Management summary	133

14.1	Can fluctuating water levels serve as an ecological restoration measure?	133
14.1.1	Summary of possible advantages and disadvantages	133
14.1.2	When should we apply fluctuating water levels?	136
	Referenties	139



# 1 Inleiding

Dit kennisoverzicht 'Een meer natuurlijk peilbeheer: relaties tussen geohydrologie, ecosysteemdynamiek en Natura 2000' is opgesteld in opdracht van de Directie Kennis (Ministerie van LNV/ELI) in het kader van het kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (OBN). Naast systeemherstel door middel van de regeling Effectgerichte Maatregelen (EGM) heeft het OBN-netwerk als taken de ondersteuning van de implementatie van Natura 2000, inrichting van nieuwe natuurgebieden en het soortenbeleid. Kennisnetwerk OBN heeft per landschapstype een deskundigenteam (DT) als fundament. Dit kennisdocument is tot stand gekomen in opdracht en onder begeleiding van het Deskundigenteam Laagveen- en Zeekleilandschap. De Europese Unie heeft in het verlengde van de Vogelrichtlijn en de Habitatrichtlijn een netwerk gerealiseerd van natuurgebieden van Europees belang: Natura 2000. Dit netwerk heeft als doelstelling het waarborgen van de biodiversiteit in Europa (Ministerie van LNV, 2006). In dit kader worden niet alleen in nationaal, maar ook in Europees perspectief zeldzame soorten en vegetatietypen in Nederland beschermd. Daarnaast zijn er doelstellingen geformuleerd omtrent de waterkwaliteit. In 2015 moeten de Nederlandse wateren voldoen aan de eisen van de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW). Bij het bedenken en uitvoeren van het waterbeheer moeten de waterbeheerders hier dus rekening mee houden, ook als de natuurbescherming niet expliciet deel uitmaakt van de ontwerpeisen. Oevervegetaties spelen een belangrijke rol in de Nederlandse uitwerking van de KRW. De oever is in de KRW voor de meren gedefinieerd als de zone tussen gemiddeld hoog en gemiddeld laag water, dus precies de zone waar moerassen of oeverbegroeiingen met helofyten doorgaans voorkomen. Er is steeds meer aandacht voor het weghalen van beschoeiingen en het laten ontstaan van oevers met moerasbegroeiingen ten gunste van de waterkwaliteit. Hoewel de KRW wordt ingezet voor het nemen van maatregelen, blijft de belangrijke vraag bestaan of deze maatregelen ook voldoende zijn voor het halen van de Natura 2000-doelen (Beltman et al., 2008). Ondanks alle maatregelen gebaseerd op de Kaderrichtlijn Water is het grootste knelpunt in laagveengebieden het uit- of achterblijven van verlanding (Lamers et al., 2006; Lamers et al., 2010) in relatie tot de grote hoeveelheid open water die onder meer door menselijke ingrepen nu aanwezig is en die deels zelfs bestaande verlandingszones heeft gereduceerd. Een van de middelen om hier iets aan te doen zou aanpassing van de fluctuatie in het waterregime kunnen zijn. Een meer natuurlijk peilbeheer is om die reden als één van de speerpunten opgenomen in het OBN preadvies Laagveen en Zeekleilandschap (Antheunisse et al., 2008). Gericht dynamisch peilbeheer kan een zeer positieve uitwerking hebben op de totstandkoming van verschillende verlandingsstadia die ten grondslag liggen aan de ontwikkeling van oevervegetatie (Lamers et al., 2002) en met het oog op Natura 2000-doeleinden is nader onderzoek op het gebied van een meer natuurlijk peilbeheer aldus zeer gewenst.

Binnen het OBN-onderzoek naar de rol van een meer natuurlijk peilbeheer heeft een consortium van Witteveen & Bos (trekker), Universiteit van

Amsterdam, B-Ware / Radboud Universiteit Nijmegen en KWR Watercycle Research Institute in opdracht van het ministerie van Economische Zaken, Landbouw & Innovatie (EL&I) een studie uitgevoerd naar zowel de positieve als de negatieve effecten van een meer natuurlijk peilbeheer, met het oog op de realisatie van Natura 2000- en KRW-doelen in het Nederlands laagveen- en zeekleilandschap. Deze rapportage vormt de eerste fase van het onderzoeksprogramma.

Tabel 1.1; De samenstelling van het projectteam.

Naam	Organisatie	Deskundigheid, rol in het project
ir. N.G. Jaarsma	Witteveen & Bos	Aquatisch ecooloog, projectleiding
mw. dr. A.M. Kooijman	Universiteit van Amsterdam	Landschapsecoloog, kwaliteitsborging UvA
drs. I.S. Mettrop	Universiteit van Amsterdam	Fysisch geograaf, junior onderzoeker
mw. dr. ir. R. Loeb	Onderzoekcentrum B-Ware	Biogeochemicus
dr. L.P.M. Lamers	Onderzoekcentrum B-Ware/RUN	Biogeochemicus/kwaliteitsborging B-ware
ir. D.G. Cirkel	KWR	(Geo)hydroloog

## 1.1 Doel van het onderzoek

Het hoofddoel van dit onderzoek is om de voor- en nadelen van een meer natuurlijk peilbeheer voor de natuurkwaliteit van laagveen- en zeekleilandschappen op een heldere en onderbouwde wijze in beeld te brengen. Dit is nodig om een goede afweging te kunnen maken voor beheer en beleid in de praktijk. In aansluiting op de verbreding van OBN zoals aangegeven in het Preadvies Laagveen- en Zeekleilandschap (Antheunisse et al., 2008) is er specifieke aandacht besteed aan relevante processen en factoren op verschillende schaalniveaus, te weten op landschapsniveau, op gebiedsniveau en op standplaatsniveau. De belangrijkste doelstellingen van het onderzoek kunnen worden samengevat als:

- 1) Het opstellen van een overzicht van beschikbare kennis en ervaring over zowel positieve als negatieve effecten van een meer natuurlijk peilbeheer op de binnen Natura 2000 genoemde habitattypen in het laagveen- en zeekleilandschap, met inachtneming van de verschillende schaalniveaus;
- 2) Een eerste uitwerking van de aandachtspunten en richtlijnen voor een optimaal peilbeheer met het oog op natuurbescherming en optimale ruimtelijke inrichting;
- 3) Uitwerking van een voorstel voor de tweede onderzoeksfase, met een overzicht van kennisleemten, concrete onderzoeksvragen en aanbevelingen voor locaties.

## 1.2 Aansluiting bij lopende projecten

Gedurende deze studie zal expliciet worden aangesloten bij reeds lopende initiatieven op het gebied van peilbeheer en ecologie. Dit zijn:

- 1) 'Flexibel peil, van denken naar doen'. Dit is een onderzoeksprogramma naar de mogelijkheden van flexibel peilbeheer als maatregel ter verbetering van de waterkwaliteit en bevordering van de oevervegetatie en verlanding. Het project Flexibel Peil is een project waarin Waternet, Deltares, NIOO, Onderzoekcentrum B-ware, STOWA, Natuurmonumenten, Staatsbosbeheer, Landschap Noord-Holland, Wetterskip Fryslan en Witteveen+Bos onderzoeken of een flexibeler peilbeheer, conform eerder door Waternet besloten peilregimes, bijdraagt aan het halen van KRW-doelstellingen. Hiertoe worden op verschillende locaties peilexperimenten uitgevoerd. De ecologische toestand met fluctuatie wordt vervolgens vergeleken met referentiewateren



waar geen flexibel peil is gehanteerd. Het project wordt gesubsidieerd door het Innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water.

- 2) 'Tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel'. In dit project wordt onderzocht of het eenmalig tijdelijk laten droogvallen van meren kan zorgen voor een betere ecologische toestand van deze meren. De gedachte hierachter is dat bij droogval fosfaat aan de bodem wordt gebonden en dat droogval de kieming van zowel ondergedoken waterplanten als van helofyten stimuleert. Hierdoor kunnen meren na droogval helderder zijn en meer waterplanten herbergen dan voor de droogval. Het onderzoek wordt uitgevoerd door STOWA, Witteveen & Bos, Onderzoekcentrum B-ware, Staatsbosbeheer, Waterschap Hunze+Aa's en Wetterskip Fryslan. Het project wordt gesubsidieerd door het Innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water.
- 3) 'OBN-onderzoek: Pilot-studie naar de voor- en nadelen van peilfluctuatie voor het behoud en herstel van trilvenen'. In dit onderzoek onderzoeken de Universiteit van Amsterdam en de Radboud Universiteit Nijmegen met medewerking van Deltares wat de effecten zijn van een grotere peilfluctuatie op trilvenen. Trilvenen vormen een kwetsbaar en sterk bedreigd habitatype, waarvan nog niet goed bekend is of zij juist zullen profiteren van een flexibeler peil (minder inlaat van vervuild en nutriëntenrijk water tijdens een lager peil in de zomer en verhoging van de buffercapaciteit bij een hoger peil in de winter) of juist nadeel ondervinden (sterker vasthouden van vervuild landbouwwater uit de omliggende polders bij een hoger waterpeil in de winter) (Cusell et al., 2012).

### **1.3 Leeswijzer**

De hoofdstukken 2 tot en met 5 en hebben betrekking op algemeen geldende processen en aspecten die samenhangen met een meer natuurlijk peilbeheer. Hoofdstuk 2 vormt het theoretisch kader van de studie. Hierin worden de effecten van peilbeheer op de verschillende fysisch-chemische en ecologische processen in het kort beschouwd en wordt de samenhang op verschillende schaalniveaus inzichtelijk gemaakt. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op relevante processen en factoren op landschapsschaal, in hoofdstuk 4 op gebiedsschaal en in hoofdstuk 5 op standplaatsniveau.

In de hoofdstukken 6 tot en met 12 worden concrete 'casestudies' behandeld. Deze casestudies dienen ter illustratie voor het gebiedsspecifieke karakter van het onderwerp. In aparte hoofdstukken worden de verschillende relevante regionale landschapseenheden behandeld met het oog op optimaal peilbeheer als middel voor realisatie van Natura 2000- en KRW-doelen. Per eenheid wordt een overzicht gegeven van relevante Natura 2000 gebieden en deze specifieke gebieden worden behandeld als voorbeeldgebieden.

Ten slotte worden in hoofdstuk 13 de belangrijkste conclusies van het onderzoek uiteen gezet en bediscussieerd, in relatie tot de directe betekenis voor natuurbeheer en worden kennisleemten en onbeantwoorde onderzoeksvragen geformuleerd met het oog op nader gewenst onderzoek.



## 2 Theoretisch kader

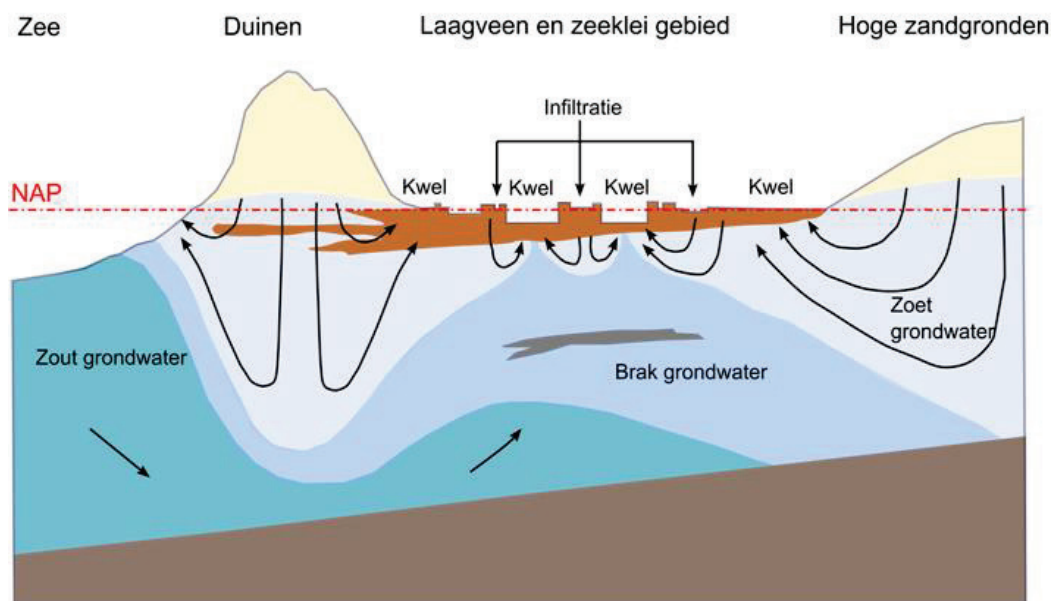
Het Nederlands laagveen- en zeekleilandschap is een omvangrijk gebied, gekenmerkt door een hoge soortenrijkdom aan planten en dieren (Stortelder et al., 2005). De hydrologie op verschillende schalen wordt in hoge mate beïnvloed door menselijke ingrepen, onder andere door middel van peilbeheer. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de verschillen tussen regio's binnen het laagveen- en zeekleilandschap die relevant zijn bij het bepalen van de effecten van peilbeheer. Belangrijk zijn vooral verschillen in kwel/wegzijging, aan- en afvoer van oppervlaktewater, bodemtype en grondwaterkwaliteit. Op basis van deze factoren kunnen verschillende regionale landschapseenheden worden onderscheiden. Om de effecten in de verschillende landschapseenheden te kunnen duiden is het nodig om de relevante (abiotische en biotische) processen te kennen die daarbij een sturende rol spelen.



*Figuur 2.1; Het laagveen- en zeekleilandschap als aandeel van het totale oppervlak van Nederland.*

## 2.1 Representatieve regionale landschapseenheden

In de effecten van peilbeheer is een duidelijke hiërarchie te onderscheiden waarbij het geohydrologische systeem op landschapsschaal bepalend is voor de effecten op gebieds- en standplaatsniveau. Het laagveen- en zeeleilandschap beslaat grofweg één derde van het oppervlak van Nederland (figuur 2.1). Binnen deze twee eenheden is een zeer grote variatie in geohydrologische, hydrochemische en bodemkundige eigenschappen aanwezig. Om tot een gedegen analyse van de effecten van verschillende vormen van peilbeheer te komen moet deze variatie nader worden gestructureerd. Het is namelijk aannemelijk dat een bepaald peilregime in de ene regio anders uitpakt dan in een andere regio. Peilbeheer beïnvloedt immers niet alleen de aan- en afvoer van water, die per regio kan verschillen, maar ook de afwisseling van natte en droge condities, de vorming van neerslaglenzen en het vrijkomen of de binding van nutriënten. Het kan uitmaken of er veel kwel van ijzerrijk water is (geweest), of dat er vooral sprake is van aanvoer van kalkrijk, maar ijzerarm oppervlaktewater. Bovendien kan, als er veel ijzer en sulfide voor oxidatie aanwezig is, verlaging van het waterpeil in de zomer op zichzelf al leiden tot verzuring. Dit is bijvoorbeeld het geval in bodems met katteklei (pyrietrijke klei) die in het zeeleigebied aanwezig zijn. In het Noord-Hollandse laagveengebied is er brak grondwater op geringe diepte aanwezig. Veranderingen in peilbeheer zullen afhankelijk van de regionale ligging ook effect hebben op het al dan niet opkwellen van dit brakke grondwater, dat daarnaast ook rijk is aan sulfaat en fosfaat (figuur 2.2). Hierdoor zou de waterkwaliteit ernstig kunnen verslechteren. Kortom: hydrologische maatregelen overstijgen het perceelsniveau en de effecten van verschillende vormen van peilbeheer moeten in de regionale context worden gezien. Met het oog op een praktisch optimaal peilregime in de verschillende Nederlandse natuurgebieden dient dan ook onderscheid gemaakt te worden tussen verschillende regionale landschapseenheden. Dit onderscheid wordt gemaakt aan de hand van hydrologische, hydrochemische en bodemkundige kenmerken.



Figuur 2.2; Ligging van het laagveen- en zeeleilandschap in het Nederlandse hydrologische systeem. De holocene klei- en veenafzettingen zijn in bruin weergegeven.

Om de complexiteit te structureren is besloten het systeem te schematiseren in unieke regionale landschapseenheden. Hierbij zijn de volgende gegevens bepalend:

- 1) Regionaal hydrologische toestand (indeling in kwel/wegzijging, zie Bijlage I)
- 2) Type grondwater (indeling in zoet/brak/zout)
- 3) Bodemopbouw (op basis van relevante PAWN bodem eenheden, zie Bijlagen II & III)

Bovenstaande aanduidingen leveren uiteraard een groot aantal combinaties op. Een deel van de eenheden is echter qua omvang niet relevant. Verder kunnen sterk op elkaar lijkende eenheden worden samengevoegd. Door uit te gaan van een indeling in regionale landschapseenheden is het mogelijk om relevante processen in een meer generieke context te plaatsen. De belangrijkste regionale landschapseenheden worden afzonderlijk besproken in dit rapport. Uiteraard wordt voor de herkenbaarheid per eenheid een overzicht gegeven van relevante Natura 2000 gebieden. De zeven regionale landschapseenheden (RLE's) die in dit onderzoek worden onderscheiden zijn:

- 1 RLE 1: Regio's met veenbodem en van oudsher vooral gevoed door basenrijk oppervlaktewater  
(N-2000: Wieden; Weerribben; Rottige Meenthe & Brandemeer; Olde Maeten & Veerslootlanden)
- 2 RLE 2: Regio's met veenbodem en van oudsher vooral gevoed door zoet kwelwater (nog plaatselijk aanwezig) vanuit een stuwwal  
(N-2000: Oostelijke Vechtplassen; Naardermeer)
- 3 RLE 3: Regio's met veenbodem met veraarde of kleiïge bovengrond en invloed van fossiel holoceen voedselrijk transgressiewater  
(N-2000: Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske; Polder Westzaan; Polder Zeevang; Wormer- en Jisperveld & Kalverpolder; Eilandspolder)
- 4 RLE 4: Regio's met veenbodem met bovenlaag van klei  
(N-2000: Oudegaasterbrekken, Fluessen en omgeving; Witte en Zwarte Brekken; Sneekermeergebied; Alde Feanen; Groote Wielen; Leekstermeergebied; Deelen)
- 5 RLE 5: Regio's met een veenbodem met bovenlaag van klei en invloed van (voormalig) brak voedingswater  
(N-2000: Nieuwkoopse Plassen & de Haeck; Donkse Laagten; Broekvelden, Vettenbroek & Polder Stein; De Wilck; Boezems Kinderdijk; Botshol)
- 6 RLE 6: Regio's met een homogene klei- of zavelbodem  
(N-2000: Oostvaardersplassen; Lepelaarplassen)
- 7 RLE 7: Regio met brakke kwel  
(N-2000: Lauwersmeer)

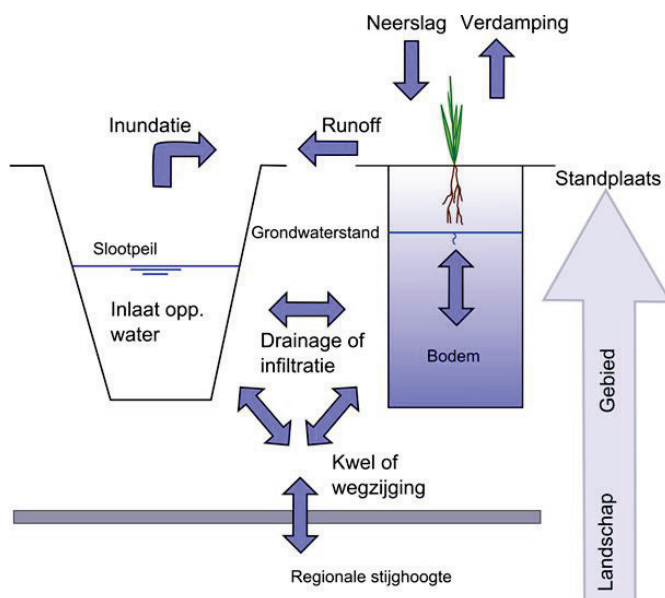
In bijlage 4 wordt de geografische ligging van de regionale landschapseenheden en de betreffende Natura 2000 gebieden overzichtelijk gemaakt. In bijlage 5 wordt een overzicht gegeven van de aanwezige habitattypen in de verschillende Natura 2000-gebieden en regionale landschapseenheden.

In het verleden heeft zich in de verschillende regionale landschapseenheden veenvorming voorgedaan. In elk van de landschappen heeft zich in het laatste stadium hoogveen ontwikkeld. Daarnaast zijn er zones met broek-, riet- en zeggeveen aanwezig geweest die of door overstromend beek/rivierwater of door oppervlakkig uittredend kwelwater zijn aangestuurd. Het is belangrijk te onderstrepen dat de positie in het landschap van habitattypen destijds geheel anders was dan nu en ook de processen die toen de vereiste standplaatscondities voortbrachten geheel anders waren. Feitelijk is er geen goot verschil tussen de historische situatie van bijvoorbeeld de

Wieden/Weerribben en de Vechtstreek. De zone waar kwelwater afkomstig uit stuwwallen uittrad is in beide gevallen ruimtelijk beperkt geweest (namelijk slechts in de randzones), terwijl door horizontaal transport een veel grotere oppervlakte werd beïnvloed., in combinatie met jaarlijkse overstroming door beek- en rivierwater. Dit laatste geldt ook voor de omgeving van Nieuwkoop en de Noord-Hollandse venen. Hier werden vroeger hoogveenkoepels omringd door zoete riviertjes die voor de laagveencomponent in het veenlandschap zorgden. Met andere woorden, er was sprake van een geheel andere situatie en andere processen dan op dit moment. Deze historische situatie kan dan ook niet als referentie worden gekozen als het gaat om natuurherstel. Men dient de huidige processen in acht te nemen wanneer het gaat om de respons op waterpeilfluctuaties.

## **2.2 Inzicht in abiotische en biotische processen**

Hoe kunnen we nu, vanuit de natuurdoelen, en gegeven de complexe respons op waterpeilfluctuaties, komen tot een optimaal peilregime? Waar liggen de kansen en wat zijn de bedreigingen? Om die vragen te kunnen beantwoorden is het nodig om inzicht te hebben in de effecten van peilbeheer op de natuurdoelen via de abiotische processen die een rol spelen op de verschillende schaalniveaus (landschap, gebied en standplaats). Belangrijke kapstok hiervoor is de doorwerking van peilveranderingen op het hydrologisch systeem. Biologische processen worden bepaald door de aan- of afwezigheid van water in tijd en ruimte (Mitsch & Gosselink, 1993). De hydrologie van een gebied wordt bepaald door een balans van in- en uitgaande fluxen. Het gaat hierbij om neerslag, verdamping, kwel of wegzijging en in- of uitstroom via oppervlaktewater. De eerste drie fluxen zijn volgend aan processen die spelen op zeer grote schaal. De in- of uitstroom via oppervlaktewater wordt echter al honderden jaren op relatief kleine schaal door de mens beïnvloed en heeft zijn weerslag op, behalve neerslag, alle andere fluxen binnen een hydrologisch systeem. Het oppervlaktewaterpeil beïnvloedt bijvoorbeeld via drainage en infiltratie de grondwaterstand, daarmee de vochttoestand van de bodem en daarmee de actuele verdamping en kans op runoff. De grondwaterstand en het slootpeil bepalen samen in combinatie met de regionale stijghoogte de grootte van kwel of wegzijging. Een sterke verhoging van de slootpeilen leidt tot inundatie van aanliggende gronden. Omgekeerd bepaalt de verhouding tussen neerslag, verdamping en kwel of wegzijging de benodigde aanvoer van oppervlaktewater van buiten het gebied voor landbouw-, natuur- en overige functies. Figuur 2.3 geeft een overzicht weer van de relaties tussen alle relevante fluxen.



Figuur 2.3; Overzicht van relevante water fluxen.

De dynamiek van het hydrologisch systeem is direct van invloed op zowel de aquatische als terrestrische natuur, via bijvoorbeeld droogval van waterlopen, de vocht- en zuurstofhuishouding in het wortelmilieu van planten, lichtintensiteit op de waterbodem en inundatie en daarmee samenhangende problemen voor overstroomde vegetatie en fauna. Naast deze directe relatie is de dynamiek van het hydrologische systeem sterk bepalend voor biogeochemische condities. De verhouding tussen grondwateraanvulling (neerslag - verdamping - runoff) en kwel naar een perceel bepaalt bijvoorbeeld in hoeverre regenwater de grond in kan dringen en een neerslaglens kan vormen. De dynamiek van een neerslaglens is vervolgens weer bepalend voor onder andere de zuurbuffering van de standplaats en de redoxcondities.

Processen op verschillende niveau's in het landschap hebben een sterke invloed op de biogeochemische processen die zich op standplaatsniveau voltrekken. Op landschapsschaal zijn er grote verschillen binnen het laagveen- en zeekleilandschap aan te geven, die elk een belangrijke betekenis hebben voor de reactie van het gebied op een veranderend peilbeheer. Ten eerste is er natuurlijk het verschil tussen de organische bodems van het laagveengebied en de zeekleibodems van het zeekleigebied. Kleibodems bevatten van nature redelijk veel ijzer en aluminium en zijn over het algemeen goed gebufferd (kattkleibodems vormen hier een uitzondering op). Omdat zeeklei door de zee is afgezet, is de klei meestal van nature ook zwavelrijk. Kleibodems hebben een grote bindingscapaciteit voor fosfaat en zijn vaak ook rijk aan fosfaat. Ook hebben ze een groot adsorptiecomplex voor kationen (hoge cation exchange capacity, CEC). Laagveenbodems bestaan grotendeels uit gedeeltelijk vergaan plantmateriaal, en hebben daardoor een heel andere samenstelling. Afhankelijk van het type organische stof kan in laagveenbodems de CEC desalniettemin hoog zijn. De mate van basenverzadiging (bezetting met basen) kan sterk verschillen. Laagveenbodems kunnen ook rijk zijn aan ijzer, als er invloed is van ijzerrijke kwel. Ook als deze invloed is verminderd door het wegvallen van de kwelstroom blijft er nog lang ijzer in de bodem aanwezig. Kleibodems zijn veelal gebufferd tegen verzuring vanwege de aanwezigheid van kalk. In Nederlandse laagveenbodems is dit meestal niet het geval en daarom zijn deze bodems minder gebufferd dan kleibodems. Juist de buffering tegen verzuring is erg belangrijk voor de instandhouding van bijzondere

habitattypen zoals trilvenen. Voor deze buffering zijn laagvenen dus afhankelijk van kwel- of oppervlaktewater. Een deel van het laagveen- en zeekleilandschap staat onder invloed van brak grondwater. Naast natrium en chloride bevat dit water ook zeer hoge concentraties aan fosfaat en sulfaat. Overigens is de grens tussen de landschappen niet zo strikt als op grond van de bodemkaart vermoed zou worden; veel zeekleimeren zijn ontstaan door uitgraven van klei of veen en hebben vaak een bodem die deels uit veen of zand bestaat. Petgaten in laagveensystemen bevatten soms maar een dunne laag veen, waaronder zich zand of klei kan bevinden. Zowel voor de hydrologie als voor de biogeochemie heeft dit natuurlijk grote invloed. Een nadere toelichting van processen op landschapschaal is te vinden in hoofdstuk 3.

Veranderingen in peilbeheer hebben invloed op de grond- en oppervlaktewater-hydrologie in gebieden. Bij een hoger oppervlaktewaterpeil kan eventuele kwel worden weggedrukt, terwijl een lager peil mogelijk juist grondwater aantrekt naar het oppervlaktewater. Hierbij is het ook van belang welke seizoensfluctuaties er in stijghoogte van het grondwater zijn. Bij een ander peilbeheer verandert dus de eventuele invloed van kwelwater, en daarmee ook de samenstelling van het lokale oppervlaktewater. Bij het toestaan van grotere fluctuaties in het peil, wordt er meer lokaal ('gebiedseigen') water in de winter vastgehouden en in de zomer minder water ingelaten van buiten het systeem. Ook hierdoor zijn grote veranderingen in de kwaliteit van het oppervlaktewater te verwachten. Hier wordt in paragraaf 4.2 verder op ingegaan.

De meest directe uitwerking van een veranderend peilregime op de biogeochemie op standplaatsniveau ligt op het vlak van veranderende redoxprocessen. Bij een verder uitzakkend peil, zullen grondwaterstanden gaan dalen en dringt er meer zuurstof door in de bodem, waardoor anaërobe afbraakproducten die ontstaan zijn bij een hoger peil deels worden geoxideerd. Daarnaast is het van belang dat de aërobe afbraak van organische stof bij een lager peil sneller verloopt dan anaërobe afbraak bij een hoger peil. Hier wordt in paragraaf 5.3 verder op ingegaan.

Peilbeheer vloeit voort uit de overvloedige aanwezigheid van door mensen gecreëerd open water in het veengebied (sloten, meren) dat er vroeger niet was. De standplaatscondities voor veenvormende vegetaties kwamen vroeger op geheel andere wijze tot stand dan nu. Vanwege het in oppervlakte geringe aandeel van permanent open water in de oorspronkelijke veengebieden was er een heel andere relatie tussen openwaterpeil en grondwaterpeil in het veen.

## **2.3 Peilbeheer in historisch perspectief**

### **2.3.1 Historie van het peilbeheer**

Tot de eerste bedijkingen rond 1100 AD heeft de mens slechts geringe invloed uitgeoefend op het laagveenlandschap. De eerste sporen van bewoning in West-Nederland dateren van ca 4000 jaar geleden, op de strandwallen, een relatief veilige plek voor de zee. De mensen leefden nog van jagen en visvangst, maar de kwelders werden ook al gebruikt voor beweiding. Verder was de invloed op het landschap gering. De eerste ingrepen in de hydrologie werden gedaan door de Friezen, ca. 200 jaar voor het begin van onze

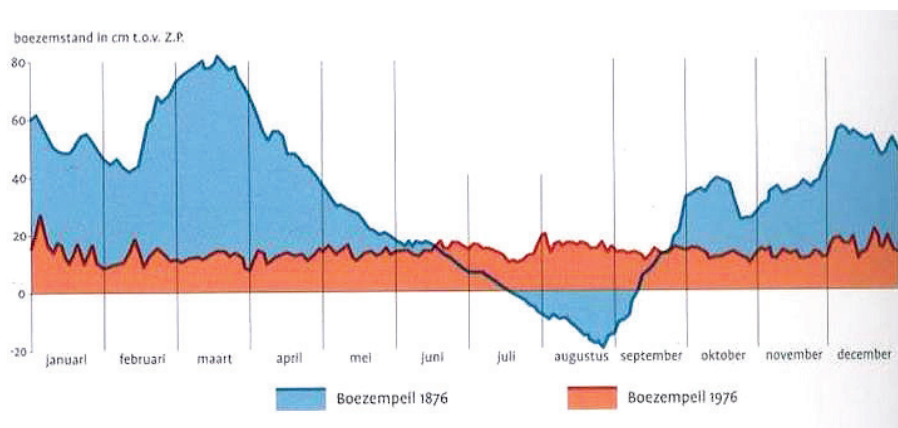


jaartelling. Ze groeven sloten, bijvoorbeeld in de kwelders langs het IJ, en stonden zo aan het een begin van meer dan tweeduizend jaar waterbeheer. Het huidige hydrologische systeem van polders en boezems begon in de Middeleeuwen.

De eerste grootschalige ingrepen in het laagveenlandschap vonden plaats rond 1200 AD, door de aanleg van dijken langs de grote rivieren en het IJ. In Holland begon de ontginning vanaf de binnenduinrand en bewoonde stroken langs de rivieren, in Utrecht vanuit de Vechtstreek. De ontginning verliep in smalle, lange kavels loodrecht op de dijk of weg, gescheiden door sloten. De percelen werden in eerste instantie gebruikt voor de teelt van rogge, haver, gerst en hop. De ontwatering leidde echter tot oxidatie en inklinking, en al snel na de ontginning was het veen zover gezakt dat ernstige problemen met de waterhuishouding ontstonden. Sinds de aanleg van dijken kon het overschot aan (regen)water niet meer op natuurlijke wijze afvloeien, maar moest dit water kunstmatig afgevoerd worden via boezems, duikers en gemalen. Door de uitvinding van de windmolen in 1400 werd de afwatering vanuit de polders verbeterd, maar dit had nieuwe bodemdaling tot gevolg. Voor akkerbouw werd het te nat, zodat de veengronden als grasland geëxploiteerd werden. In de loop van een paar eeuwen leidden alle nieuwe 'verbeteringen' tot verdere daling van het land, zodat het polderpeil voortdurend verlaagd moest worden. In veel gevallen ligt de polder nu enkele meters onder het boezempeil, en soms zelfs onder zeeniveau.

Toen in de 17<sup>e</sup> eeuw polders in Noord-Holland werden drooggelegd ten behoeve van de landbouw na vervening, was het ontstaan van kattekleigronden een onaangename verrassing. Zeeklei is over het algemeen kalkrijk, maar kan ook kalkarm worden afgezet, vooral bij langzame opslibbing (De Smet, 1954; Van Wallenburg, 1975). Het zoute zeewater bevatte veel sulfaat en zodoende ontstond ijzersulfide (pyriet). Bij drooglegging van pyrietrijke klei wordt zuur gevormd door oxidatie, zoals besproken in hoofdstuk 5. Door de hoge zuurgraad (lage pH) van deze gronden was de grond niet geschikt voor landbouw.

Zoals geschetst werd de afvoer vanuit de polder in de loop van de tijd steeds ingewikkelder, maar de afvoer vanuit de boezem naar de grote rivieren of Zuiderzee verliep ook niet vlekkeloos. Wateroverlast in de winter was heel normaal (figuur 2.5). In de Friese Boezem werd in 1876 nog een seizoensmatige peilfluctuatie waargenomen met een amplitude van circa 1 meter, wat in sterk contrast staat met het huidige peil.



Figuur 2.4; Boezemstanden in de Friese Boezem in 1876 en in 1976 (Graveland & Coops, 1997).

Ook in de boezem van Noordwest-Overijssel, die de huidige natuurgebieden de Wieden en de Weerribben omvat, trad er in de winter grote wateroverlast op. Door de hoge waterstanden en stuwing in de Zuiderzee kon er vaak niet onder vrij verval gespuid worden, waardoor het gebied regelmatig en langdurig onder water stond. Pas bij de introductie van het stoomgemaal Stroink in 1920 werd de pompcapaciteit hoog genoeg om de waterstand in de boezem te reguleren.

### **2.3.2 Vervening en natuurgebieden**

Behalve ontginning ten behoeve van de landbouw heeft ook de turfwinning een grote rol gespeeld, met name in de meer geïsoleerde gebieden met veenmosveen. Veenmosveen (turf) vormt een goede brandstof, en is vanaf de 17e eeuw op grote schaal gewonnen. Op sommige plaatsen was oppervlakkig draineren en afgraven in het begin nog mogelijk, maar al snel kwam het veen onder water te liggen, en werd 'natte vervening' noodzakelijk. Hierbij werd het veen opgebaggerd uit de petgaten, te drogen gelegd op de zetwallen, en als turfjes versneden. De petgaten waren hooguit 30 m breed, zodat de wind geen vat op het water kon krijgen, en groeiden in principe weer vrij snel dicht. Dat heeft geleid tot de ontwikkeling van trilvenen, een van de meest soortenrijke ecosystemen in ons land, en tegenwoordig een prioritair Natura 2000 habitatype. Maar het ging ook wel eens mis. Als de zetwallen te smal werden en doorbraken kon de wind wel vat op het water krijgen, waardoor de golfslag nog weer sterker werd. Hierdoor verdwenen er nog meer zetwallen en zo ontstonden meren (plassen) als de Loosdrechtse en Nieuwkoopse plassen, maar ook de Wieden. Er zijn overigens ook meren op 'natuurlijke' wijze ontstaan, door overstroming als gevolg van uitbreiding van de Zuiderzee, al dan niet geholpen door inklinking van het achterland. Voorbeelden hiervan zijn het Haarlemmermeer, de Schermer, Beemster, Wormer, en Purmer. Het Naardermeer en Horstermeer zijn inbraakmeren ontstaan vanuit de Vecht (Bos, 2010).

Een aantal van deze meren of plassen is ingepolderd en ontwaterd, vooral voor agrarisch gebruik. Een voorbeeld is de polder Mijdrecht, die nu vele meters lager ligt dan de omgeving. Dit soort gebieden is wat betreft Natura 2000 habitats nauwelijks interessant, maar wel van belang voor de regionale hydrologie, omdat de diepe ligging de grondwaterstromen beïnvloedt. Zo is er een sterke kwelstroom naar de polder Mijdrecht, ten koste van het natuurgebied Botshol. De meeste plassen en in de buurt gelegen trilveengebieden hebben echter een natuurfunctie behouden. Sommige zijn ingepolderd, zoals in het Vechtplassengebied, en liggen temidden van agrarisch gebied. Ook hier zijn door de inpoldering kwelstromen veranderd. Andere liggen in de hedendaagse boezems, zoals de Wieden en Weerribben in Noordwest-Overijssel, en zijn verder nauwelijks ontwaterd. Wel is in Noordwest-Overijssel door de inpoldering van de nabijgelegen Noordoostpolder en drooglegging van de zogenaamde Domeinpolders de kwelstroom beïnvloed. Ook ontvangt het gebied door de boezemfunctie veel landbouwwater uit de omliggende polders.

Het is belangrijk om bij de behandeling van een meer natuurlijk peilbeheer te benadrukken dat het niet gaat om het oorspronkelijke 'natuurlijke' peilbeheer. De wateren waar het om gaat bestonden oorspronkelijk niet. Het oorspronkelijke peilregime van oppervlaktewater en grondwater in voormalige veenvormende landschappen kan slechts beperkt worden gereconstrueerd vanuit de bodem, ruimtelijke positie en buitenlandse referenties. Het is dus de

vraag in hoeverre met een ander peilbeheer in de huidige wateren de oorspronkelijke situatie kan worden benaderd.

## **2.4 Vormen van peilbeheer**

Zonder menselijke beïnvloeding wordt het peilverloop van een watersysteem bepaald door de aan- en afvoer van grondwater, oppervlaktewater en neerslag. Doordat er 's winters sprake is van hogere neerslag dan verdamping (netto neerslagoverschot), is het winterpeil doorgaans hoger dan het zomerpeil. Het zomerpeil staat vanwege de hogere verdamping in de zomer lager. Men spreekt dan van een seizoensmatig fluctuerend waterpeil. Het verschil tussen zomer en winter (amplitude) is afhankelijk van de lokale situatie en kan van jaar tot jaar verschillen.

In de huidige situatie is er echter sprake van een sterk gereguleerd waterpeil. Het peilbeheer in Nederland kan grofweg in de volgende categorieën worden verdeeld:

- 1) Het peil wordt niet gereguleerd (dit is overigens niet hetzelfde als onbeïnvloed) en is 's winters gewoonlijk hoger dan 's zomers (geen peilbeheer);
- 2) Het peil mag tussen bepaalde marges fluctueren (flexibel peil);
- 3) Het gehele jaar door wordt hetzelfde waterpeil gehandhaafd (vast peil);
- 4) In de zomer is sprake van een hoger waterpeil dan in de winter (ook wel omgekeerd peil of tegennatuurlijk peil genoemd).

### **2.4.1 Gereguleerde waterpeilen**

De gereguleerde waterpeilen in Nederland zijn ingesteld ten behoeve van het agrarisch gebied en in deze gebieden is het winterpeil over het algemeen zelfs lager dan het zomerpeil, wat in een natuurlijke situatie omgekeerd zou zijn (Graveland & Coops, 1997). Om de boeren de gelegenheid te geven om vroeg in het voorjaar het land te kunnen bewerken, wordt de ontwatering bevorderd door een relatief laag slootpeil. Daarnaast zijn lage slootpeilen in de winter in veengebieden vooral bedoeld om ruimte voor berging in de sloten te hebben. De maalcapaciteit is niet oneindig, en bij lagere slootpeilen is er ruimte om tijdelijk overtollige neerslag te bergen. Het overtollige water wordt vanuit de polders naar de boezem gepompt. Het polderwater bevat chemisch gezien vaak veel karakteristieken van het grondwater, omdat de polders het laagste deel van het gebied vormen, waar de grondwaterstroming wordt geconcentreerd. Zo kan het water rijk zijn aan ijzer, calcium en/of chloride en sulfaat, al naar gelang de samenstelling van het grondwater ter plekke. Het is echter ook vrijwel altijd rijk aan nitraat, ammonium en fosfaat vanwege de vervuiling in het agrarische gebied. Doordat het grondwater aan de oppervlakte komt, slaat ijzer echter neer en ontwijkt kooldioxide naar de atmosfeer.

Hogere slootpeilen in de zomer zijn vooral bedoeld voor veedrenking en beperking van maaiveldafval door veenafbraak. De hoge zomerpeilen worden ingesteld, zodat beregening vanuit oppervlaktewater mogelijk wordt, dan wel ter aanvulling van het grondwater. Om dit mogelijk te maken wordt water van elders aangevoerd, vaak indirect afkomstig uit de Rijn of het IJsselmeer. Ook als het peil in zomer en winter hetzelfde wordt gehouden, is wateraanvoer van elders nodig, als gevolg van de hogere verdamping. Dit wordt 'gebiedsvreemd' water genoemd. Het is meestal vervuild met nutriënten en

sulfaat, en wordt daarom vaak als negatief beschouwd (Lamers et al., 2006). Het is echter belangrijker om naar de waterkwaliteit te kijken dan naar de herkomst van het water, aangezien het ook (steeds vaker) voorkomt dat aangevoerd water een betere kwaliteit heeft dan het binnen het gebied aanwezige water. Daarnaast is het vaak een zinloze discussie om aan te geven welk water al dan niet 'gebiedsvreemd' is (Lamers et al., 2010).

Ook in de natuurgebieden heerst of heerste een strak peilregime. Ook hier is waterinlaat in de zomer noodzakelijk om de waterstand op peil te houden. Het strakke peilregime in veel laagveennatuurgebieden hangt samen met verweving met andere functies, zoals recreatie, landbouw, woonomgeving en infrastructuur. Het zijn vooral deze functies die voor het huidige peilregime bepalend zijn. De noodzaak om waterstanden op peil te houden wordt versterkt doordat de natuurgebieden over het algemeen niet of minder ontwaterd zijn dan de omgeving, en daardoor hoger in het landschap zijn komen te liggen, zoals bijvoorbeeld het Naardermeer, De Deelen en Botshol. Als gevolg daarvan is het waterverlies door wegzijging hoger dan in de omringende agrarische polders, en moet er meer al dan niet vervuild water worden aangevoerd. Of ook in de winter vervuild water wordt aangevoerd, nu vanuit de lager gelegen landbouwpolders, hangt van de situatie af. In natuurgebieden die geen deel uitmaken van een boezem is dit niet nodig. In natuurgebieden die dat wel doen, zoals de Wieden en Weerribben, wordt de input van vervuild water door de boezemfunctie nog eens vergroot (Cusell et al., 2012).

#### **2.4.2 Een meer natuurlijk peilbeheer**

Onder de term 'een meer natuurlijk peilbeheer' wordt verstaan dat het peilregime binnen bepaalde marges de seizoensmatige fluctuaties volgt zoals die worden bepaald door neerslag en verdamping. Dit leidt tot een hogere waterstand in de winter en een lagere waterstand in de zomer. Er is echter nogal wat verwarring over wat dit in de praktijk nu precies betekent. Daarnaast bestaat onduidelijkheid over waarom een meer natuurlijk peilbeheer zou moeten worden ingevoerd.

Om de problemen voor wat betreft waterinlaat en nutriënten te verminderen wordt gedacht aan een meer natuurlijk peilbeheer. In bestaande natuurgebieden als Botshol, het Naardermeer en de Westbroekse Zodden wordt gestreefd naar een vermindering van de externe fosfaat- en sulfaatbelasting door middel van vermindering van de inlaat van 'gebiedsvreemd' water. Dat betekent dat gekozen wordt voor een lager waterpeil in de zomer, in plaats van inlaat van water van buiten het gebied. Soms wordt onder een meer natuurlijk peilbeheer echter ook een verhoging van de waterstand verstaan. Dit kan gaan om waterberging (Loosdrecht), maar in voormalige agrarische gebieden ook om waterverlies via wegzijging te beperken (Naardermeer) of nieuwe natte natuur te creëren (Polder Mijnden, Groene Jonker). Ook kan instelling van een meer natuurlijk waterpeil leiden tot zowel hogere als lagere waterstanden (Wieden en Weerribben). In de zomer wordt peilverlaging toegestaan om inlaat van gebiedsvreemd water te verminderen, en in de winter een hogere waterstand gecreëerd om trilvenen en veenmosrietlanden te inunderen en de basenverzadiging te verhogen. Het is bij al deze maatregelen en doelen heel belangrijk om het systeem in zijn totaliteit te bezien. Zo kan het de vraag zijn of verminderde inlaat van gebiedsvreemd water in de zomer opweegt tegen het sterker vasthouden van 'gebiedseigen' landbouwwater in de winter en of drijvende kraggevenen wel geïnundeerd raken (Cusell et al., 2012). Daarnaast is het heel belangrijk te

weten hoe groot de interne mobilisatie van nutriënten als gevolg van veranderingen in de waterstand kan zijn. Op deze zaken wordt in de volgende hoofdstukken dieper ingegaan.

## **2.5 Klimaat en klimaatverandering**

In zelfvoorzienende watersystemen (gebieden met relatief weinig aan- en afvoer van water) wordt het peilverloop in hoge mate bepaald door neerslag en verdamping en zal de waterstand gedurende de zomer dalen en in de winter stijgen. Door het optreden van 'droge' en 'natte' jaren kunnen aanzienlijke verschillen optreden in waterpeilen tussen afzonderlijke jaren. Maar ook een verandering in temperatuur kan veel effect hebben op bestaande natuurwaarden. Er is een trend naar een hogere jaargemiddelde temperatuur en grotere neerslagsom. Dit is goed te zien in het feit dat de laatste tien jaren van de 20e eeuw tot de warmste en natste van die eeuw gerekend kunnen worden. Daarnaast is de verwachting dat er meer extremen op zullen treden, zoals episoden met hevige regenval. Ook krijgen meer gebieden door klimaatveranderingen in de zomer last van grotere vochttekorten en dit heeft negatieve consequenties als het gaat om biodiversiteit in laagveenmoerassen en veenweidegebieden. De effecten hiervan zijn nu reeds merkbaar in het laagveen- en zeekleilandschap en zullen in de toekomst naar verwachting groter worden (Verdonschot et al., 2007).

Bij deze klimaateffecten moet rekening gehouden worden met het hele stroomgebied waarvandaan door oppervlakkige- of grondwaterstroming aan- en afvoer plaatsvindt. Door fluctuerende neerslag- en verdampingscondities variëren aan- en afvoer van water op gebiedsniveau sterk. Ook worden biogeochemische omzettingen sterk gestuurd door temperatuur en beïnvloed door de aan- dan wel afwezigheid van water (Loeb et al., 2008). Daarbij komt dat klimaatverandering leidt tot een hogere zeespiegel en lage rivierafvoeren in de zomer en voor West-Nederland betekent dat dat de inlaat van zoet water onder druk komt te staan en er sprake zal zijn van verzilting. De consequenties die een toename van brakke kwel met zich meebrengt worden besproken in paragraaf 4.1.

Ook biologische interacties zullen door klimaatveranderingen beïnvloed worden. Nieuwe omstandigheden kunnen effect hebben op de timing van verschillende momenten van de levenscycli van met name consumenten van de hogere orden (o.a. toppredatoren) en migrerende soorten (Both & Visser, 2001).

De komende decennia zijn er grote veranderingen op deze gebieden te verwachten en met het oog op Natura 2000 doelen dient er met deze klimaatveranderingen in toekomstscenario's omtrent peilbeheer rekening te worden gehouden.



## **3 Relevante processen en factoren op landschapsniveau**

### **3.1 Historische ontwikkelingen in het landschap**

Het ontstaan van verschillende veentypen, verschillende bodems en de huidige verschillen in waterpeil binnen het hydrologische systeem op verschillende schaalniveau's is te verklaren aan de hand van de historische ontwikkelingen in laag-Nederland. In hoeverre een gebied 'van nature' geschikt is voor beheer en behoud van een bepaald habitattypen binnen het kader van Natura 2000 doeleinden is dan ook gebaseerd op historische ontwikkelingen.

#### **3.1.1 Ontwikkeling van laag-Nederland**

Vrijwel alle veengebieden en zeekleigronden zijn ontstaan in het Holocene, het tijdperk van de afgelopen 10.000 jaar. Oudere delen van het land, zoals de dekzanden uit de laatste ijstijd en de stuwwallen en grondmorenes uit de voorlaatste ijstijd, zijn voor de veen- en kleigebieden echter wel van belang. Dekzanden vormen vaak de ondergrond van veen- en kleigebieden. De stuwwallen van het Gooi, de Utrechtse Heuvelrug en Noordwest-Overijssel, en de grondmorene van het Drents plateau zijn van belang voor de kwelstromen en input van grondwater. Maar ook de nog oudere geschiedenis is van belang door het ontstaan van het Noordzeebekken en de aanvoer van kilometers dikke zandpakketten vanuit verschillende delen van Europa.

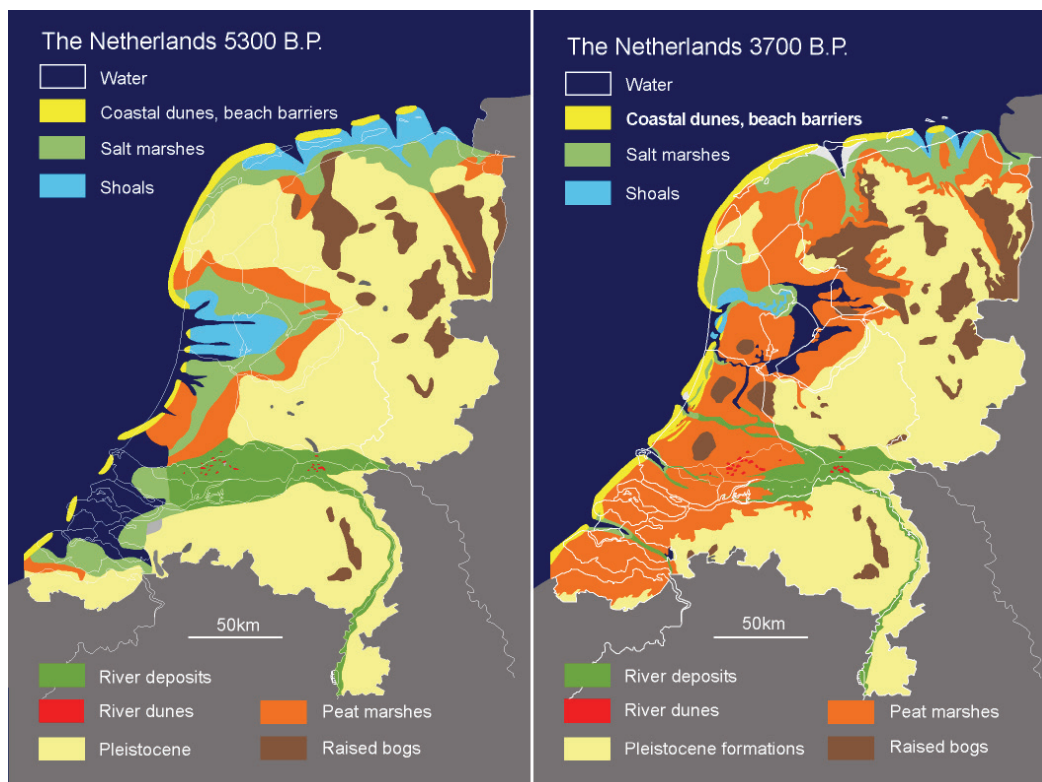
#### **3.1.2 Vorming Noordzeebekken**

Nederland ligt aan de rand van een dalingsbekken, dat in het vroeg-Tertiair (ca 65 miljoen jaar geleden) begon te ontstaan als gevolg van rek- en drukkrachten door de vorming van de Alpen, maar ook door het uitoewijken van de noordelijke Atlantische Oceaan (Berendsen, 2008). Het noordelijk deel van het Noordzeebekken is in de loop van de tijd gevuld met sediment uit de Baltische Oerstroam, een rivierenstelsel dat zand vanuit Scandinavië naar Nederland bracht. Dit zand is wit van kleur, rijk aan kwarts en arm aan verweerbare mineralen, o.a. omdat het Baltische schild geologisch gezien heel oud en verweerd is. Dit witte zand zien we in Nederland terug in het Waddendistrict, waar de duinen relatief arm aan kalk en ijzer zijn (Eisma, 1968). Maar ook in de noordelijke stuwwallen, dekzanden en stuifzanden is het zand mineraalarmer dan bijvoorbeeld op de Veluwe of de Utrechtse Heuvelrug (Maarleveld, 1956; Koster, 1978). In het zuiden en midden van het land is het zand vooral door de Rijn en de Maas aangevoerd. Dit zand is afkomstig uit geologisch relatief jonge gebieden in Duitsland, Zwitserland en Frankrijk. Het is relatief bruin van kleur, bevat meer verweerbare mineralen en is van origine rijker aan kalk en ijzer dan het zand uit de Baltische Oerstroam. Dit zand zien we terug in de duinen van het Reno-dunaal district

en in de stuwwallen, dekzanden en stuifzanden van de Veluwe en Utrechtse Heuvelrug. Deze geologische verschillen kunnen leiden tot mineralogische en chemische verschillen in ondergrond en grondwater tussen veengebieden in het noordelijk en westelijk deel van Nederland.

### 3.1.3 Vorming van veengebieden

De vorming van de veengebieden in het laagveengebied en zeekleigronden vond plaats in de afgelopen 5000 jaar. Aan het begin van het Holoceen, 10.000 jaar geleden, lag de bodem van de Noordzee nog droog en was deze bedekt met dekzanden. Door het smelten van het landijs nam de zeespiegel sterk toe, maar vanaf ca. 5000 jaar geleden was het meeste ijs gesmolten en verliep de stijging minder snel. Door golfslag werd het dekzand op de zeebodem naar het strand gespoeld en werden strandwallen gevormd. Bij de minder sterke stijging van de zeespiegel konden de strandwallen stand houden en zo'n tweeduizend jaar lang zich zelfs zeewaarts uitbreiden. Achter de strandwallen ontstond een van de zee gescheiden lagunegebied. In dit lagunegebied stroomden talrijke rivierarmen. Onder invloed van het rivierwater verzoette dit getijdengebied, waardoor tussen de rivierarmen veenvorming op kon treden. De grondwaterspiegel in het achterland steeg mee met de nog steeds stijgende zeespiegel, waardoor de veenpakketten dikker en uitgebreider werden (figuur 3.1). Achter de strandwallen ontstond veen op de kleilagen van het lagunegebied, maar verder naar het binnenland vond veenvorming plaats direct op de dekzandondergrond.



Figuur 3.1; Overzicht van de historische uitbreiding van veenpakketten (Berendsen, 2005 naar Zagwijn, 1986)

Het veen had niet overal dezelfde samenstelling (Westhoff et al., 1981). In de mondingsgebieden van de rivieren ontstond een brak milieu, waarin veen uit riet en zeebies werd gevormd. Langs de rivieren ontstonden slibrijke



rietmoerassen en moerasbossen, waarin rietveen en bosveen werd gevormd. Langs de binnenduinrand en de stuwwallen, waar kwel van kalk- en ijzerrijk grondwater optrad, ontstond zeggeveen, bestaande uit wortels van kleine zeggesoorten en restanten van karakteristieke (schorpioen)mossen. In de gebieden die het minst door zee-, rivier- of kwelwater werden beïnvloed en waar regenwater de dominante component werd ontstond veenmosveen. Deze hoogvenen zijn later door ontwatering en daarmee gepaard gaande oxidatie en inklinking verdwenen (Pons, 1992; Borger, 1992). Zo'n 3000 jaar geleden, op de overgang van het Subboreaal naar het Subatlanticum, werd het klimatologisch gezien natter (van Geel et al., 1996). In de veenmosvenen werden soorten van relatief droge standplaatsen (*Sphagnum* sectie *acutifolia*) vervangen door soorten van een meer atlantisch klimaat als *S. imbricatum*. Op beschutte plaatsen leidde de klimaatsverandering tot nog sterkere veenvorming. Aan de kust ging deze echter gepaard met een toename van inbraken van de zee, zowel voor als na de Romeinse tijd. Als gevolg van deze transgressies werden de strandwallen afgebroken. In West-Nederland werd het strandwallencomplex kleiner, maar bleef het als kustbarrière intact. In het noordelijk en zuidelijk deel van Nederland werd het strandwallencomplex echter vernietigd.

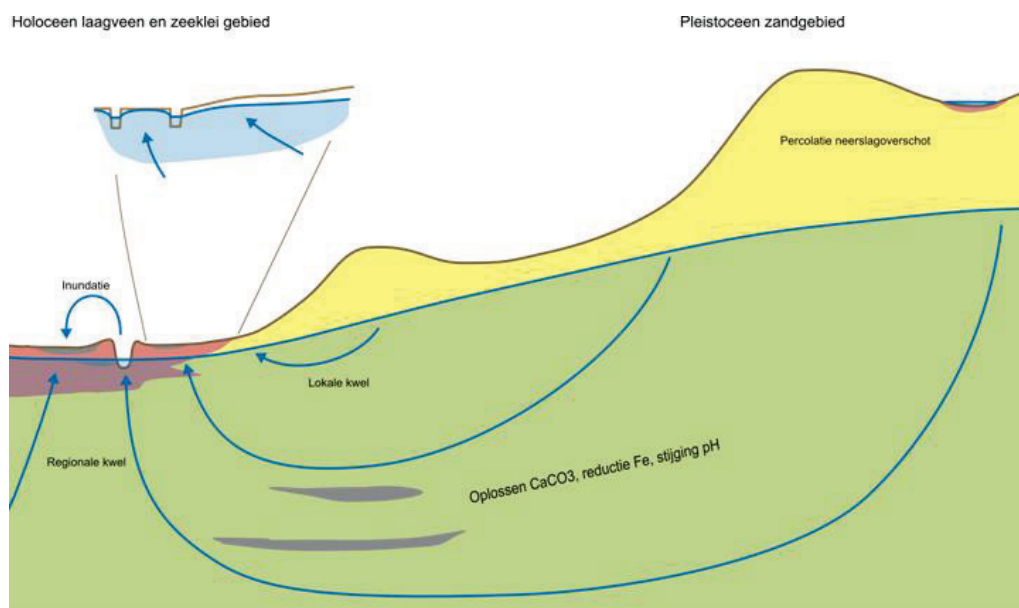
Het noordelijk kustgebied veranderde vanaf de twaalfde eeuw van een groot veengebied in een waddegebied met grote meren. Zo ontstond de Zuiderzee, die omstreeks 1600 AD zijn huidige omvang bereikte. In het zuidelijk kustgebied drong de zee het achtergelegen veengebied via de kreken binnen, waarna het in de Romeinse tijd in vele eilandjes uiteen viel. De inbraken van de zee werden verergerd door de invloed van de mens, die veen ontwaterde en verbrandde voor de winning van zout. Hierdoor trad bodemdaling op en kreeg het water vrij spel. De oorspronkelijke veengebieden van Zuid- en Noord-Nederland zijn dus voor een belangrijk deel verdwenen en/of met jonge zeeklei overdekt. De zeekleigebieden raakten later begroeid met wouden, die tot aan het begin van de middeleeuwen in stand bleven. Meren in dit zeekleigebied verschillen in hun ontstaanswijze. Veel meren op zeeklei zijn ontstaan door vervening, ofwel van veen dat nog voor het subatlanticum aanwezig was (waarbij nu oude zeeklei dagzoomt), ofwel van nieuwe veenpakketten die op de nog jonge zeeklei zijn ontstaan.

## **3.2 (Geo)hydrologie**

### **3.2.1 Kwel en wegzijging**

Zoals al in paragraaf 2.1 is aangegeven is kwel of wegzijging een belangrijke component in de waterbalans van een gebied. Naast neerslag en verdamping is deze flux hiermee bepalend voor de inlaatbehoefte van een bepaald gebied en daarmee bepalend voor de mogelijkheden voor verschillende vormen van peilbeheer. In de holocene gebieden direct grenzend aan de hogere zandgronden treedt van nature voedingswater uit vanuit het regionale systeem. De stromingsstelsels die worden gevoed vanuit pleistocene terreinopwelvingen zijn het grote Systeem van het Glaciale Plateau van Drenthe, een serie grote en kleine systemen vanuit afzonderlijke stuwwalcomplexen en een groot aantal middelgrote en kleinere systemen vanuit opwelvingen en ruggen van dekzanden. Een aantal uitgangen van het Plateau van Drenthe ligt in de aangrenzende delen van de omliggende provincies Groningen, Friesland en Overijssel (Engelen et al., 1989). Natuurgebieden zoals de Wieden en Weerribben zijn hierbij gebaat vanwege de oppervlakkige aanvoer van grondwater-achtig voedingswater (Van

Wirdum, 1991). Maar ook regionale of lokale kwelstromingen vanuit een heuvelrug (figuur 3.2) kunnen een gunstige uitwerking hebben op natuurgebieden. Het meest bepalend voor de grondwaterstroming in Midden-Nederland is het reliëf van het landschap, dat grotendeels is ontstaan door werking van het landijs tijdens het Pleistoceen. De hoge stuwwallen die op deze manier ontstonden vormen de infiltratiegebieden van de grote grondwaterstelsels in Midden-Nederland. De grootste stuwwalcomplexen (met name de Utrechtse Heuvelrug) voeden belangrijke zoete grondwaterstromingen in de richting van de omringende lagere gebieden zoals het Vechtplassengebied (Engelen et al., 1989). Het voortbestaan van bedreigde laagveenplantensoorten is afhankelijk van de specifieke milieuomstandigheden die bepaald worden door dit toestromend grondwater, en het behoud van laagveensoorten vereist daarom afstemming van waterbeheer op de natuurdoelstellingen voor natuurgebieden op regionale schaal (Vermeer & Joosten, 1992; Van Loon, 2010).



Figuur 3.2; Laagveen- en kleigebieden grenzend aan Pleistocene hogere gronden.

Het Nederlands laagveenlandschap is van oorsprong een hoogveenlandschap met laagveenzones langs beken, rivieren en stuwwallen. Pas door ontginning en het ontstaan van veel open water dat onder invloed van mesotroof grond- en oppervlaktewater stond is het laagveenmilieu sterk uitgebreid. Veel van de oorspronkelijke laagveengebieden zullen niet zozeer door kwel als door overstromend oppervlaktewater (met mesotroof kwelwaterkarakter) zijn beïnvloed en hydrologisch noch kwel, noch wegzijging hebben gehad.

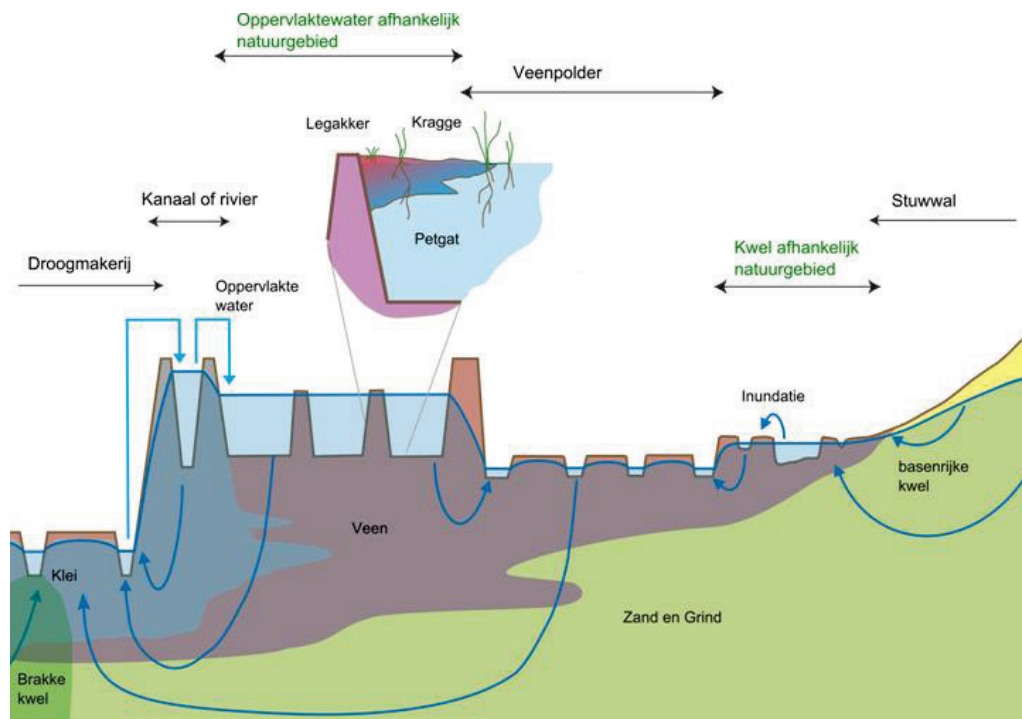
### 3.2.2 Stijghoogteverschillen

Holoceen Nederland wordt gekenmerkt door grote verschillen in invloed van de Noordzee en grootschalige ingrepen in het hydrologisch systeem door de mens. Belangrijk hierbij is de vervening, waardoor meren zijn ontstaan of uitgebreid in het landschap. Deze meren zijn vervolgens grotendeels weer ingepolderd en liggen hierdoor veel dieper in het landschap dan de omliggende overgebleven (veen)gronden. De ontwatering van veen- en kleigronden heeft vervolgens geleid tot verdere inklinking en oxidatie, resulterend in flinke maaiveld- en dus peilverschillen (Baas, 2001). De in paragraaf 2.2 genoemde polder Groot Mijdrecht is hiervan een aansprekend

voorbeeld. Voorbeelden uit het zeekleigebied zijn de polders ten noorden van de stad Groningen. Hier is in het maaiveld goed de duur van ontwatering zichtbaar. De oudste polders rond de stad liggen zo'n twee meter lager dan de jongste polders nabij het wad.

Bovenstaande ontwikkelingen hebben geleid tot een groot aantal geneste hydrologische systemen (figuur 3.3). Enerzijds zijn er de grootschalige systemen bepaald door de zeespiegel en de stijghoogte (de hoogte, vaak uitgedrukt in m boven N.A.P., tot waar grondwater opstijgt in een buis die in open verbinding staat met de atmosfeer) in de aangrenzende hogere zandgronden, anderzijds is er de subregionale uitwisseling tussen verschillende polders en peilvakken.

Naast de menselijke invloed op de geohydrologie door het ingrijpen op de hydrologische toestand aan het aardoppervlak, heeft de mens invloed op de stijghoogtes en grondwaterstanden door middel van ondergrondse ingrepen, zoals grondwateronttrekkingen (Griffioen et al., 2003).



Figuur 3.3; Laagveen- en zeekleigebieden in holoceen Nederland. Het hydrologische systeem is gekenmerkt door een groot aantal geneste systemen (Witte et al., 2007).

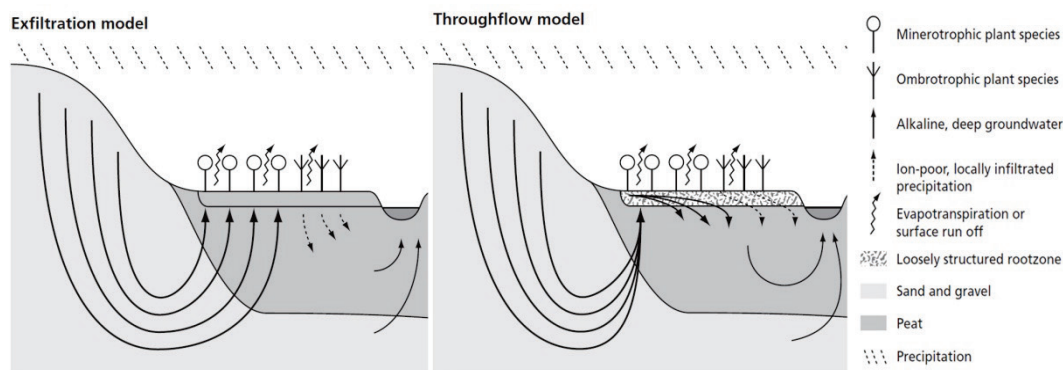
### 3.2.3 Weerstandbiedende lagen

De grootte van de verschillende fluxen wordt bepaald door de onderlinge stijghoogteverschillen, maar ook door de weerstand van de onderliggende klei- of veenlagen. Door de geringe doorlatendheid van veen/klei wordt de doorwerking van peilschommelingen sterk gedempt en vertraagd in holoceen Nederland. Polder Groot Mijdrecht is een goede illustratie van het belang van weerstandbiedende lagen. Al direct na de aanleg van de polder bleek het een groot probleem om het gebied droog te houden. Belangrijke reden hiervoor is het ontbreken van een kleilaag in een groot deel van het gebied. Inmiddels is door oxidatie ook de dikte van de weerstandbiedende veenlaag sterk afgenomen. In combinatie met de zeer lage ligging is de kweldruk in

vergelijking met andere polders in Nederland zeer groot. De weerstand is hier zelfs zo gering dat er sprake is van wellen in de sloten. Wellen zijn zwakke plekken in de deklaag die weinig weerstand bieden tegen grondwaterstroming. Zij ontstaan op plekken waar de grondwaterdruk groter is dan het gewicht van de bodem. De kwelflux kan hier zo groot zijn dat zand meegevoerd wordt (Grontmij Nederland, 2006).

### 3.2.4 Stromingsmechanismen

Op basis van hetgeen in de vorige paragrafen is besproken beschrijft Van Loon (2010) twee regionale grondwatermodellen voor natuurlijke laagveensystemen: 1) het 'exfiltratie'-model en 2) het 'doorstroom'-model.



Figuur 3.4; Schematische weergave van de twee besproken grondwatermodellen voor grondwaterstroming in natuurlijke laagveensystemen (Van Loon, 2010).

- 1) Het exfiltratie-model gaat uit van een opwaarts transport van grondwater op landschapsschaal, waarbij het regionale grondwater uittreedt aan het oppervlak (Glaser et al., 1990; Fraser et al., 2001; Reeve et al., 2006). Plaatselijke neerslag wordt ofwel afgevoerd via oppervlakkige afstroming, ofwel opgeslagen in de veenbodem, waar het zich vermengt met het uittredend grondwater. In de literatuur worden twee varianten van het exfiltratie-model voorgesteld (Van Loon, 2010). De eerste variant gaat uit van permanente uittreding van grondwater, waarbij het ondiepe grondwater op peil wordt gehouden en sprake is van permanent alkalische condities (Komor, 1994; Almendinger & Leete, 1998). De tweede variant gaat uit van slechts periodieke aanvoer van uittredend grondwater (Glaser et al., 1990; Fraser et al., 2001; McNamara et al., 1992). Voorwaarde in deze variant voor het bestaan van grondwaterafhankelijke laagveenvegetatie is wel dat lokaal infiltrerende neerslag voldoende gemengd wordt met dieper mineraalrijk grondwater. Op deze manier kunnen bepaalde laagveen-habitats worden gehandhaafd, zelfs op plaatsen waar meer sprake is van neerslag-invloed dan van uittredend grondwater.
- 2) Het doorstroom-model gaat uit van uittreding van grondwater in het bovenstroomse gedeelte van een laagveenmoeras, waarbij de mate van uittreding zo hoog is dat er een overschot van grondwater in de ondiepe ondergrond ontstaat. Vervolgens wordt dit grondwater door middel van laterale doorstroom afgevoerd door de wortelzone met een lage weerstand (Wassen & Joosten, 1996; Schipper et al., 2007). Op regionale schaal wordt het uittredende grondwater gemengd met het lokale neerslagwater in de wortelzone en ophoping van regenwater in het bodemprofiel wordt voorkomen. Op deze manier kan ook buiten de gebieden met directe

uittreding van grondwater geschikte abiotische randvoorwaarden voor laagveenhabitats worden verkregen (Van Loon, 2010).

Grondwaterafhankelijke plantengemeenschappen in Nederlandse laagveengebieden worden voornamelijk gevoed door grondwater dat door laterale doorstroming van de wortelzone ruimtelijk herverdeeld wordt over een groter gebied. Het is hierdoor niet alleen de hoeveelheid uittredend grondwater, maar voornamelijk de infiltratie-snelheid van dit ondiepe grondwater dat de omvang van grondwatergevoede gebieden bepaalt (Van Loon, 2010). Daarbij is het belangrijk dat ontginning van grote invloed kan zijn op de uiteindelijke invloed van kwelwaterstromingen, vanwege doorsnijding van het veen met open water. Het exfiltratiemodel past meer bij een ontgonnen toestand en het doorstroom model past meer bij de oorspronkelijke toestand van voor veenontginning.

### 3.3 (Grond)waterkwaliteit

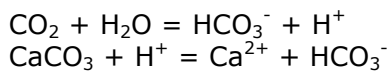
Voor wat betreft de (grond)waterkwaliteit zijn een aantal factoren van cruciaal belang in het totale proces van infiltratie tot uittreding van grondwater. De eerste factor van belang is de samenstelling van infiltrerend regenwater. In tabel 3.1 is de gemiddelde kwaliteit van het Nederlandse regenwater over de periode 1938 - 1998 weergegeven. In de tabel is een sterke toename in stikstof en zwavel zichtbaar. Opvallend hierbij is dat het zwavelgehalte door effectieve beleidsmaatregelen sinds de jaren '80 weer sterk is afgenomen tot beneden waarden uit de jaren '30. Ook voor de stikstofbelasting geldt een afname sinds de jaren '80, maar de waarden zijn nog steeds hoger dan in het begin van de 20e eeuw. De calciumconcentraties in regenwater zijn sterk afgenomen sinds het begin van de 20<sup>e</sup> eeuw. Verklaring hiervoor is het verharden van wegen en de verminderde uitstoot van calcium door de zware industrie, waardoor minder stof in de atmosfeer terecht komt (Hedin et al., 1994).

Tabel 3.1; Gemiddelde kwaliteit van het Nederlandse regenwater over de periode 1938-2011.

Bron	Leefflang	Stuyfzand	KNMI	KNMI	KNMI	RID/ VEWIN	LMR	RIVM
Locatie	De Bilt	Hilversum					De Bilt	
Periode	1938	'33-'40	'57-'61	'63-'67	'68-'72	'78-'82	'94-'98	2004
pH			4.3	4.0	4.5	4.3	5.2	5.1
Cl (mg/l)	3.2	3.6	2.6	5.6	5.4	4	2.6	3.4
SO <sub>4</sub> (mg/l)	4.3	5.8	7.8		13.2	24	3	2.6
NO <sub>3</sub> (mg/l)	0.1	0.1	2.4	5.5	6.8	4.8	4.5	2.4
NH <sub>4</sub> (mg/l)	0.5	0.5	0.6	1.0	1.5	2.9	4.5	1.0
Ca (mg/l)	3.6	1.6	1.1	1.3	2.7	1.2	0.3	0.3
Na (mg/l)	1.6	1.4	2.1	2.5	3.7	2.1	1.7	1.9
K (mg/l)			0.2	0.4	0.8	0.4	0.2	0.2

Het zijn zowel biologische processen als chemische uitwisselingsprocessen met bodemdeeltjes die vervolgens de samenstelling van het grondwater bepalen. De kenmerken van het voedingsgebied (zoals topografie, bodemtype en begroeiing) en het verblijf (duur, stromingspatroon) van het water in de diepere ondergrond zijn hierbij bepalend voor de verschillen tussen de gebieden waar het voedingswater uittreedt.

In de onverzadigde zone zal het geïnfiltrerde regenwater door verdamping met ongeveer een factor 3 indikken. Naast indikking zal door wortelrespiratie vrijgekomen CO<sub>2</sub> in oplossing gaan waardoor het kalkoplossend vermogen van het water toeneemt en daarmee de hardheid en alkaliteit van het grondwater. Dit is te verklaren doordat de ondergrond van Nederland voor een groot deel calciumcarbonaat bevat. Wanneer dit calciumcarbonaat in oplossing gaat komen er calciumionen en anorganisch koolstof vrij. De fractie anorganisch koolstof wordt gedomineerd door kooldioxide/bicarbonaat, doordat de pH van het Nederlandse grondwater over het algemeen tussen de 5.5 en 9 ligt. De aanwezigheid van dit kooldioxide in het grondwater is een voorwaarde voor het oplossen van calciumcarbonaat, want hoe meer kooldioxide het inzijsende neerslagwater opneemt, hoe meer calciumcarbonaat er kan worden opgelost (Paulissen et al., 2007).



Inzijsend regenwater neemt tijdens de transformatie naar grondwater dus bicarbonaat en kooldioxide op. Hiervoor zijn verschillende processen verantwoordelijk. In 'oud' grondwater is het oplossen van kalk grotendeels toe te schrijven aan door o.a. plantenwortels geproduceerd CO<sub>2</sub>. Respiratie in de bovenste bodemlagen is dan ook een belangrijke bron van kooldioxide in grondwater (Stumm & Morgan, 1996). In grondwater jonger dan 50 jaar wordt het kalkoplossend vermogen veelal gedomineerd door sterke zuren als gevolg van zwavel- en stikstofdepositie en oxidatie van het in de bodem aanwezige pyriet.

Naast het oplossend vermogen zijn uiteraard de eigenschappen van het doorstroomde materiaal van grote invloed op de kwaliteit. De geochemische eigenschappen van het doorstroomde sediment bepalen de verhouding tussen macro-ionen in het grondwater door middel van oxidatie, reductie, vertering, oplossing, neerslag en ionenuitwisseling. Omdat de kans dat water in contact komt met een reactief sediment toeneemt naarmate de afgelegde stroombaan langer is (en dus de verblijftijd groter is), is deze lengte van belang bij het chemische veranderingsproces (Witte et al., 2007). De belangrijkste verandering van grondwater voor standplaatsen is verrijking met bufferende stoffen (vooral calcium- en magnesium-bicarbonaat) en met ijzer. Kwelwater afkomstig van bijvoorbeeld de uitgeloopte kalkarme zandgronden van de Utrechtse Heuvelrug kenmerkt zich door een relatief lage hardheid en alkaliniteit.

Afhankelijk van de hoeveelheid organisch materiaal en bepaalde chemische stoffen in het doorstroomde materiaal zal het grondwater langs een stroombaan steeds verder reduceren. In benedenstroomse richting zal allereerst zuurstof verdwijnen als gevolg van de afbraak van organisch materiaal. De microbiële omzetting waarbij zuurstof wordt gereduceerd tot H<sub>2</sub>O (en tegelijkertijd organisch materiaal wordt geoxideerd tot kooldioxide) levert namelijk de meeste energie op voor de betrokken micro-organismen (Madigan et al., 2003). Deze betrekkelijke zuurstofarmoede leidt tot reductieprocessen, waarbij micro-organismen andere elektronenacceptoren gaan gebruiken, die minder energie opleveren. In volgorde van afnemende energie-efficiëntie zal eerst nitraat gereduceerd worden (denitrificatie). Vervolgens wordt mangaan gereduceerd. Daarna zullen de aanwezige ijzer(hydr)oxiden (driewaardig) worden gereduceerd tot tweewaardig ijzer (ijzerreductie). Ook zal sulfaat gereduceerd worden tot sulfide en neerslaan in de vorm van ijzersulfiden (sulfaatreductie). Als laatste stap zal methaan verschijnen in het grondwater als gevolg van methanogenese (Stumm &

Morgan, 1996; Appelo & Postma, 2006; Paulissen et al., 2007). Hier wordt verder op ingegaan in hoofdstuk 5.

Op basis van de genoemde processen kan het Nederlandse landschap worden ingedeeld in infiltratiegebieden en kwelgebieden, waarbij over het algemeen geldt dat de infiltratiegebieden van nature arm zijn aan mineralen en een diepe grondwaterstand kennen. Kwelgebieden worden gekenmerkt door een hogere grondwaterstand en door continue aanreiking van opgeloste stoffen (Witte et al., 2007). In grote delen van het Nederlands laagveenlandschap was van oorsprong hoofdzakelijk sprake van kwelgebieden.

Toegepast op de in figuur 3.2 en 3.3 weergegeven systemen kan onderscheid worden gemaakt in de volgende hoofdgroepen in grondwatertypen:

- 1) Op pleistocene zandgronden geïnfiltreerd oud zoet grondwater (>200 jr) (*watertype H1*). Dit grondwater is geïnfiltreerd in een periode met weinig begroeiing en verdamping en wordt gekenmerkt door relatief lage concentraties calcium, ijzer en bicarbonaat. Het water is volledig in evenwicht en heeft een pH van rond de 8.
- 2) Recent op pleistocene zandgronden geïnfiltreerd zoet grondwater (*watertype H2*). Dit water is op te delen in een (jonge) oxische en een suboxische component. Het grondwater is beïnvloed door atmosferische depositie en bemesting en is licht reactief. Het bevat hierdoor wat hogere concentraties calcium en bicarbonaat. Het water bevat sulfaat en heeft een pH van 6.5 – 7. De oxische component bevat relatief hoge concentraties nitraat, de suboxische component bevat vrij veel ijzer.
- 3) In de duinen geïnfiltreerd water (*watertype D1 kalkrijke duinen en watertype D2 kalkarme duinen*). Duinwater wordt gekenmerkt door een relatief laag chloridegehalte en bevat relatief lage concentraties nutriënten. Opvallend is het verschil tussen grondwater afkomstig van de kalkrijke duinen en dat van kalkarme duinen uit Noord Nederland. Dit verschil komt vooral tot uiting in de pH bij recent geïnfiltreerd water en in de hardheid van het grondwater.
- 4) Lokaal infiltrerend polder- en boezemwater (*watertype P*). Dit lokaal in polder en boezemgebieden infiltrerend water heeft een zeer heterogene kwaliteit, maar over het algemeen een hoge alkaliteit en hoge concentraties opgelost organisch koolstof (DOC),  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{PO}_4^{3-}$ , door afbraak van instabiel organisch materiaal. Oxidatie van door mariene inundaties veel voorkomend pyriet resulteert in hoge concentraties sulfaat. Deze oxidatieprocessen treden meer op dan vroeger vanwege de lage waterstanden en de hoge nitraatconcentraties in het infiltratiewater, die leiden tot pyrietoxidatie met nitraat. Ook zorgt de hoge nitraatconcentratie ervoor dat er geen ijzer meer in het grondwater oplost. Nitraat werkt immers als redoxbuffer, waardoor er geen ijzerreductie kan plaatsvinden. Bij doorstroming van diatomeerrijke klei kan het grondwater zeer hoge concentraties  $\text{SiO}_2$  bevatten.
- 5) (Fossiel) holoceen transgressiewater (*watertype L*). Deze brakke tot zoute grondwater voorkomens zijn 300 tot 8000 jaar geleden gevormd tijdens de holocene transgressies. Dit grondwatertype is zeer variabel door grote verschillen in zoutgehalte (1700 – 16.000 mg/l  $\text{Cl}^-$ ) en contact met reactieve lagen. Door langdurig contact met overvloedig aanwezig organisch materiaal, is het water diep anoxisch en bevat het water extreem hoge  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , DOC en  $\text{CH}_4$  concentraties.
- 6) Noordzee water (*watertype S*). Dit grondwatertype is ontstaan vanaf ongeveer 1000 jaar geleden toen de Noordzeekust zijn huidige positie bereikte. Dit grondwatertype heeft een chloridegehalte van 14.500 tot 17.500 mg/l. Verder is de alkaliteit betrekkelijk laag doordat het water is geïnfiltreerd in een zandige zeebodem en weinig contact heeft gehad met reactieve

holocene veen- en kleilagen. De alkaliniteit van zeewater is echter groter dan die van regen- of zoet oppervlaktewater.

Uiteraard is de hydrochemie van holoceen Nederland vele malen complexer dan in bovenstaand overzicht is weergegeven. Binnen elk grondwatertype zijn bijvoorbeeld zoneringen aanwezig in redox en buffering. Ook is het belangrijk te beseffen dat de beschreven processen ook op kleine schaal met jong grondwater kunnen optreden. Stagnerend water kan al binnen enkele dagen anoxisch zijn en al binnen een week of twee kan het water zodanig gereduceerd zijn dat er methanogenese optreedt. Een ander belangrijk aspect is het verzoeten van aquifers, waarbij fossiel holoceen transgressiewater wordt verdrongen door zoet grondwater afkomstig van duinen en hoge zandgronden. Verder verdringt Noordzeewater door zeespiegelstijging langzaam oud op de duinen geïnfiltrerd grondwater en fossiel water. In polders wordt water afkomstig uit verschillende grondwaterstromen gemengd met Rijnwater wat voor doorspoeling wordt gebruikt. Dit mengwatertype wordt vervolgens uitgeslagen op de boezem waar het deels weer kan infiltreren.



## **4 Relevante processen en factoren op gebiedsniveau**

### **4.1 Water- en stofstromen**

De waterfluxen, en daarmee de stofstromen die een gebied binnen komen, verdelen zich volgens het in figuur 3.3 weergegeven schema tussen grond- en oppervlaktewater. De interactie tussen het grond- en oppervlaktewatersysteem is cruciaal voor het regerende hoofdwatertype en de uiteindelijke standplaatscondities van zowel terrestrische als aquatische natuur.

Het is belangrijk om verschil te maken tussen inzijgingsgebieden en kwelgebieden. Van Wirdum et al. (1992) stelden dat elk laagveengebied in het Nederlands klimaat een hoogveengebied wordt, wanneer niet tenminste een zekere inzijging of kwel aanwezig is. Dit is het gevolg van het neerslagoverschot dat anders de dienst uit zal maken. In onderstaande paragrafen wordt nader ingegaan op de verschillende fluxen.

#### **4.1.1 Kwelfluxen, neerslaglenzen en oppervlakkige afstroming**

Kwelfluxen zijn van groot ecologisch belang in gebieden die stroomafwaarts in de grondwaterstroombanen liggen. Deze gebieden worden ook wel de uittredingsgebieden genoemd. Deze zijn vooral te vinden bij de benedenlopen van beekdalen, gebieden in de directe omgeving van stuwwallen en laagveenmoerassen aan de randen van de hogere zandgronden (Van der Linden et al., 1996).

Een belangrijke vraag in kwelgebieden is hoe de inkomende kwelflux wordt verdeeld tussen perceel- en oppervlaktewater. Deze verdeling van de kwelflux heeft in gebieden met zoute kwel invloed op de chloride- en nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater en de kans op verzilting van landbouwpercelen. In gebieden met zoete (basenrijke) kwel is het aandeel kwel dat de wortelzone bereikt belangrijk voor de buffering van de standplaats en daarmee voor het voorkomen van bijzondere plantengemeenschappen. Daarnaast is gerijpt grondwater vaak rijk aan ijzer en dit kan zeer belangrijk zijn voor het watersysteem in natuurgebieden. Ook heeft kwelwater een stabiliserende uitwerking op fysische standplaatsomstandigheden. De grondwatertoevoer in ongestoorde situaties is vrij constant en dit leidt tot een continue hoge grondwaterstand. Bovendien heeft het uittredende grondwater gedurende het jaar een constante temperatuur (Van der Linden et al., 1996).

Grondwater in Nederland is niet vanzelfsprekend zoet. In het Nederlandse laagveen- en zeekleilandschap komen als overblijfsel ook brak en zout grondwater voor en daarnaast intrudeert zeewater onder de duinen door naar de diepere polders. Grenswaarde tussen zoet en brak water wordt in

Nederland gesteld bij 300 mg Cl/l en tussen brak en zout bij 10.000 mg Cl/l (Paulissen & Schouwenberg, 2007). Een belangrijk kenmerk van brak water is echter ook het wisselend zoutgehalte.

### **Brakke kwel**

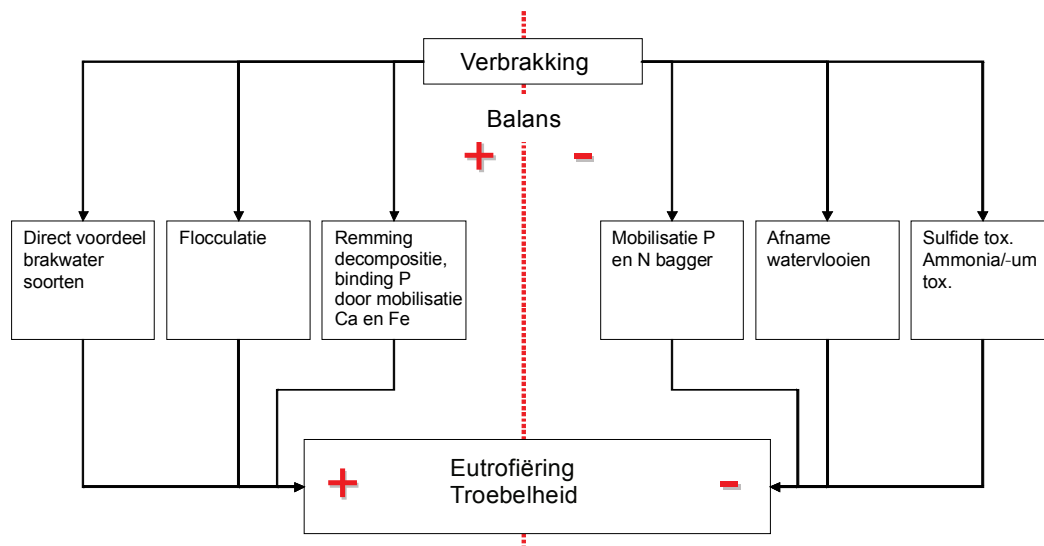
In laag Nederland is er sprake van brakke kwelwater fluxen naar diepe droogmakerijen (leeggepompte meren) en andere polders. Zout water kan onder de duinen door stromen en dit zorgt voor verzilting. Brak kwelwater kan ook afkomstig zijn van plekken waar voorheen de zee heerste (Witte et al., 2007). Sommige natuurgebieden in met name Zeeland en Friesland zijn erg afhankelijk van de aanvoer van zilt grondwater. In veel gebieden met een brakke kwel wordt nu nog een tegennatuurlijk peil gevoerd. Dit houdt in dat er in de winter een lager peil wordt gehandhaafd dan in de zomer. Hierdoor treedt er vooral in de winter brakke kwel op en is het water in de zomer zoeter. Dit is precies tegengesteld aan de fluctuaties die van nature verwacht mag worden, waarbij in de winter brak kwelwater wordt verdund met regenwater en in de zomer door indamping en aanvoer van kwel de zoutconcentraties stijgen.

De verhoging van de invloed van brak water kan verschillende positieve en negatieve effecten hebben (figuur 4.1). In het OBN-project 'Verbrakking in het laagveen en zeekleilandschap: van bedreiging naar kans?' worden deze effecten nog nader onderzocht, maar de belangrijkste effecten zijn bekend (Westendorp et al., 2010). Enerzijds kan brak water de afbraak van organische stof remmen. Zout werkt remmend op de biologische activiteit van micro-organismen (Loeb, 2008). Door de tragere afbraak van organische stof zouden er minder voedingsstoffen vrij in het water terecht kunnen komen en kan het zo zijn dat er minder bagger wordt geproduceerd, wat een positief effect kan hebben op de vegetatieontwikkeling (Westendorp et al., 2010). Door hoge sulfaatconcentraties neemt de anaerobe afbraak echter toe en het kan ook zijn dat juist hierdoor meer bagger ontstaat. Uit het OBN onderzoeksproject 'Verbrakking in het laagveen- en zeekleilandschap' lijkt te komen dat de remming op de afbraak van organische stof door hoge chlorideconcentraties vrij kortstondig is, tenzij de chlorideconcentratie sterk wisselt (Van Dijk, pers. Communic.).

Ook kan er flocculatie van kleideeltjes plaatsvinden als gevolg van een brakke kwelwater stroom naar een gebied, met als gevolg helderder water. Flocculatie van kleideeltjes wordt positief beïnvloed door de ionenrijkdom (saliniteit) van het water en de concentratie organische stof en wordt negatief beïnvloed door een lage pH (Mietta et al., 2009). Een hogere zoutconcentratie verhoogt de lading van de deeltjes. Als gevolg van flocculatie sedimenteren ook opgelost ijzer en fosfaat, die bij een hogere saliniteit aggregaten vormen. De aanwezigheid van kleideeltjes vergroot de sedimentatie van fosfaat (Forsgen et al., 1996). Daarnaast kan er meer fosfaat gebonden worden, doordat calcium en ijzer van het adsorptiecomplex vrijkomen. Hierdoor kan verbrakking zorgen voor een afname van de beschikbaarheid van fosfaat (Portnoy & Giblin, 1997; Baldwin et al., 2006).

Anderzijds wordt bij anaërobe afbraak sulfaat omgezet in sulfide en kan er door de binding van sulfide met ijzer minder fosfaat aan ijzer binden. Hierdoor kan de fosfaatbeschikbaarheid in het water en in de bodem sterk toenemen in een brak kwelgebied (Lamers, 2001). Dit gegeven wordt nader toegelicht in hoofdstuk 5. Als er echter geen ijzer in het water aanwezig is, dan kan er sulfidetoxiciteit ontstaan. Vaak ontwijkt dit sulfide uit anaërobe zwavelrijke

bodems in de vorm van het gas waterstofsulfide, dat verantwoordelijk voor de rotte-eierenlucht in veel brakke kwelzones en moerasgebieden (Paulissen et al., 2007). Ook ammonium kan toxisch zijn en door de hoge kationenuitwisseling in brak water, is de concentratie van ammonium in het brakke water hoog. Bij een hoge pH in brakke wateren wordt een deel van de ammonium omgezet in ammoniak, dat erg giftig is voor macrofauna en vis (Alonso & Camargo, 2009) en voor planten (Bloemendaal & Roelofs, 1988). Waarden boven 1.6 mg ammonium per liter ( $100 \mu\text{mol l}^{-1}$ ) in de waterkolom zijn al giftig voor gevoelige soorten (Lamers et al., 2010).



Figuur 4.1; De mogelijke effecten van een verhoogde brak water invloed.

### Zoete kwel

In andere gebieden, zoals bijvoorbeeld de Oostelijke Vechtplassen, spelen zoete kwelwaterstromingen een belangrijke rol. Belangrijk hierbij zijn de gehalten aan ijzer en calcium in het grondwater, omdat de aanwezigheid van deze componenten kan leiden tot natuurlijke defosfatering van het grondwater.

Ijzer kan in twee verschillende oxidatietoestanden voorkomen in de bodem; als tweewaardig ijzer ( $\text{Fe}^{2+}$ ) en als driewaardig ijzer ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Het slecht oplosbare driewaardige ijzer is over het algemeen gebonden aan het geologische substraat, maar in anaërobe condities kan dit driewaardig ijzer worden omgezet in tweewaardig ijzer door ijzerreducerende bacteriën (Madigan et al., 2003). Tijdens het uittreden in kwelzones, zodra het grondwater in contact komt met zuurstof, is er sprake van oxidatie van het tweewaardige ijzer. Dit gebeurt onder invloed van ijzeroxiderende bacteriën en hierbij worden ijzerhydroxiden gevormd, waardoor de zuurgraad stijgt. De gevormde ijzerhydroxiden zijn in ijzerrijke kwelgebieden herkenbaar als rode neerslag op de waterbodem of als 'olieachtige film van ijzerbacteriën' (Paulissen et al., 2007).

De concentratie tweewaardig ijzer in voedend kwelwater kan van groot belang zijn voor het functioneren van aquatische ecosystemen, waarin fosfor een belangrijk limiterend element is voor de primaire productie (Lucassen, 2004; Paulissen et al., 2007). Aanvoer van tweewaardig ijzer verhoogt tevens de concentratie aan ijzer(hydr)oxiden in de bovenste, aërobe bodemlaag. Hierdoor kan de capaciteit van de bodem om fosfaat vast te leggen worden

vergroot en blijft de mobilisatie van fosfaat naar het oppervlaktewater in een kwelzone beperkt (Lucassen, 2004). Voor de  $\text{Fe}/\text{PO}_4$  ratio in het anërobie bodemvocht van onderwaterbodems geldt: waarden lager dan 1 (mol/mol) veroorzaken een sterke mobilisatie van fosfaat naar de waterlaag, bij waarden hoger dan 10 is deze mobilisatie gering (Geurts et al., 2008; Lamers et al., 2010).

Ook kan fosfaat gebonden worden aan calcium, aangevoerd in kwelwater (Paulissen et al., 2007). De  $\text{Ca}/\text{PO}_4$  ratio in het anërobie bodemvocht geeft een indicatie van de fosfaatbinding in de bodem; tussen 100 en 1000 neemt de fosfaatconcentratie in het bodemvocht sterk af. De relatie met de fosfaatmobilisatie naar de waterlaag is echter minder duidelijk dan bij de  $\text{Fe}/\text{PO}_4$  ratio (Lamers et al., 2010).

De toevoer van calcium en bicarbonaat in laagveenmoerassen zorgt ook voor goede buffering van de standplaats. Tevens kan de aanvoer van anoxisch grondwater zorgen voor buffering, omdat er reductie van ijzer en sulfaat kan optreden waarbij bicarbonaat ontstaat. Afname van de invloed van basenrijk/anoxisch kwelwater op een standplaats (verdroging) heeft tot gevolg dat de beschikbaarheid van calcium en bicarbonaat afneemt en de invloed van regenwater toeneemt en dit heeft grote effecten op de zuurgraad op standplaatsniveau. Het veen fungeert als buffer, waaraan basen gebonden worden. Deze kunnen nog geruime tijd worden uitgewisseld tegen waterstof en zodoende de samenstelling van het veenwater bufferen tijdens lage waterstanden (Van Wirdum, 1993). Onder natte omstandigheden wordt de pH gebufferd door het bicarbonaat-kooldioxide evenwicht.

Bij aanvoer van zoet en basenrijk (lithoclien) kwelwater kunnen vegetaties ontstaan met grote rijkdom aan bedreigde plantensoorten. Als gevolg van verdroging zijn veel van deze zoete kwelgevoede gebieden verdwenen (Van der Linden et al., 1996). Een verminderde kwelstroom wordt niet altijd direct weerspiegeld in de vegetatie. Onderzoek in het Gorecht-gebied heeft aangetoond dat lang nadat de kwel verdwenen is de kwel-afhankelijke vegetaties zich kunnen blijven handhaven (Van Diggelen et al., 1991). Dit heeft mogelijk te maken met de voorraad calcium en ijzer die zich in de loop der tijd in de bodem heeft opgebouwd als gevolg van de kwelstroom. Het is dus belangrijk om te beseffen dat de vegetatiesamenstelling in een gebied de hydrologische situatie uit het verleden weerspiegelt en de werkelijke omstandigheden in een gebied erger en moeilijker te herstellen kunnen zijn dan verwacht op het eerste gezicht (Van der Linden, 1996).

De ratio totaal (Fe-S)/P geeft een goede indicatie voor de mate van fosfaatmobilisatie. Deze ratio is eenvoudig te meten. IJzeraanvoer (bijvoorbeeld in de vorm van zoete kwel) verhoogt deze ratio, sulfaataanvoer verlaagt deze. Een negatieve waarde duidt op hoge mobilisatie. Een totaal  $\text{Fe}:\text{S} < 1$  duidt op een lage beschikbaarheid van ijzer voor fosfaatbinding, door binding aan zwavel (Geurts et al., 2008; Lamers et al., 2010).

### ***Kwelintensiteit***

Antropogene hydrologische ingrepen op het kwelwateraanbod voor laagveenhabitats zijn op drie manieren van invloed (Schot & Van der Wal, 1992; Schot et al., 2004; Van Loon, 2010):

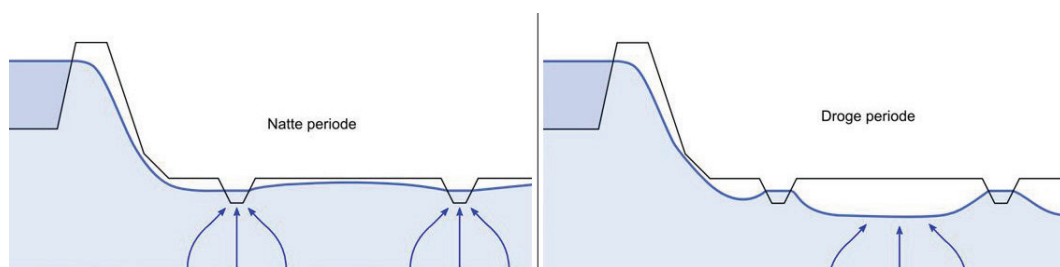
- 1) Door middel van regionale maatregelen (bijvoorbeeld grondwateronttrekkingen) wordt de grootte van de grondwaterflux naar laagveengebieden kleiner;

- 2) Vanwege drainagenetwerken wordt uittredend grondwater (zowel van het exfiltratie- als van het doorstroom-model) voortijdig onderschept, waardoor het de wortelzone van planten in een laagveengebied niet bereikt. Drainagenetwerken hebben een zeer grote invloed op de waterhuishouding van grondwaterafhankelijke laagveengebieden;
- 3) Het patroon van regionale grondwaterstromingen wordt verstoord door het feit dat afzonderlijke poldersystemen duidelijk verschillende maaiveld- en peilniveaus hebben.

De gemiddelde grondwaterstand in Nederland is sinds 1950 met 20 tot 50 centimeter gedaald (Wijmer, 1990; Knotters & Janssen, 2005). Belangrijkste oorzaken hiervan zijn enerzijds de landbouwsector (drainagemaatregelen) en anderzijds grondwateronttrekking door de industrie. In laag Nederland zijn in veel natte natuurgebieden kwelstromen opgedroogd, doordat de gebieden worden omgeven door sterk bemalen (en vaak dieper gelegen) landbouwpolders en er dus wegzijging optreedt. De natuurgebieden zijn als gevolg van verdroging veranderd van kwelgebieden naar inzigtgebieden, omdat door menselijke invloed de regionale grondwaterstromen en grondwatersamenstellingen aanzienlijk zijn veranderd (Grootjans, 1985; Schot et al., 1988; Witmer, 1989; Wassen, 1990; Schot, 1991; Van Wirdum, 1991; Schot & Molenaar, 1992; Barendregt, 1993; Paulissen et al., 2007). Dit heeft uiteraard grote gevolgen als het gaat om vermindering van de kwelintensiteit.

Deze verdroging heeft verschillende gevolgen in aquatische ecosystemen en moeras-ecosystemen. De kans op verzuring of eutrofiëring wordt verhoogd (Lamers, 2001; Lucassen, 2004). Verdroging leidt immers tot oxidatieve, zuurvormende processen, zeker wanneer er veel ijzersulfiden in de bodem zitten. Ook speelt hierin mee dat de aanvoer van bufferstoffen via het grondwater naar de bodem stagneert (Lucassen, 2004).

De kwelflux naar een bepaald gebied is afhankelijk van het peilverschil met hoger gelegen gebieden. Dat varieert in diepere watervoerende pakketten niet zo sterk in de loop van het jaar. In het freatische watervoerende pakket bestaan er echter grote verschillen in kwelflux naar West-Nederlandse polders. Om hier een oorzaak voor te vinden moet men in detail naar de grondwaterstroming onder de percelen kijken (zie figuur 4.2). Het linker plaatje in de figuur geeft de stromings situatie in het natte jaargetijde weer. Het grondwaterpeil in de percelen staat hoger dan het niveau van de sloten. Het water dat uit het watervoerende pakket opkwelt zal zich dan ook op de sloten richten. In het droge jaargetijde (rechter plaatje) staat het water in de percelen juist lager dan in de sloten; zeker als er aan peilbeheersing gedaan wordt. Nu zal het water dat uit het watervoerende pakket opkwelt juist in de richting van de percelen stromen. Zo is te zien dat de kwelstroom, hoewel hij in de loop van het jaar betrekkelijk constant is, intermitterend op de sloten terecht komt. De sturende factor daarbij is het verschil tussen het grondwaterpeil in de percelen en het open waterpeil in de sloten.

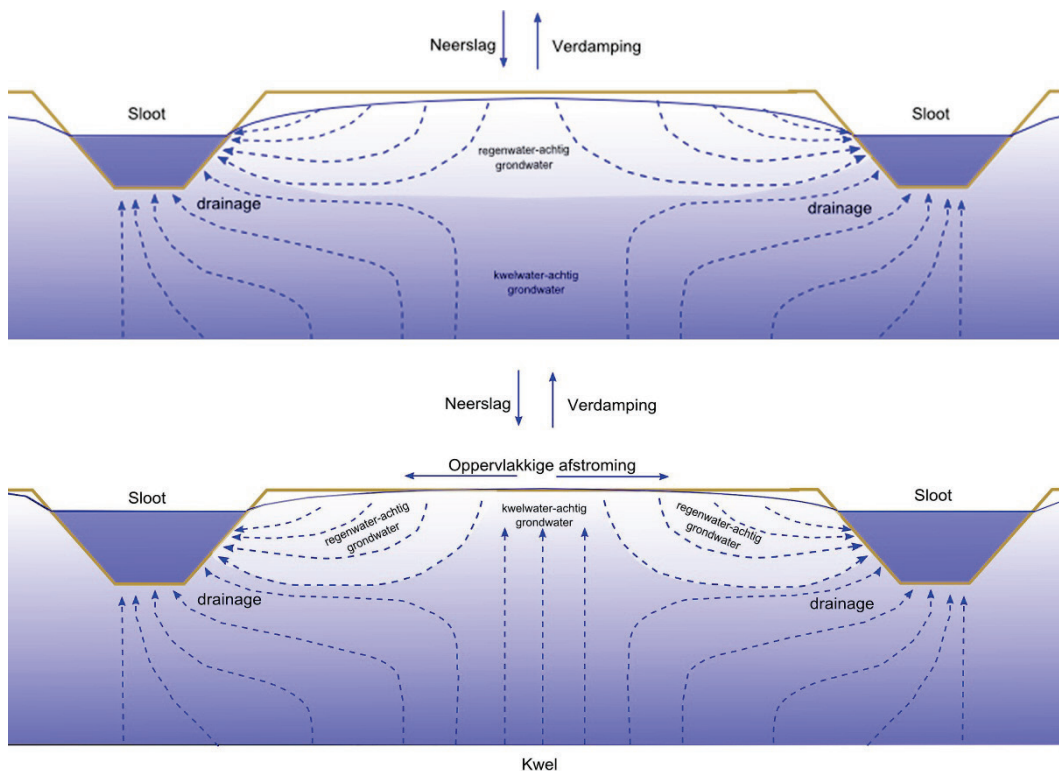


Figuur 4.2; Kweldynamiek; afwisselend stroming naar sloten en percelen.

Als we vervolgens in meer detail kijken naar de kwelflux naar een perceel, dan blijkt ook daar het peilbeheer een cruciale factor. Nederland kent een neerslagoverschot van gemiddeld 250 mm per jaar. Hierdoor zal onder normale omstandigheden een neerslaglens ontstaan, zeker wanneer sprake is van drainage en afwezigheid van grondwater toevoer (Wassen, 1990). Als gevolg van een neerslaglens zal de buffercapaciteit van de bodem afnemen en de bodem zal verzuren. Wat hier de effecten van zijn als het gaat om nutriëntenbeschikbaarheid, is nog niet geheel duidelijk. Er is lang vanuit gegaan dat als gevolg hiervan de afbraak van organisch materiaal zal afnemen en de beschikbaarheid van organisch gebonden N en P kleiner zal worden (bijv. Schouwenberg & van Wirdum, 1998). Dit is echter niet een algemeen geldende regel (Kooijman & Hedenäs, 2009). Een aantal studies hebben aangetoond dat in laagveengebieden met een lage pH juist sprake is van hoge N-mineralisatie en N-beschikbaarheid (Scheffer et al., 2001; Paulissen et al., 2004).

Met het oog op de invloed van een meer natuurlijk fluctuerend peilbeheer op de kwelintensiteit is het belangrijk om onderscheid te maken tussen de effecten op aquatische standplaatsen en de effecten op terrestrische standplaatsen en de interactie daartussen. Lage openwaterpeilen zullen vooral meer kwel naar de watergangen veroorzaken en juist voor vermindering van de kwelinvloed op de terrestrische standplaatsen leiden.

Wat echter met het oog op grondwaterstroming van groot belang is, is dat wanneer sprake is van neerslaglensen het kwelwater niet of moeizaam in de wortelzone kan komen (Schot et al., 2004) (zie figuur 4.3). Om kwelwater toch hoog in het profiel te krijgen, moet het neerslagoverschot worden afgevoerd. Dit kan door middel van oppervlakkige afstroming. Om voldoende oppervlakkige afstroming te genereren zijn grondwaterstanden aan of net boven maaiveld nodig in natte perioden. Een manier om dit te bereiken is het opzetten van oppervlaktewaterpeilen. Bij voldoende oppervlakkige afvoer zal de neerslaglens in natte perioden toch dun blijven en in droge perioden door verdamping uiteindelijk geheel verdwijnen, waardoor (basenrijk of zout) kwelwater de wortelzone kan bereiken. Dit heeft verstrekkende gevolgen voor de biogeochemische processen op standplaatsniveau.



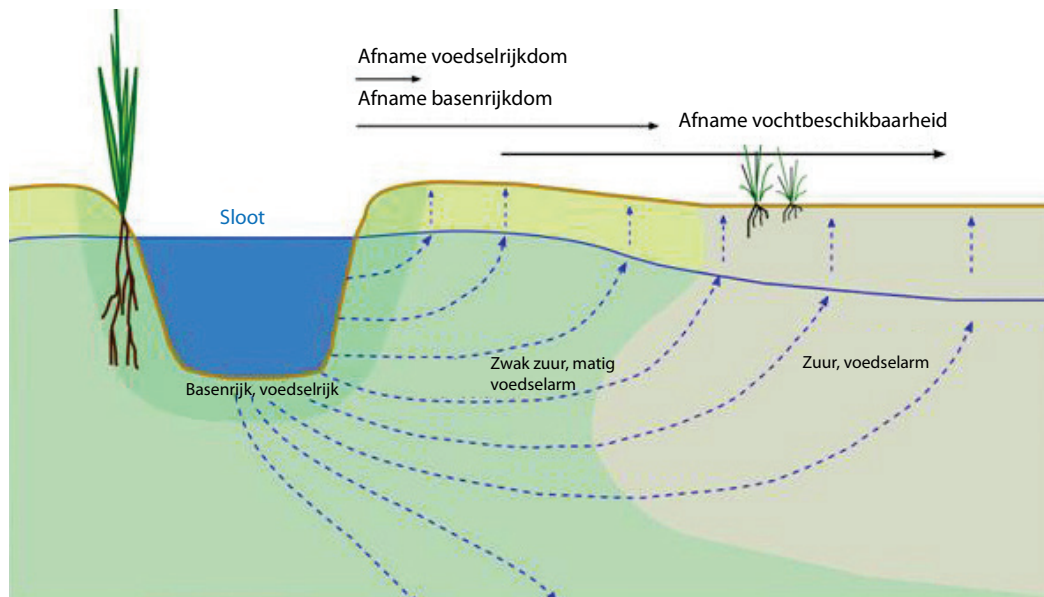
Figuur 4.3; Neerslaglenzen bij diepere ontwatering (geen oppervlakkige afstroming) en bij ondiepe ontwatering (oppervlakkige afstroming).

Overigens geldt voor het grondwater binnen een neerslaglens niet per definitie dat het gaat om infiltratiewater met neerslagwater-eigenschappen (lage concentraties aan bijvoorbeeld Ca en Mg). Het evenwicht tussen het bodemcomplex en het infiltratiewater ontstaat snel en poriewater in klei- en zavelgronden of kalkrijke zandgrond heeft daardoor al snel even hoge concentraties Ca en Mg en een even hoge zuurgraad als grondwater. In een kwelafhankelijk natuurgebied is oppervlakkige afstroming dus gunstig voor de lokale standplaatscondities. Schouwenberg et al. (1991) stelden dat om die reden in kwelafhankelijke systemen altijd gezorgd moet worden voor een oppervlakkige afvoer van water via greppels. Echter, greppels draineren, waardoor meer regenwater kan infiltreren. Tussen de greppels kan een neerslaglens ontstaan en alleen in een heel dunne strook in of langs de greppels zal kwelwater omhoog komen. Beter is het om oppervlakkige afstroming te stimuleren door laagtes te creëren of vooral te zorgen dat de grondwaterstanden in de winterperiode aan of boven maaiveld staan. Als deze afstroming echter ook in omliggend landbouwgebied optreedt, kan dit funest zijn voor de oppervlaktewater kwaliteit. Uit onderzoek van waterschap Groot-Salland voor het Staphorsterveld blijkt bijvoorbeeld dat inlaat en kwel slechts een beperkte bron van nutriënten in het oppervlaktewater vormen; het hoogste percentage van de stikstof en fosfaat is afkomstig van afspoeling vanuit landbouwpercelen binnen het gebied (Waterschap Groot Salland, 2006).

#### 4.1.2 Drainage en infiltratie

Door inpolderingen (Noordoostpolder) en droogmakerijen (o.a. Haarlemmermeer, Groot Mijdrecht) is het overgrote deel van het laagveengebied veranderd van neutraal of kwelgebied naar infiltratiegebied. Veel huidige natuurgebieden zijn hierdoor afhankelijk van voeding vanuit het

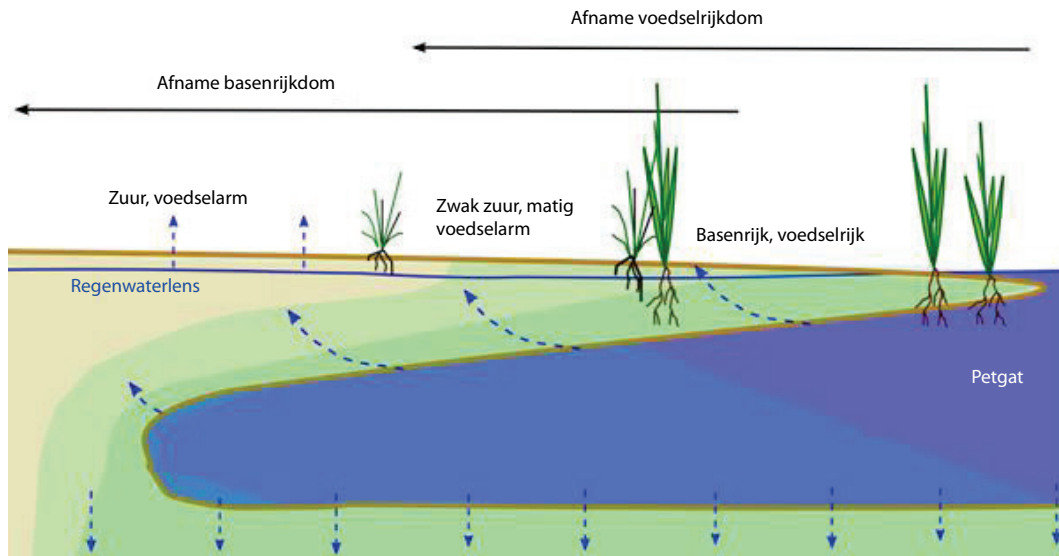
oppervlaktewater. In oppervlaktewater gevoede laagveen-natuurgebieden met een vaste bodem beperken soorten van een gebufferde standplaats zich tot een strook van hooguit enkele meters vanaf de slootkant. De afstand tot waar slootwater een perceel kan binnendringen is sterk afhankelijk van het slootpeil, de zomer grondwaterstand in het midden van het perceel en met name de doorlatendheid van de bodem. Hoe kleiner de doorlatendheid, hoe groter het stijghoogteverschil tussen slootpeil en grondwaterstand moet zijn. Door afnemende invloed van het slootwater en toenemende invloed van regenwater kan zich een gradiënt ontwikkelen van relatief voedselrijk naar voedselarm en van gebufferd naar zuur en worden soorten van gebufferde standplaatsen teruggedrongen tot een strook van maximaal enkele meters vanaf de sloot. De afstand waarover inlaatwater in de oevers kan doordringen is afhankelijk van de horizontale doorlatendheid van de bodem (Van der Linden et al., 1996). Het is met het oog op de uitwerking van een fluctuerend peilbeheer in de aan de sloot grenzende terrestrische habitattypen dus zeer belangrijk om de dikte en de doorlatendheid van de aanliggende kragge/bodem per locatie afzonderlijk in oenschouw te nemen.



Figuur 4.4; Invloed van oppervlaktewater op terrestrische standplaatscondities in een veengebied (situatie tijdens een droge periode in het groeiseizoen).

In gebieden met een 'drijvende' bodem ontstaat een vergelijkbare gradiënt in voedsel- en basenrijkdom (figuur 4.5). Echter, doordat het oppervlaktewater onder de kraggebodem kan doordringen is de invloed veel groter dan bij vaste bodems. Ook blijven de 'grondwaterstanden' gedurende het hele jaar hoog als de kragge met het oppervlaktewater meebeweegt (wat niet altijd het geval is). Het profiel is hier dus het gehele jaar waterverzadigd, waardoor een groot deel van de neerslag oppervlakkig zal afstromen. Op een gegeven moment kan de bodem door veenvorming echter boven de waterspiegel uitgroeien en zal regenwater sterker gaan infiltreren (hoogveenvorming). In de dikker wordende kragge vindt menging tussen het van boven komende regenwater en het met buitenwater gemengde veenwater onder de kragge in mindere mate plaats. De invloed van regenwater wordt dus groter en er zal door gebrek aan buffering door organische zuren verzuring optreden (Van Wirdum, 1993). Ook waar een kragge aan de bodem vastgroeit, zal in een infiltratiegebied de invloed van neerslag toenemen met als resultaat minder soortenrijke veenmosrietlanden.





*Figuur 4.5; De invloed van oppervlaktewater op standplaatscondities binnen een drijvende kragge in een infiltrerend plassengebied.*

#### **4.1.3 Inundatie**

Door gebrekkige afwateringsmogelijkheden en gemalen met onvoldoende capaciteit was het tot in de 20e eeuw moeilijk om polders droog te houden in natte perioden. Grote gebieden inundeerden hierdoor met een mengsel van oppervlakte-, kwel- en regenwater. Tegenwoordig komen dergelijke inundaties vrijwel niet meer voor als gevolg van efficiëntere gemalen en een goed onderhouden afwateringssysteem.

Doordat de oppervlaktewaterkwaliteit na de jaren 50 in snel tempo verslechterde is inundatie van natuurgebieden lang taboe geweest. Inmiddels is de kwaliteit van het oppervlaktewater op veel plaatsen dusdanig verbeterd dat inundatie wellicht weer mogelijk is en nuttig kan zijn. Periodieke inundaties met calcium- en bicarbonaatrijk water kunnen een vergelijkbaar bufferende werking hebben als kwelwater. Groot verschil is dat bij overstromingen in een gebied met vlak maaiveld veel minder gradiënten ontstaan dan bij kwel, omdat het gehele perceel in dezelfde mate beïnvloed wordt door het oppervlaktewater (Van der Linden et al., 1996). Voorwaarde hierbij is wel dat het water uit de 'oppervlaktewaterdeken' die als gevolg van inundatie ontstaat in de bodem/kragge kan infiltreren. Deze infiltratie kan worden beperkt wanneer bodems/kraggen waterverzadigd zijn en water niet kan inzigen. Met name in de winter kan hiervan sprake zijn (Cusell et al., 2012). Hiermee dient per gebied rekening te worden gehouden als het gaat om invoering van een meer natuurlijk peilbeheer ten aanzien van basenaanreiking.

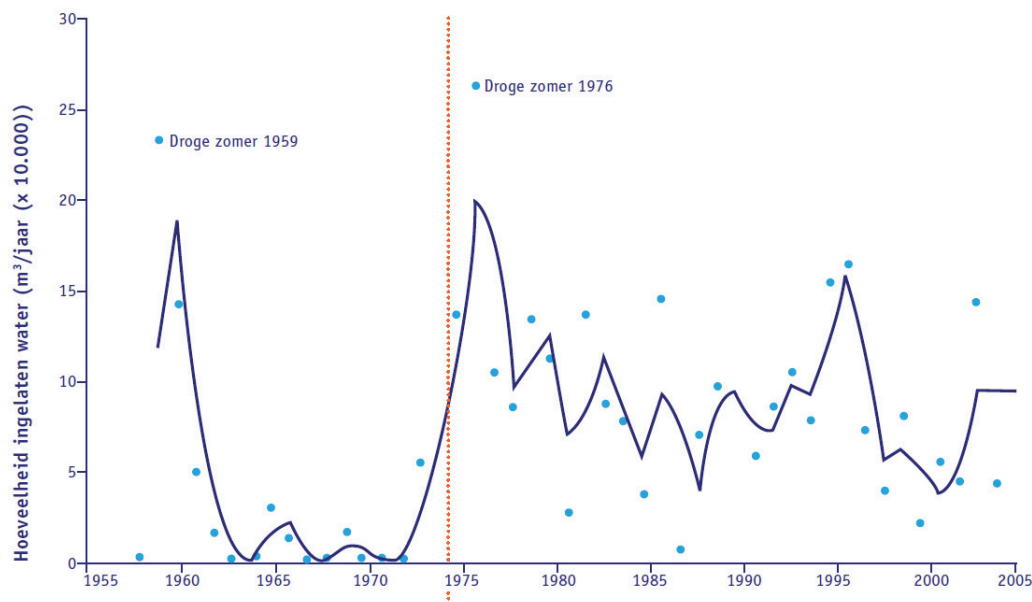
#### **4.1.4 In- en uitlaat van oppervlaktewater in relatie tot peilbeheer**

Op gebiedsschaal kan het peilbeheer een zeer bepalende factor zijn voor de water- en stofstromen. Het handhaven van een bepaald peil betekent in- en uitlaat van water. Westhoff et al. (1981) beschreven voor Noordwest Overijssel dat 'peilbeheer heeft geleid tot het grotendeels verdwijnen van de verticale dynamiek van watersystemen (peilfluctuatie) tot een sterke toename van de horizontale dynamiek (in- en uitlaat) van het water'. Afhankelijk van

de kenmerken van het specifieke gebied zal peilbeheer een groter of kleiner effect hebben op de in- en uitlaat van water. Bepalend hierin zijn onder andere:

- 1) Het daadwerkelijke peilbeheer (geen, gecontroleerd dynamisch, vast of omgekeerd) en de amplitude van het peil;
- 2) De verhouding water/land, oftewel het percentage open water; hoe groter het aandeel open water hoe meer buffering van het waterpeil er plaatsvindt;
- 3) De (geo)hydrologische situatie (o.a. kwel/wegzijing).

Diverse studies hebben al laten zien dat een ander peilbeheer kan leiden tot een enorme toe- of afname van de inlaatbehoefte. Voor de Loenderveense Plassen bijvoorbeeld heeft het instellen van een gereguleerd peil na 1974 geleid tot een grote toename van de inlaat (Jaarsma et al., 2008). Voor het Oldambtmeer in Groningen is aangetoond dat het toestaan van een seizoensmatige peilfluctuatie de inlaatbehoefte bijna volledig wegneemt (Witteveen & Bos, 2009).



Figuur 4.6; De inlaatbehoefte kent voor de Loenderveense plassen een grote toename na instelling van een gereguleerd peil sinds 1974 (Jaarsma et al., 2008).

In het geval van aquatische systemen met slechts enkele procenten open water (bijvoorbeeld kleipolders) is het effect van peilbeheer op de in- en uitlaat gewoonlijk beperkt. Omdat het watersysteem door het geringe areaal open water weinig buffering heeft, reageert het peil zeer snel op aan- en afvoer van water. In watersystemen met tientallen procenten open water (meren en plassen, petgaten) is dit heel anders. Hier kan heel wat kubieke meter water worden geborgen voordat het peil een centimeter stijgt. Veenpolders met ordegrootte 5-10% open water zitten hier tussenin.

## 4.2 Oppervlaktewaterkwaliteit en peilbeheer

Tegenwoordig wordt in peilbeheerde gebieden meestal het peil in de winter laag gehouden om het neerslagoverschot te kunnen verwerken en om over voldoende berging te beschikken in het watersysteem in extreme condities. In de zomer wordt het peil op een vast, iets hoger, niveau gehouden, vooral met het oog op de watervoorziening in de landbouw. Gevolg hiervan is dat grondwaterstromingen beïnvloed worden en de grondwateraanvulling of kwel

over het algemeen wordt verminderd. Dit kan droogteschade in landbouw- en natuurgebieden veroorzaken. Om dit te voorkomen wordt gebiedsvreemd water ingelaten, wat een negatieve invloed kan hebben op de waterkwaliteit (Marsman & van Bakel, 1994).

Het ingelaten oppervlaktewater wordt aangevoerd uit kleinere rivieren als de Vecht, het IJsselmeer en de grote rivieren. Indirect is het water bijna altijd afkomstig uit de Rijn of de Maas. Peilbeheersing heeft geleid tot een zeer brede verspreiding van dit water en hierdoor is de oorspronkelijke differentiatie in watertypen van de aquatische ecosystemen grotendeels verdwenen (Roelofs & Torenbeek, 1989). Het water van de Rijn en de Maas is carbonaatrijk en sinds enkele decennia door menselijke invloed ook rijk aan nutriënten, chloride en microverontreinigingen (Van der Linden et al., 1996).

Door middel van peilbeheer kan op verschillende manieren de kwaliteit van het oppervlaktewater op gebiedsniveau worden beïnvloed. De belangrijkste vormen van invloed zijn:

- 1) Door inlaat van water voor peilbeheer neemt de belasting met nutriënten toe of juist af, afhankelijk per gebied (paragraaf 4.2.1);
- 2) Door inlaat van water voor peilbeheer kan de overige samenstelling van het water worden beïnvloed (paragraaf 4.2.2);
- 3) Door in- en uitlaat van water voor peilbeheer neemt de verblijftijd van het water af, dit beïnvloedt allerlei fysisch-chemische en biologische processen (paragraaf 4.2.3);
- 4) Door peilregulatie neemt de dynamiek van de waterpeilfluctuatie af, dit beperkt de ontwikkeling en het areaal van moerasvegetaties (riet, biezten etc.) en vloedvlaktes en daarmee de bijdrage van natuurlijke zuiveringsprocessen aan de waterkwaliteit (paragraaf 4.2.4).

#### **4.2.1 Nutriëntenbelasting en peilbeheer**

Zoals het voorbeeld van de Loenderveense Plassen al laat zien, zorgt peilbeheersing voor een toename van de inlaat van oppervlaktewater om het waterpeil op niveau te houden. Met deze inlaat komen bij een slechte waterkwaliteit ook nutriënten binnen in het systeem. Aangevoerd water is vaak relatief rijk aan N, P en K en dit kan voor problemen zorgen. Men spreekt hier van externe eutrofiëring. Dit in tegenstelling tot interne eutrofiëring, waarbij de voedingsstoffen die aanwezig zijn in het systeem worden gemobiliseerd.

In het geval van externe eutrofiëring kunnen nutriënten zowel in opgeloste vorm als in de vorm van seston (sediment, plankton) worden aangevoerd. In water opgeloste voedingsstoffen worden aangevoerd in de vorm van nitraat, ammonium en fosfaat. In de vorm van sediment gaat het vooral om organisch gebonden stikstof en fosfor, en aan roest en kleideeltjes gebonden fosfaat. De hoeveelheid voedingsstoffen die met het sediment wordt aangevoerd is afhankelijk van het type sediment. Per volume-eenheid sediment kunnen er logischerwijs in fijner materiaal meer voedingsstoffen worden aangevoerd (Runhaar et al., 2004).

Inlaat vindt in het geval van huidige peilbeheersing overwegend in de zomer plaats, wanneer algen het hardst groeien (hoogste temperaturen en meeste licht). Toevoer van (op dat moment mogelijk limiterende) nutriënten kan de algengroei opjagen, resulterend in een afname in doorzicht. Met name in het verleden kwamen erg hoge belastingen voor (Van der Molen & Boers, 1994; Golterman, 1998). Door waterkwaliteitsmaatregelen is de kwaliteit van rivier-

en boezemwater de afgelopen decennia sterk verbeterd en de concentraties P, N en chlorofyl-a in meren en plassen zijn op landelijke schaal aanzienlijk afgenomen (Portielje et al., 2004; Pot, 2010). De belasting van buiten het peilvak met inlaatwater is niet altijd meer hoger dan de belasting vanuit het peilvak zelf.

Vooraf in het geval wanneer er binnen het gebied ook landbouwgronden aanwezig zijn, kan er van binnen het gebied sprake zijn van een flinke inspoeling van stoffen. Sinds 60 jaar worden landbouwgronden in Nederland intensief bemest, waarbij in de vorm van kunstmest en dierlijke mest vooral stikstof, fosfor, kalium en zwavel worden toegediend (Griffioen & Broers, 1999). Significante hoeveelheden nutriënten spoelen uit naar het grondwater (Koerselman et al., 1990).

Bij een lage grondwaterstand (zuurstofrijke omstandigheden) wordt het bij de afbraak van organische mest gevormde ammonium omgezet in nitraat. Dit wordt nitrificatie genoemd en dit leidt tot verzuring (zie paragraaf 5.3). Bij een hoge grondwaterstand (zuurstofarme omstandigheden) is er sprake van denitrificatie, waarbij nitraat wordt omgezet in stikstof- en lachgas dat naar de atmosfeer verdwijnt. Op basis hiervan zou men dus zeggen dat een hoge grondwaterstand gewenst is. Maar men moet niet vergeten dat er een gevaar bestaat van hoge grondwaterstanden in neerslagrijke perioden, wanneer mest over het maaiveld afspoelt naar de sloten (Witte et al., 2007).

Samengevat; een natuurlijker peilverloop, met name het toestaan van een lager waterpeil in de zomer, vermindert weliswaar de benodigde aanvoer van vervuild systeemvreemd water, maar dit betekent niet per definitie ook een vermindering van externe nutriëntenbelasting. Dit is afhankelijk van de vervuiling in de omliggende landbouwgronden en daarom moeten de mogelijke effecten per gebied apart worden bekeken. Momenteel loopt er een onderzoek in De Wieden en De Weerribben naar het effect van een natuurlijker peilbeheer op de winteraanvoer van fosfaat in kraggen en trilvenen (Cusell et al., 2012). Hieruit moet duidelijk worden of een natuurlijker peilbeheer onder geëutrofiëerde omstandigheden wellicht negatieve gevolgen kan hebben.

Het is vooral de fosfaatbelasting die leidt tot eutrofiëringsproblematiek en de daarmee samenhangende troebelheid van Nederlandse laagveenwateren. Stikstof is in dit geval niet limiterend voor algen (Boers, 1986). Afhankelijk van regio-specifieke eigenschappen verschilt de kritische belasting met P per regio. Voor een overgang van troebel naar helder liggen de kritieke waarden voor laagveenwateren mogelijk rond 0.5-1 mg P per vierkante meter per dag of lager (Lamers et al., 2010). In veel laagveenwateren in Europa ligt de kritische waarde voor externe P-belasting echter aanzienlijk hoger (Löfgren & Boström, 1989; Jensen et al., 1992; Van der Molen & Boers, 1994; Kozerski et al., 1999; Martynova, 2008).

Uit onderzoek in de Wieden en Weerribben (Cusell et al., 2012) is gebleken dat er een duidelijke gradiënt bestaat in chemische samenstelling van oppervlaktewater en bodem van de poldergemalen en sloten naar de petgaten en trilvenen. Doordat een deel van het ingelaten P, dat vanuit bovenstroomse gebieden en via poldergemalen binnenkomt, wordt opgenomen in de bodem, kan een gebied in feite als nutriëntenfilter fungeren. Deze nutriënten kunnen op een later moment vrijkomen. Dit geldt niet alleen voor ingelaten fosfaat dat aan de bodem is gebonden, maar ook voor organisch materiaal dat met inlaat is aangevoerd en daarna is bezonken en deels is afgebroken. Dit fosfaat kan door middel van resuspensie terugkomen in de waterkolom. De

waterdiepte, in combinatie met de strijklengte, bepaalt de mate van resuspensie van de sedimenttoplaag (Coops et al., 2002). Wanneer turbulentie optreedt (bijvoorbeeld door wind) kan zich dit vertalen in een schuifspanning langs de bodem en kan resuspensie optreden van particulier materiaal. Geadsorbeerde P aan sedimentdeeltjes komt zodoende beschikbaar in de waterkolom (Kristensen et al., 1992; Søndergaard et al., 1992). De waterdiepte van een gebied kan worden beïnvloed door peilbeheer en zodoende heeft het peilregime ook invloed op de mate van resuspensie van nutriënten.

In veel gebieden waar inlaat van water noodzakelijk is als maatregel tegen grondwaterstands daling of in gebieden die van oudsher gevoed worden door oppervlaktewater moeten de extern en intern eutrofiërende effecten zoveel mogelijk worden beperkt. Defosfatering kan hierbij een oplossing bieden, zoals reeds toegepast in het Naardermeer, Nieuwkoopse Plassengebied en de Botshol. Fosfaat wordt hier verwijderd aan de hand van ijzerchloride. Wanneer ijzersulfaat als vlokmiddel wordt gebruikt, blijft het risico op interne eutrofiëring bestaan.

#### **4.2.2 Overige samenstelling van het ingelaten oppervlaktewater**

Ook de overige samenstelling van het ingelaten systeemvreemde oppervlaktewater heeft een grote invloed op de condities op gebiedsniveau.

##### ***Bicarbonaat en calcium***

De kwaliteit van instromend water kan een duidelijke invloed hebben op de zuurgraad van de bodem. Wanneer het aangevoerde water bufferende stoffen bevat, wordt de mate waarin de pH van de door oppervlaktewater overstroomde bodem verandert voor een klein deel bepaald door het bufferende vermogen van het inlaatwater (Koerselman et al., 1993). Tijdens overstroming zal echter altijd alkaliniteit gevormd worden door reductieprocessen. De inlaat van water met hoge bicarbonaat- en calciumconcentraties kan een toename van afbraak van licht zuur organisch materiaal veroorzaken, omdat afbraakremmende zuren in de bodem beter worden gebufferd. Hierdoor zouden andere beschikbare nutriënten zoals ammonium, kalium en fosfaat in concentratie kunnen toenemen (Brock et al., 1985; Lamers, 2001). Hoge bicarbonaatconcentraties zijn in een anaerobe bodem echter vaak juist het gevolg van snelle afbraak.

Uit onderzoek (Van Wirdum, 1991) in laagveengebieden waarin wegzijging plaatsvindt, zoals in de Weerribben, is gebleken dat er helemaal geen sprake is van kwel, maar dat de zogenaamde 'kwelvegetaties' te danken zijn aan basenrijke wateraanvoer vanuit het slotenstelsel. Belangrijk is het dus om te benadrukken dat laagveenmoerassen ook van nature niet per definitie afhankelijk zijn geweest van basenrijk kwelwater, maar dat ook basenrijk oppervlaktewater van oudsher een rol heeft gespeeld.

Uit onderzoek in de Kiersche Wieden (Cusell et al., 2012) blijkt dat bij winterinundatie van tien dagen van basenrijk water de uitwisseling van ionen beperkt blijft tot de moslaag. Dieper in de bodem treedt infiltratie van basenrijk oppervlaktewater in veengebieden in de winter niet of nauwelijks op. In de zomer is er meer sprake van basenverzadiging door infiltratie van basenrijk oppervlaktewater. Wellicht speelt hier mee dat er door verdamping meer ruimte in het veen ontstaat. Dit zou betekenen dat, als het gaat om verhoging van de basenverzadiging door middel van inundatie, inlaat van

basenrijk water in de zomer meer effectief is dan in de winter, indien het vegetatietype dit toelaat (Cusell et al., 2012). Belangrijk hierbij is te noemen dat de resultaten van het onderzoek in de Kiersche Wieden sterk gerelateerd is aan de korte duur van inundatie en meoeilijk te vergelijken zijn met de duur (maanden) die zou optreden als het peil geheel door neerslagoverschot werd bepaald.

### **Sulfaat**

Als gevolg van inlaat van rivierwater, bemesting, verdroging en oxidatie van ijzersulfide onder invloed van uitspoelend nitraat is er veel sulfaat in het oppervlaktewater terecht gekomen (Lamers, 2001). Aanvoer van sulfaatrijk oppervlaktewater kan, net zoals in het geval van brakke kwel, een sterk effect hebben als het gaat om interne eutrofiëring (Smolders & Roelofs, 1993; Lamers et al., 1996; Van Delft et al., 2005). Dit sulfaat hoeft overigens niet per definitie afkomstig te zijn van de inlaat van rivierwater, maar kan ook zijn oorsprong vinden in afspoeling van landbouwgronden binnen of buiten het gebied, uit de bodem afkomstig zijn of uit polders die aan zee lagen. Wanneer sulfide wordt gevormd kan ijzer aan dit sulfide worden gebonden (pyrietvorming) en komt fosfaat vrij beschikbaar in het water. In hoofdstuk 5 wordt hier nader op ingegaan. Het vrijkomen van fosfaat kan een negatieve bijdrage leveren aan de eutrofiëringproblematiek.

Sulfaat kan overigens ook in het systeem zelf gegenereerd worden bij de oxidatie van pyriet ( $\text{FeS}_2$ ). In pyrietrijke gronden komen daardoor vaak hoge concentraties sulfaat in het grondwater voor, wat een bedreiging vormt voor kwelafhankelijke natuurgebieden (Witte et al., 2007).

Bij aanvoer van sulfaathoudend oppervlaktewater kunnen zuurstofloze omstandigheden ontstaan, waarbij organische stof wordt afgebroken onder invloed van sulfaat. Hierbij kan sulfaat zelfs een beperkende factor worden (Kemmers & Koopmans, 2009). Als er geen ijzer in het water aanwezig is, dan kan er als gevolg van sulfaatrijk inlaatwater net zoals in het geval van brakke kwel sulfidetoxiciteit ontstaan (Smolders & Roelofs, 1996). Ook hier wordt nader op ingegaan in hoofdstuk 5. Voor de sulfaatconcentratie van het (inlaat)water geldt: waarden hoger dan 10-20 mg l<sup>-1</sup> kunnen bij een ongunstige verhouding tussen ijzer en fosfaat tot sterke fosfaatmobilisatie in het bodemvocht leiden. Deze waarden worden dan ook gezien als kritieke milieuwaarden voor chemische stuurvariabelen (Lamers et al., 2010).

#### **4.2.3 Verblijftijd**

In- en uitlaat van water voor peilbeheer zorgt voor extra waterstromen en dus voor een afname van de verblijftijd van het water in het watersysteem. Vooral voor watersystemen met een relatief groot wateroppervlak kan het effect erg groot zijn. De afname van de verblijftijd kan allerlei effecten met zich mee brengen zoals:

- 1) Het beperken van de algengroei (vooral blauwalgen zijn hiervoor gevoelig vanwege hun geringe groeisnelheid);
- 2) Een verminderde retentie (% nutriënten, dat achterblijft in het watersysteem);
- 3) Een hogere kritische belasting (als resultante van beide voorgaande processen kan het watersysteem een hogere belasting verwerken, alvorens er waterkwaliteitsproblemen optreden).

#### **4.2.4 Moerasontwikkeling en vloedvlaktes**

In de afgelopen decennia is het Nederlandse areaal aan helofytenvegetaties sterk afgenomen (Coops, 1996; Graveland & Coops, 1997). Dit geldt overigens niet alleen in Nederland, maar ook elders in Midden Europa (Ostendorp, 1989). Deze afname is deels te wijten aan regulering van het waterpeil (Coops & Hosper, 2002), deels te wijten aan eutrofiëring (Van der Putten, 1997) en deels te wijten aan de toegenomen begrazing door watervogels (Clevering, 1995).

Alternatieve waterpeilregimes worden geacht betere omstandigheden te creëren voor de uitbreiding van helofytenvegetaties. Zo wordt gesteld dat een natuurlijker peilbeheer met verlaagd zomer- en verhoogd winterpeil meer kansen biedt voor helofytenvegetaties, waarbij met name de waterrietfase wordt verlengd (Graveland & Hosper, 1999; Lenssen et al., 1999). Een verlaagd zomerpeil verhoogt de kansen voor (Coops et al., 2002; Belgers & Arts, 2003):

- 1) Verdere klonale kolonisatie van ondiep water door oevervegetatie vanaf land;
- 2) Succesvolle kieming uit zaad op droogvallende sedimenten;
- 3) Afbraak van voor helofyten toxische stoffen (zowel anorganische als organische) die onder gereduceerde omstandigheden zijn ontstaan;
- 4) Vitaler Riet doordat golfslag niet telkens op hetzelfde punt werkt.

Waterpeil en waterdiepte zijn belangrijke sturende factoren voor de ontwikkeling van oevervegetatie (Coops, 1996). Drie factoren zijn hierbij van belang (Coops et al., 2002):

- 1) Morfologie van de bodem (o.a. oppervlakte met ondiep water). De invloed van het peil op een systeem met steile oevers zal minder sterk zijn dan in een systeem waarin de oevermorfologie een minder steile hellingsgradiënt vertoont. De helling van de oeverzone bepaalt hoeveel oppervlakte beschikbaar komt bij droogval en voor hoe lang;
- 2) Grootte en vorm van het systeem (omtrek). Ook de vorm van de oever is van belang. Een systeem met bochtige oevers en eventueel eilanden heeft bijvoorbeeld een grotere interactie tussen de oeverzone en het open water;
- 3) Peilverloop (amplitude, timing, duur).

#### ***Natuurlijke zuivering***

Peilbeheer heeft via de oevervegetatie een direct effect op de nutriëntenhuishouding via fixatie of omzetting door emergente vegetatie. Door opname, opslag, afvoer van nutriënten en accumulatie van nutriënten in organisch materiaal kan de vegetatie meewerken aan tijdelijke verwijdering van nutriënten uit het systeem (Wienk et al., 2000; Sollie, 2007). De efficiëntie van deze zuivering is afhankelijk van het vegetatietype en het bodemtype. Verschillende processen spelen hierbij een rol. Ten eerste vangen helofytenzones slib in. Dit slib blijft achter tussen de stengels van de helofyten. De helofytenzone wordt hierdoor langzaam opgehoogd. Door de slibinvang wordt het water helderder en zijn de nutriënten in het slib niet meer beschikbaar in het oppervlaktewater (kleiner contactoppervlak en minder resuspensie). Daarnaast kunnen deze zones een flinke biomassa-productie hebben. Een deel van de nutriënten uit het slib en het water wordt dus vastgelegd in biomassa.

Behalve door middel van vegetatie speelt de moeraszone een grote rol als het gaat om zuivering door middel van denitrificatie, het proces waarbij nitraat

wordt omgezet in stikstofgas en naar de lucht verdwijnt. Voor een hoge denitrificatiesnelheid is echter geen moerasvegetatie nodig; ook op onbegroeide ondiepe plaatsen kan denitrificatie snel verlopen (Sollie, 2007). Ook P-verwijdering kan worden bewerkstelligd aan de hand van adsorptie. Beide processen worden nader toegelicht in paragraaf 5.3.3.

Verwijdering van nutriënten door vegetatie in een bovenstrooms gelegen deel van een stroomgebied tijdens het groeiseizoen kan een positieve bijdrage leveren aan de eutrofiëringproblematiek in een benedenstroomsgelegen deel (Lijklema, 1990). Door Mitsch & Gosselink (1993) wordt gesteld dat veel watersystemen als sink fungeren voor particulaire, anorganische nutriënten en als bron fungeren van organisch materiaal voor benedenstroomse gebieden of aangrenzende ecosystemen.

De mate waarin het water op deze manier gezuiverd kan worden is sterk afhankelijk van de retentietijd. Bij een geringe peildynamiek ontwikkelen emergente vegetaties zich minder goed, een slechte waterkwaliteit (hoge voedselrijkdom) versterkt dit effect (Lamers et al., 2010). Gevolg is dat veel wateren slechts een smal strookje emergente vegetatie langs de oevers hebben. Ook voorheen aanwezige vloedvlaktes worden door peilbeheersing niet meer overstroomd (dit is per slot van rekening het doel van het peilbeheer). Het wegvallen van de belangrijke natuurlijke zuiverende werking (invangen zwevende deeltjes, opname nutriënten door planten, denitrificatie) zou kunnen komen door peilbeheersing. Het belang van peildynamiek is bijvoorbeeld nog zichtbaar in de Donau-delta (Roemenië), waar meren in een goede ecologische toestand verkeren ondanks een hoge nutriëntenbelasting (Jaarsma et al., 2008).

### **4.3 Peilbeheer en bodemdaling**

Bodemdaling in laag-Nederland is een fenomeen dat speelde vanaf het moment waarop de mens grip kreeg op de waterhuishouding van laag-Nederland door middel van het draineren van land en het instellen van polders. Voor een deel is bodemdaling een autonoom proces door de daling van het Noordzeebekken: de autonome bodemdaling in laag-Nederland bedraagt 3-5 cm/eeuw (Griffioen et al., 2003). De mens heeft echter aanzienlijk bijgedragen aan bodemdaling. Voor de natuur is de zichzelf versterkende cyclus 'grondwaterpeilverlaging -> veenoxidatie -> bodemdaling -> grondwaterpeilverlaging' ten behoeve van het huidige landgebruik de grootste bedreiging voor natuur en deze cyclus zal waarschijnlijk niet kunnen worden doorbroken op korte termijn (Antheunisse et al., 2008). Het gaat hier om de gebieden in Noord- en West-Nederland met veen aan maaiveld of rivierafzettingen met veeninschakelingen. Bodemdaling in veenweidegebieden vindt voor 95 % plaats in het zomerhalfjaar en derhalve kan bodemdaling beperkt worden door de bodem in het warme halfjaar zo nat mogelijk te houden (Rienks et al., 2004).

Snelheden van maaiveldddaling in veenweidegebieden door veenoxidatie bedragen al sinds eeuwen enkele mm per jaar (Jansen et al., 2009). Dit lijkt weinig, maar gezien het feit dat de veenweidegebieden in laag-Nederland op gemiddeld 1 tot 2 meter beneden NAP gelegen zijn, dan geeft een daling van 2 mm per jaar binnen een eeuw een daling van 10-20 % ten opzichte van het zeeniveau (Griffioen et al., 2003). Andere rapporten spreken van een mogelijk snellere maaiveldddaling bij peilverlaging; bij lage slootpeilen kan de daling ca. 12 mm per jaar bedragen (van den Akker, 2005).



Overheden denken na over nieuwe vormen van peilbeheer aan de hand waarvan bodemdaling in samenwerking met beheerders en gebruikers kan worden afgeremd. Verschillende projecten zijn hiervoor opgezet, waaronder het BSIK project Waarheen met het veen ([www.waarheenmethetveen.nl](http://www.waarheenmethetveen.nl)) en het Veenweidepact Krimpenerwaard (Strategiegroep Krimpenerwaard, 2005). De benadering is gericht op het sterk reduceren van het aantal peilvakken (grotere peilvakken) in beheersgebieden en het water (weer) sturend te maken voor de inrichting van het landschap volgens het concept 'functie volgt peil' (Gedeputeerde Staten van Zuid-Holland, 2008).

Voor de bestaande natuur in veenweidegebieden zijn hier risico's aan verbonden. Huidige sterk gedraineerde natuurgebieden zoals natte graslanden liggen relatief hoog in het landschap door de beperkte bodemdaling. Als gevolg van instelling van grotere peilvakken kunnen deze natuurgebieden een dieper gelegen gemiddelde grondwaterpeil krijgen en dit zal negatieve gevolgen hebben met betrekking op de natuurwaarden (Antheunisse, 2008).

#### **4.4 Praktische/maatschappelijke aspecten**

Nederland is grotendeels ingericht in een situatie waarbij er sprake was van een sterke peilregulatie. Dit betekent dat allerlei gebouwen en infrastructurele werken met dit uitgangspunt zijn aangelegd. Het wijzigen van het waterpeil kan in die gevallen nadelige effecten hebben zoals verzakking, zettingschade, paalrot, opdrijven van constructies etc. Bruggen, viaducten, aquaducten e.d. moeten worden aangepast om te zorgen voor voldoende diepgang / ruimte voor de scheepvaart. Een ander probleem kan het effect van peilfluctuaties op de vaarrecreatie zijn, doordat het water te ondiep wordt (Lamers et al., 2006).

Ook bestaat er een relatie tussen waterpeilbeheer en de gebruikswaarde van grond voor landbouw. Een hogere waterstand met als doel bodemdaling tegen te gaan in veenweiden kan ervoor zorgen dat boeren pas later in het voorjaar hun land op kunnen, waardoor zij meer voer voor hun dieren moeten aankopen en machines minder productief kunnen gebruiken. Als het slootpeil omhoog gebracht wordt van 60 centimeter naar 35 centimeter beneden maaiveld betekent dat een jaarlijkse achteruitgang in inkomen van tenminste 200 euro per hectare voor een gemiddeld bedrijf (Vogelzang, 2006).

Het BSIK project 'Waarheen met het veen' is gericht op nieuwe mogelijke oplossingen voor dit probleem, zoals onderwaterdrains. Deze onderwaterdrains kunnen zorgen voor een beperking van de afbraak van veen en op die manier voor beperking van bodemdaling (Van den Akker et al., 2007).

Dergelijke praktische aspecten worden terecht en onterecht aangevoerd om de mogelijkheden voor een ander, meer natuurlijk, peilbeheer niet verder te onderzoeken. Toch zijn er naar verwachting ook veel plaatsen waar dergelijke problemen niet zullen optreden, vooral in natuurgebieden.



## 5 Relevante processen en factoren op standplaatsniveau

### 5.1 Relevante N 2000 habitattypen en soorten

Van de belangrijkste Natura 2000 habitattypen wordt een korte toelichting gegeven. De indeling van verschillende habitattypen is grotendeels gebaseerd op de successiestadia van open water naar vaste grond, ook wel genoemd verlanding (Tallis, 1983). De habitattypen worden besproken in volgorde van successie.

Tabel 5.1; De meest relevante Natura 2000 habitattypen binnen dit project.

Habitatype	Code	Terrestrisch/aquatisch
Kranswierwateren	H3140	Aquatisch
Meren met krabbenscheer en fonteinkruiden	H3150	Aquatisch
Galigaanmoerassen	H7210	Aquatisch, terrestrisch
Overgangs- en trilvenen, trilvenen	H7140A	Aquatisch, terrestrisch
Overgangs- en trilvenen, veenmosrietlanden	H7140B	Terrestrisch
Blauwgraslanden	H6410	Terrestrisch
Vochtige heiden, laagveengebied (moerasheiden)	H4010B	Terrestrisch
Schorren en zilte graslanden (binnendijks)	H1330B	Terrestrisch
Ruigten en zomen	H6430	Terrestrisch
Hoogveenbossen	H91D0	Terrestrisch

#### 5.1.1 H3140; Kranswierwateren

Dit habitatype omvat kranswiegroeiingen in voedselarme tot matig voedselrijke, basenrijke (pH 5.5-7.5), heldere (doorzicht tot op de bodem) en onvervuilde wateren (Runhaar et al., 2009). Kranswiervegetaties zijn zeer kritisch als het gaat om fosfaatconcentraties in de waterkolom (Arts et al., 2007), en de daarmee gepaard gaande algengroei. Kranswiervegetaties zijn vaak goed ontwikkeld in brakke wateren, mede vanwege geringere concurrentie met hogere planten (Runhaar et al., 2009).

Kranswierwater komt nu vooral voor in het IJsselmeergebied en in meren waar toestroom is van grondwater uit de Veluwe of de Utrechtse heuvelrug plaatsvindt. De klassieke vindplaatsen zijn de laagveenplassen, kleinere watertjes in het duingebied en de binnenduinrand en kwelgebieden op de overgang van de zandgronden naar het laagveengebied. Een kaal substraat van opgeschoonde minerale bodems (bijvoorbeeld ook petgaten die tot op zand of klei gegraven zijn) dragen bij tot gunstige omstandigheden (Gulati & Van Donk, 2002). De grote plassen en meren met kranswieren in ons land behoren tot de grootste vindplaatsen hiervan in Europa. Ook is de soortenrijkdom in ons land hoog: van de ruim veertig kranswiersoorten in Europa komt de helft in ons land voor. Nederland is daarom van zeer groot belang voor dit type (Natura 2000, 2008).

Na een bloeiperiode in de eerste helft van de twintigste eeuw volgde een sterke teloorgang, maar recentelijk is weer sprake van enig herstel (Schaminée et al., 2010). Door vervuiling van het water zijn echter veel vindplaatsen verdwenen. De toekomst van kranswierwateren is onzeker. Experimenten met defosfateren van het water zijn hoopvol. In het Naardermeer bijvoorbeeld hebben de kranswieren zich weten te herstellen na het in gebruik nemen van een defosfateringsinstallatie. De kranswieren die van min of meer brak water afhankelijk zijn, blijven echter sterk bedreigd. Goed ontwikkelde kranswiervegetaties vormen gesloten begroeiingen op de bodem, bestaande uit ondergedoken waterplanten met fijne bladeren. Hierdoor wordt opwerveling van slib tegengegaan en kunnen voedingsstoffen worden vastgelegd, waardoor het water helder blijft. Hiermee kan de terugkeer van kranswierwateren bijdragen aan duurzame verbeterde lichtcondities en daarmee aan het succes van herstelmaatregelen (Gulati & Van Donk, 2002).

Relatief belang binnen Europa: zeer groot

Tabel 5.2; Typische soorten van habitatype H3140 (Natura 2000, 2008).

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Soortgroep
Brakwaterkransblad	<i>Chara canescens</i>	Kranswieren
Breekbaar kransblad	<i>Chara globularis</i>	Kranswieren
Brokkelig kransblad	<i>Chara contraria</i>	Kranswieren
Buigzaam glanswier	<i>Nitella flexilis</i>	Kranswieren
Doorschijnend glanswier	<i>Nitella translucens</i>	Kranswieren
Fijnstekelig kransblad	<i>Chara aculeolata</i>	Kranswieren
Gebogen kransblad	<i>Chara connivens</i>	Kranswieren
Klein boomglanswier	<i>Tolypella glomerata</i>	Kranswieren
Klein glanswier	<i>Nitella hyalina</i>	Kranswieren
Kust-kransblad	<i>Chara baltica</i>	Kranswieren
Ruw kransblad	<i>Chara aspera</i>	Kranswieren
Stekelharig kransblad	<i>Chara major</i>	Kranswieren
Sterkranswier	<i>Nitelopsis obtusa</i>	Kranswieren

### 5.1.2 H3150; Meren met krabbenscheer en fonteinkruiden

Dit habitatype omvat begroeiingen van drijvende en ondergedoken waterplanten in matig voedselrijke meren en andere vlakvormige, stilstaande wateren met helder water. Het kernbereik voor de zuurgraad is neutraal tot basisch (Arts et al., 2007; Runhaar et al., 2009). De vegetatie van dit habitatype is zeer kritisch als het gaat om fosfaatconcentraties in de waterkolom. Ook is met name krabbenscheer zeer gevoelig voor de invloed van zout/brak water. Het kernbereik voor de vochttoestand is diep water (Runhaar et al., 2009). De vegetatie bestaat uit breedbladige soorten fonteinkruid, krabbenscheer en/of groot blaasjeskruid met eventueel planten met grote drijfbladen (Natura 2000, 2008).

Lange tijd is de krabbenscheergemeenschap zeer algemeen geweest (Weeda et al., 2000), maar tussen 1960 en 1990 ging krabbenscheer sterk achteruit en verdween op veel plaatsen, waarschijnlijk als gevolg van eutrofiëring en sulfidevorming in het water, versterkt door de inlaat van rivierwater in de laagveengebieden (Smolders et al., 2003a). De laatste jaren is gelukkig weer sprake van een sterke opleving (Schaminée et al., 2010).

Relatief belang binnen Europa: zeer groot

Tabel 5.3; Typische soorten van habitatype H3150 (Natura 2000, 2008).

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Soortgroep
	<i>Caenis lactea</i>	Haften
	<i>Hydroptila pulchricornis</i>	Kokerjuffers
Bruine korenbout	<i>Libellula fulva</i>	Libellen
Donkere waterjuffer	<i>Coenagrion armatum</i>	Libellen
Gevlekte witsnuitlibel	<i>Leucorrhinia pectoralis</i>	Libellen
Glassnijder	<i>Brachytron pratense</i>	Libellen
Groene glazenmaker	<i>Aeshna viridis</i>	Libellen
Vroege glazenmaker	<i>Aeshna isoceles ssp. isoceles</i>	Libellen
	<i>Bdellocephala punctata</i>	Platwormen
Doorgroeid fonteinkruid	<i>Potamogeton perfoliatus</i>	Vaatplanten
Glanzig fonteinkruid	<i>Potamogeton lucens</i>	Vaatplanten
Groot blaasjeskruid	<i>Utricularia vulgaris</i>	Vaatplanten
Krabbenscheer	<i>Stratiotes aloides</i>	Vaatplanten
Langstengelig fonteinkruid	<i>Potamogeton praelongus</i>	Vaatplanten
Ruisvoorn	<i>Rutilus erythrophthalmus</i>	Vissen
Snoek	<i>Esox lucius</i>	Vissen
Zeelt	<i>Tinca tinca</i>	Vissen
Zwarte stern	<i>Chlidonias niger ssp. niger</i>	Vogels

### 5.1.3 H7210; Galigaanmoerassen

Dit habitatype omvat de moerassen die worden gedomineerd door galigaan vegetatie. Deze zoetwater-moerasplant kan zich vestigen in basenrijke tot zwak zure, zuurstofrijke en niet al te voedselrijke milieus aan de oevers van laagveenplassen of heidevennen en duinplassen waar toevoer van basenrijk grond- en/of oppervlaktewater optreedt. Galigaan is een hoge biesachtige met zeer scherp getande bladeren. Galigaan is gebonden aan plaatsen waar het water het grootste deel van het jaar boven maaiveld staat (Runhaar et al., 2009), en heeft een voorkeur voor plaatsen waar organische en minerale bodem met elkaar in contact komen (Westhoff & Den Held, 1969). De plant komt voor in het laagveengebied, in de duinen en in het Pleistoceen district en kan onder kalkrijke omstandigheden gaan domineren. In het laagveenlandschap staat Galigaan op kraagjes en is hij een van de soorten die voor verlanding kan zorgen. Galigaan is een plant die zich moeizaam op nieuwe plekken vestigt. Daar staat tegenover dat Galigaanmoerassen lang stand kunnen houden, ook als de milieuomstandigheden verslechteren (Natura 2000, 2008).

Relatief belang binnen Europa: groot

Tabel 5.4; Typische soorten van habitatype H7210 (Natura 2000, 2008).

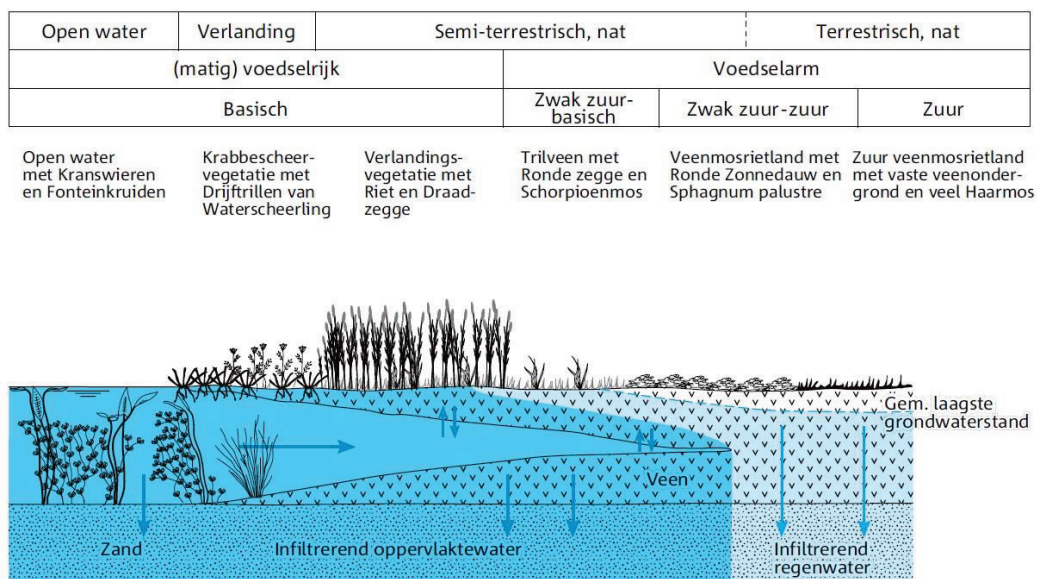
Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Soortgroep
Blauwborst	<i>Luscinia svecica ssp. cyanecula</i>	Vogels

### 5.1.4 H7140 (A&B); Overgangs- en trilvenen (trilvenen en veenmosrietlanden)

Dit habitatype bestaat uit soortenrijke veenbegravingen die ontwikkelingsstadia vormen in de verlanding die begint in het open water van sloten, plassen, beekdalen en petgaten. Trilvenen worden gezien als de meest waardevolle en bedreigde systemen in het laagveengebied en staan zelfs

bekend als het ecosysteem met de hoogste aantallen plantensoorten per oppervlakte in Nederland. Het betreft hier plantengemeenschappen van betrekkelijk voedselarme tot matig voedselrijke omstandigheden (Natura 2000, 2008).

*Subtype A* (trilvenen) wordt gevormd door trilvenen, bestaande uit mosrijke, op het water drijvende plantenmatten, die kenmerkend zijn voor basenrijke omstandigheden. Men spreekt hier van zeer zoet water met een lage voedselrijkdom. Waarden voor zuurgraad vallen tussen pH 4,5-7,5 (Runhaar et al., 2009). Een goed functioneren van landschapsecologische processen, zoals aanvoer van basenrijk en fosfaatarm water, is van groot belang in verband met het tegengaan van vervanging van schorpioenmossen door veenmossen (Kooijman, 1993; Kooijman & Paulissen, 2006). Het kan hierbij zowel gaan om in het petgat opgekweld grondwater als om basenhoudend oppervlaktewater uit de wijdere omgeving. In dit laatste geval speelt tijdelijke inundatie een grote rol en kunnen peilfluctuaties van belang zijn. Trilveen komt vooral voor in laagveengebieden in de nabijheid van pleistocene zandgronden (Noordwest-Overijssel, Oostelijke Vechtplassen) (Witteveen & Bos, 2005), maar komt ook voor in beekdalen. Over de vereiste omstandigheden in beekdalen is nog weinig bekend. Door verdere veenvorming neemt de trilveenkrage geleidelijk in dikte toe en komt een steeds groter deel boven water te liggen, leidend tot subtype B.



Figuur 5.1; De successiestadia van open water via overgangs- en trilveen (subtype A) naar veenmosrietland (subtype B) in een wegzijgingssituatie (Runhaar et al., 2000).

*Subtype B* (veenmosrietlanden) ontwikkelt zich na verdere stabilisering van de veenlaag en is kenmerkend voor zuurdere standplaatsen. Door menging van basenrijk oppervlaktewater onder de veenlaag met infiltrerend regenwater ontstaan voedselarme, gebufferde omstandigheden (pH 4,5-5,5). Hier komen plantensoorten voor als ronde zegge. Schorpioenmossen zijn in dit stadium van successie reeds verdwenen. Naarmate de veenlaag dikker wordt, gaat regenwater overheersen volgens het principe zoals besproken in paragraaf 4.1.2 (Ingram, 1983; Koerselman & Verhoeven, 1992). De zuurdere omstandigheden leiden tot minder soortenrijke veenmosrietlanden, waarvan de moslaag wordt gedomineerd door veenmossen, zoals aangegeven in figuur 5.1 (Runhaar et al., 2000).

Veenmosrietland heeft een ruimer verspreidingsgebied dan trilveen. Het komt ook voor in brakwaterveengebieden in Noord-Holland. Desalniettemin zijn beide varianten van het habitatype sterk achteruitgegaan in Nederland als gevolg van verzuring, verdroging en verbossing. Jonge verlandingsstadia, waaruit de habitatypen zich kunnen ontwikkelen, zijn schaars. In vergelijking tot de toestand in andere landen is de Nederlandse situatie echter nog relatief goed en daarom draagt Nederland in Europees verband grote verantwoording voor het behoud van dit bedreigde habitatype (Witteveen & Bos, 2005).

Relatief belang binnen Europa: zeer groot (zowel subtype A als B)

Tabel 5.5; Typische soorten van habitatype H7140A (Natura 2000, 2008).

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Soortgroep
	<i>Anabolia brevipennis</i>	Kokerjuffers
Gevind moerasvorkje	<i>Riccardia multifida</i>	Mossen
Kwelviltsterrenmos	<i>Rhizomnium pseudopunctatum</i>	Mossen
Rood schorpioenmos	<i>Scorpidium scorpioides</i>	Mossen
Trilveenveenmos	<i>Sphagnum contortum</i>	Mossen
Ronde zegge	<i>Carex diandra</i>	Vaatplanten
Slank wollegras	<i>Eriophorum gracile</i>	Vaatplanten
Veenmosorchis	<i>Hammarbya paludosa</i>	Vaatplanten

Tabel 5.6; Typische soorten van habitatype H7140B (Natura 2000, 2008).

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Soortgroep
Grote vuurvliinder	<i>Lycaena dispar ssp. batava</i>	Dagvlinders
	<i>Anabolia brevipennis</i>	Kokerjuffers
	<i>Limnephilus incisus</i>	Kokerjuffers
Elzenmos	<i>Pallavicinia lyellii</i>	Mossen
Glanzend veenmos	<i>Sphagnum subnitens</i>	Mossen
Broos vuurzwammetje	<i>Hygrocybe helobia</i>	Paddenstoelen
Kaal veenmosklokje	<i>Galerina tibiicystis</i>	Paddenstoelen
Moerashoningzwam	<i>Armillaria ectypa</i>	Paddenstoelen
Veenmosbundelzwam	<i>Pholiota henningsii</i>	Paddenstoelen
Veenmosgrauwkop	<i>Tephrocybe palustris</i>	Paddenstoelen
Veenmosvuurzwammetje	<i>Hygrocybe coccineocrenata</i>	Paddenstoelen
Gouden sprinkhaan	<i>Chrysochraon dispar</i>	Sprinkhanen & krekels
Kamvaren	<i>Dryopteris cristata</i>	Vaatplanten
Ronde zonnedaauw	<i>Drosera rotundifolia</i>	Vaatplanten
Veenmosorchis	<i>Hammarbya paludosa</i>	Vaatplanten
Watersnip	<i>Gallinago gallinago ssp. gallinago</i>	Vogels

### 5.1.5 H6410; Blauwgraslanden

Blauwgraslanden zijn soortenrijke, vochtige tot natte hooilanden op voedselarme, zwak zure tot neutrale veen- of zandgronden en soms op klei-op-veen (Blokland & Kleiberg, 1997; Van de Riet et al., 2006). De naam blauwgrasland is afgeleid van de zwak blauwgroene kleur van de soorten die het aanzien bepalen. Hydrologisch ideale omstandigheden zijn een hoge grondwaterstand in de winter (plas dras) afgewisseld met een lage grondwaterstand in de zomer (oppervlakkig uitdrogend). Een meer natuurlijk peilbeheer is voor dit habitatype van groot belang. Blauwgraslanden in beekdalen hebben van nature een zomergrondwaterstand die aanzienlijk kan dalen. Hierdoor kunnen reductie- en oxidatieprocessen elkaar afwisselen in de toplaag, zodat de voedselrijkdom wordt verlaagd (Smolders et al., 2003(b);

Lucassen et al., 2005(b)). De groei van de vegetatie wordt gekenmerkt door de beperkte beschikbaarheid van stikstof en fosfaat, en wellicht van kalium. Voedingsstoffen worden aangevoerd via het oppervlaktewater en/of via kwelwater (Blokland & Kleiberg, 1997). Blauwgraslanden zijn slecht bestand tegen overstroming met voedsel- en slibrijk beek- en rivierwater. Inundatie met schoon slibarm water (mengsels van regenwater, lokaal oppervlaktewater en eventueel ook grondwater) is minder bezwaarlijk en kan in sommige situaties zelfs een belangrijke voorwaarde zijn voor de noodzakelijke zuurbuffering (Runhaar et al., 2009). Binnen dit kader kunnen peilfluctuaties een belangrijke rol spelen.

Van het oorspronkelijk areaal blauwgrasland is vrijwel niets meer over, omdat de waterhuishouding op grote schaal ingrijpend is veranderd en de percelen intensief zijn bemest. Door het wegvallen van kwel en overstroming en verlaging van de grondwaterstand zijn de blauwgraslandreservaten vaak verzuurd en dichtgegroeid met zuurminnende soorten (Weeda et al., 2002; Runhaar et al., 2004). Sinds de jaren '90 treedt een geleidelijk herstel op, vooral door middel van effectgericht beheer gericht op restauratie van de hydrologische situatie en basenverzadiging (Grootjans et al., 2001; Grootjans et al., 2004; Kemmers & Van Delft, 2004). Door middel van gecontroleerde inlaat van oppervlaktewater en door intensieve begreppeling wordt geprobeerd om verzuring tegen te gaan en gelijktijdig eutrofiëring te voorkomen. Tot nu toe wordt hier echter weinig succes mee behaald (Runhaar et al., 2004).

Relatief belang binnen Europa: zeer groot

Tabel 5.7; Typische soorten van habitatype H6410 (Natura 2000, 2008).

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Soortgroep
Moerasparelmoervlinder	<i>Euphydryas aurinia ssp. aurinia</i>	Dagvlinders
Zilveren maan	<i>Boloria selene</i>	Dagvlinders
Blauwe knoop	<i>Succisa pratensis</i>	Vaatplanten
Blauwe zegge	<i>Carex panicea</i>	Vaatplanten
Blonde zegge	<i>Carex hostiana</i>	Vaatplanten
Klein glikkruid	<i>Scutellaria minor</i>	Vaatplanten
Kleine valeriaan	<i>Valeriana dioica</i>	Vaatplanten
Knotszegge	<i>Carex buxbaumii</i>	Vaatplanten
Kranskarwij	<i>Carum verticillatum</i>	Vaatplanten
Melkviooltje	<i>Viola persicifolia</i>	Vaatplanten
Spaanse ruiter	<i>Cirsium dissectum</i>	Vaatplanten
Vlozegge	<i>Carex pulicaris</i>	Vaatplanten
Watersnip	<i>Gallinago gallinago ssp. gallinago</i>	Vogels

### 5.1.6 H4010B; Vochtige heiden, laagveengebied (moerasheiden)

Dit habitatype komt voor op voedselarme, natte, matig zure tot zure (pH 4,5-5) standplaatsen in het laagveengebied (Natura 2000, 2008). De gemiddeld laagste grondwaterstand bevindt zich zeer ondiep beneden maaiveld. De vochtige heide is bijzonder gevoelig voor verlaging van de grondwaterstand en schommelingen in de waterhuishouding (Witteveen & Bos, 2005). Peilfluctuaties zullen binnen dit habitatype naar verwachting een negatieve uitwerking hebben. Het habitatype vormt het eindstadium in de verlanding en ontwikkelt zich dan ook uit eerdere successiestadia zoals trilveen en veenmosrietland, waarbij tijdens het dikker worden van de kragge geleidelijk een regenwaterlens ontstaat die ervoor zorgt dat de bereikbaarheid



van de bovengrond voor baserijk water afneemt. De vegetatie wordt daarom gedomineerd door ondiep wortelende zuurminnende soorten (Natura 2000, 2008).

Relatief belang binnen Europa: zeer groot

Tabel 5.8; De typische soorten van habitatype H4010B (Natura 2000, 2008).

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Soortgroep
Ronde zonedauw	<i>Drosera rotundifolia</i>	Vaatplanten

### 5.1.7 H1330B; Schorren en zilte graslanden (binnendijks)

Dit subtype betreft de binnendijkse vorm van het habitatype Schorren en zilte graslanden. Het gaat om een subtype van basische standplaatsen (pH 6,5-8), licht tot sterk brakke omstandigheden en licht tot uitermate voedselrijk water (Runhaar et al., 2009). Het omvat graslanden die een marien verleden hebben en sindsdien zilt blijven door toestroom van brak of zout grondwater. Binnendijks vindt geen rechtstreekse overstrooming met zeewater plaats en vormt opkwellend zout water de belangrijkste bron van zout. Met het oog op peilfluctuaties is het belangrijk te noemen dat bij verdroging de pH extreem kan dalen als gevolg van pyrietoxidatie (Runhaar et al., 2009).

Deze zilte graslanden komen zeer lokaal voor in het laagveengebied (brakwatervenen), maar vooral in het zeeleigebied (langs krekken en in inlagen) en de afgesloten zeearmen (voormalige kwelders en schorren). Binnendijkse zilte graslanden worden aangetroffen in Zuidwest-Nederland, het brakke laagveengebied van Noord-Holland, het Waddengebied en in het noordelijke deel van het IJsselmeer (Natura 2000, 2008).

Tabel 5.9; Typische soorten van habitatype H1330B (Natura 2000, 2008).

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Soortgroep
Blauw kweldergras	<i>Puccinellia fasciculata</i>	Vaatplanten
Bleek kweldergras	<i>Puccinellia distans ssp. borealis</i>	Vaatplanten
Dunstaart	<i>Parapholis strigosa</i>	Vaatplanten
Engels gras	<i>Armeria maritima</i>	Vaatplanten
Engels lepelblad	<i>Cochlearia officinalis ssp. anglica</i>	Vaatplanten
Gerande schijnspurrie	<i>Spergularia media</i>	Vaatplanten
Gesteelde zoutmelde	<i>Atriplex pedunculata</i>	Vaatplanten
Gewone zoutmelde	<i>Atriplex portulacoides</i>	Vaatplanten
Gewoon kweldergras	<i>Puccinellia maritima</i>	Vaatplanten
Knolvossenstaart	<i>Alopecurus bulbosus</i>	Vaatplanten
Kwelderzegge	<i>Carex extensa</i>	Vaatplanten
Lamsoor	<i>Limonium vulgare</i>	Vaatplanten
Melkkruid	<i>Glaux maritima</i>	Vaatplanten
Rode bies	<i>Blysmus rufus</i>	Vaatplanten
Schorrenzoutgras	<i>Triglochin maritima</i>	Vaatplanten
Stekende bies	<i>Schoenoplectus pungens</i>	Vaatplanten
Stomp kweldergras	<i>Puccinellia distans ssp. distans</i>	Vaatplanten
Zeealsem	<i>Artemisia maritima</i>	Vaatplanten
Zeegerst	<i>Hordeum marinum</i>	Vaatplanten
Zeerus	<i>Juncus maritimus</i>	Vaatplanten
Zeeweegbree	<i>Plantago maritima</i>	Vaatplanten
Zilte rus	<i>Juncus gerardi</i>	Vaatplanten

Zilte schijnspurrie	<i>Spergularia salina</i>	Vaatplanten
Zulte	<i>Aster tripolium</i>	Vaatplanten
Tureluur	<i>Tringa totanus ssp. totanus</i>	Vogels
Haas	<i>Lepus europaeus</i>	Zoogdieren

### 5.1.8 H6430(A&B); Ruigten en zomen

Deze habitattypen worden aangetroffen op veen- en kleibodems, binnen het overstromingsbereik van rivierwater of brak boezemwater. Er wordt onderscheid gemaakt tussen H6430A; ruigten en zomen (moerasspirea) en H6430B; ruigten en zomen (harig wilgenroosje).

Standplaatscondities van subtype A worden gekenmerkt door een zeer ruime marge in zuurgraad (pH 4,5-8), zeer zoet water, matig tot zeer voedselrijk water en incidentele overstroming met beek- of rivierwater (Runhaar et al., 2009). Standplaatscondities van subtype B worden gekenmerkt door een zuurgraad van pH 6-8, matig brak tot zeer zoet water, zeer voedselrijk water en meer regelmatige overstroming met beek- of rivierwater (Runhaar et al., 2009).

Kensoorten van met name subtype B zijn te verwachten op standplaatsen die in contact staan met brak oppervlaktewater. Ook oeverruigten op regelmatig overstroomde plekken in het riviereengebied zijn relatief rijk aan typische soorten. Verzoeting en het verdwijnen van een natuurlijke rivierdynamiek vormen de voornaamste bedreigingen voor beide subtypen (Natura 2000, 2008).

Tabel 5.10; Typische soorten van habitattype H6430A (Natura 2000, 2008).

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Soortgroep
Purperstreepparelmoervlinder	<i>Brenthis ino</i>	Dagvlinders
Hertsmunt	<i>Mentha longifolia</i>	Vaatplanten
Lange ereprijs	<i>Veronica longifolia</i>	Vaatplanten
Moerasspirea	<i>Filipendula ulmaria</i>	Vaatplanten
Moeraswolfsmelk	<i>Euphorbia palustris</i>	Vaatplanten
Poelruit	<i>Thalictrum flavum</i>	Vaatplanten
Bosrietzanger	<i>Acrocephalus palustris</i>	Vogels
Dwergmuis	<i>Micromys minutus</i>	Zoogdieren
Waterspitsmuis	<i>Neomys fodiens ssp. fodiens</i>	Zoogdieren

Tabel 5.11; Typische soorten van habitattype H6430B (Natura 2000, 2008).

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Soortgroep
Echt lepelblad	<i>Cochlearia officinalis ssp. officinalis</i>	Vaatplanten
Heemst	<i>Althaea officinalis</i>	Vaatplanten
Moerasmelkdistel	<i>Sonchus palustris</i>	Vaatplanten
Rivierkruiskruid	<i>Senecio sarracenicus</i>	Vaatplanten
Selderij	<i>Apium graveolens</i>	Vaatplanten
Zomerklokje	<i>Leucojum aestivum</i>	Vaatplanten
Bosrietzanger	<i>Acrocephalus palustris</i>	Vogels
Dwergmuis	<i>Micromys minutus</i>	Zoogdieren

### 5.1.9 H91D0; Hoogveenbossen

Dit habitattype wordt aangetroffen op voedselarme, zure (pH <4.5) veengronden die permanent onder invloed staan van hoge grondwaterstanden van zeer zoet en matig voedselrijk water (Runhaar et al., 2009). De grondwaterstanden staan in de winter en in het voorjaar rond maaiveld en zakken in de zomer niet verder weg dan enkele decimeters. De vegetatie bestaat uit relatief laag blijvende berkenbossen met dominantie van Zachte berk in de boomlaag en ondergroei van overwegend veenmossen (Natura 2000, 2008). De overstromingstolerantie binnen dit habitattype is laag (Runhaar et al., 2009) en hiermee dient rekening gehouden te worden als het gaat om peilfluctuaties. Beheer moet gericht zijn op het vasthouden van regenwater en het tegengaan van verdroging. De standplaatsen moeten voldoende geïsoleerd blijven van voedsel- en bicarbonaatrijk (inlaat)oppervlaktewater. Het oligotrofe karakter van deze bossen wordt daarnaast bedreigd door atmosferische depositie van stikstof (Witteveen & Bos, 2005).

Relatief belang binnen Europa: aanzienlijk

Tabel 5.12; Typische soorten van habitattype H91D0 (Natura 2000, 2008).

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Soortgroep
Smalbladig veenmos	<i>Sphagnum angustifolium</i>	Mossen
Violet veenmos	<i>Sphagnum russowii</i>	Mossen
Witte berkenboleet	<i>Leccinum niveum</i>	Paddenstoelen
Houtsnip	<i>Scolopax rusticola</i>	Vogels
Matkop	<i>Parus montanus ssp. rhenanus</i>	Vogels

## 5.2 (Grond)waterstand als standplaatsfactor

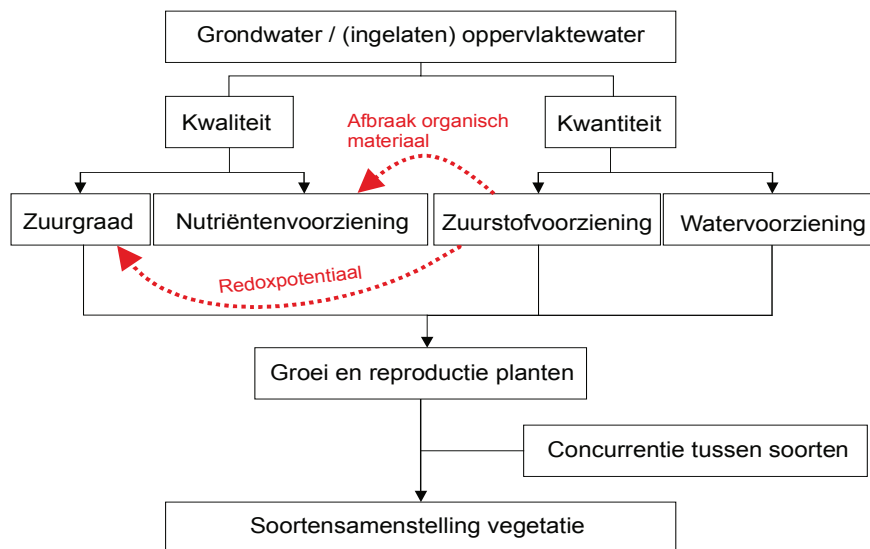
In het Nederlands laagveen- en zeeleilandschap heeft zowel het grondwater als het oppervlakkige (inlaat)water op veel verschillende manieren invloed op het functioneren en de soortensamenstelling van ecosystemen op standplaatsniveau. De hoeveelheid grondwater is van belang voor zowel vochtvoorziening voor planten als de hoeveelheid zuurstof in de bodem. Ook worden via het grondwater en het oppervlaktewater stoffen aan- en afgevoerd die hoofdzakelijk van invloed zijn op de zuurgraad en het nutriëntengehalte in de wortelzone.

Er bestaat een duidelijk verschil tussen (grond)waterstand als standplaatsfactor voor de open water (aquatische) standplaatsen en de terrestrische standplaatsen. Voor aquatische standplaatsen geldt vooral de vochtvoorziening als bepalende factor, terwijl voor de terrestrische standplaatsen ook zuurstofvoorziening zeer bepalend is. Bovendien hoeft de interactie tussen aquatische en terrestrische standplaatsen niet vanzelfsprekend te zijn. Zelfs al kent het open water geen peildynamiek, dan zal de grondwaterstand van aanliggende terrestrische standplaatsen die als gevolg van het jaarlijkse verloop van neerslag en verdamping die wel kennen.

### 5.2.1 Beschikbaarheid van zuurstof en water

Of planten op een bepaalde plek kunnen overleven wordt onder meer bepaald door de beschikbaarheid van zuurstof en water in de bodem. Als de beschikbaarheid van zuurstof of water in de wortelzone op terrestrische

standplaatsen onvoldoende is om aan de vraag te voldoen, zullen planten die aan deze omstandigheden niet fysiologisch zijn aangepast lijden aan zuurstof- of droogtestress. Om het optreden van beide soorten stress te kunnen begrijpen, is enige hydrologische kennis van de ondergrond noodzakelijk. De ondergrond kan verdeeld worden in twee belangrijke zones: de verzadigde zone (de zone onder de grondwaterspiegel en de vol-capillaire zone), en de onverzadigde zone (de zone boven de vol-capillaire zone). Plantenwortels van planten op terrestrische standplaatsen groeien over het algemeen in de onverzadigde zone. In tegenstelling tot de verzadigde zone, bevatten de bodemporiën in de onverzadigde zone zowel lucht als water. Deze zorgen voor de voorziening van zuurstof en water voor plantenwortels. Het bodemvochtgehalte en het gehalte aan luchtgevulde poriën in de onverzadigde zone hangen af van de grondwaterstand, het bodemtype, de wateropname door wortels, neerslag en bodemverdamping. Daardoor variëren deze gehalten sterk in zowel tijd als plaats (Bartholomeus, 2010). De grondwaterstand beïnvloedt via capillaire opstijging de hoeveelheid zuurstof en water in de onverzadigde zone. De grootte van de capillaire opstijging en dus de mate van invloed van de diepte van de grondwaterstand op de standplaats, hangt echter sterk af van de lokale bodemtextuur en zal dus van plek tot plek verschillen.



Figuur 5.2; De invloed van grondwater en inlaatwater op terrestrische standplaatscondities en daarmee direct op de soortensamenstelling van de vegetatie.

Normaal gesproken verkrijgen op de terrestrische standplaatsen plantenwortels voldoende zuurstof voor hun respiratie (ademhaling) direct uit de luchtgevulde poriën in de bodem. Echter, als de bodem te nat wordt, wordt lucht in de bodemporiën vervangen door water en wordt de beschikbaarheid van zuurstof limiterend voor wortelrespiratie. Planten respireren om energie voor groei en onderhoud te verkrijgen. Een tekort aan zuurstof belemmert dus de energievoorziening voor het in stand houden van het metabolisme van de plant. Planten lijden dan aan zuurstofstress. Of planten zuurstofstress ondervinden hangt niet alleen af van het gehalte aan luchtgevulde poriën in de bodem, maar is ook sterk temperatuurafhankelijk; planten verbruiken immers meer zuurstof als het warm is. Extreem natte condities (bijv. als gevolg van peilverhoging) in de zomerperiode zullen hierdoor eerder tot stress leiden dan in het vroege voorjaar of de winter.

Onder natuurlijke omstandigheden zijn soorten van de aquatische standplaatsen aangepast aan de heersende milieucondities. Op plaatsen met hoge grondwaterstanden komen bijvoorbeeld voornamelijk hygropyten voor. Hygropyten zijn soorten die zijn aangepast aan zuurstoftekorten in de bodem, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van luchtweefsels (biezen, zeggen, riet). Bovendien zijn hygropyten vaak bestand tegen voor planten giftige stoffen die ontstaan onder gereduceerde omstandigheden. Veel hygropyten kunnen zuurstof naar de wortels transporteren door middel van luchtweefsels. Diffusie van zuurstof vanuit de wortels zorgt voor een toename van de redoxpotentiaal rond de wortels en hierdoor kunnen potentieel giftige stoffen neerslaan zoals sulfide, ijzer en mangaan (Etherington, 1982). Daarnaast zijn hygropyten in staat om  $\text{NH}_4^+$ , de dominante stikstofvorm in anaërobe omstandigheden, te gebruiken als voedingsbron (Van der Linden et al., 1996). Andere soorten vermijden anaërobe omstandigheden door pas laat uit te groeien en alleen oppervlakkig te wortelen, zoals bijvoorbeeld zonnedauw, of door helemaal niet te wortelen, zoals bijvoorbeeld veenmos.

Het aantal dagen droogtestress is een goede voorspeller voor het al dan niet voorkomen van droogteminnende soorten, ook wel aangeduid als xerofyten (Jansen et al., 2000; Jansen en Runhaar, 2002). Op zavel, leem en klei is in het Nederlands klimaat de vochtvoorziening vanuit het hangwater meestal voldoende voor het overleven van vochtminnende soorten (mesofyten) maar op zand- en sommige veengronden is aanvullende vochtvoorziening nodig uit het grondwater via capillaire opstijging.

Zoals hierboven aangegeven is binnen vochtige en droge systemen het periodiek wegzakken van de grondwaterstand indirect van belang, als factor die medebepalend is voor de vochtvoorziening. In natte systemen is het periodiek diep wegzakken van de grondwaterstand meer direct van invloed op de vegetatie: de maximale diepte van de grondwaterstand en de frequentie hiervan geeft aan tot welke diepte en hoe vaak aëratie van de bovengrond optreedt. Aangenomen kan worden dat in potentieel veenvormende systemen de diepte tot waar de grondwaterstand wegzakt een kritische factor is, omdat deze het evenwicht bepaald tussen opbouw en afbraak van organisch materiaal. Hier mag de grondwaterstand in de zomer niet te ver weg zakken. Voor sommige pioniervegetaties en graslandvegetaties die voorkomen op zeer natte standplaatsen is het echter soms juist een vereiste dat de standplaatsen in de zomer wat verder droogvallen.

Het peilbeheer is direct gerelateerd aan het al dan niet optreden van zuurstof- en droogtestress. Voor de aquatische standplaatsen geldt dat het waterpeilregime één van de meest belangrijke factoren is voor waterplantengroei (Keddy & Fraser, 2000). Het huidige peilbeheer op de terrestrische standplaatsen is er op gericht om schade aan (niet aangepaste) landbouwgewassen te beperken. Het optreden van vocht en droogtestress is hierdoor zeer beperkt. Voor natuurlijke vegetaties kan juist het optreden van bijvoorbeeld zuurstofstress bepalend zijn voor het al dan niet voorkomen van specifieke (aangepaste) soorten.

### **5.2.2 Peilverhoging**

Een hoger peil heeft als gevolg dat het vochtgehalte van de bodem toeneemt. Diffusie van zuurstof gaat in water slechter dan in lucht (Blom & Voeselek, 1996). De zuurstofconcentratie daalt en daarmee daalt de redoxpotentiaal (Savant & Ellis, 1964). Bij een redoxpotentiaal onder de 300 mV wordt een bodem anaëroob genoemd (Reddy & Patrick, 1977). De snelheid waarmee de

redoxpotentiaal daalt is afhankelijk van een aantal factoren; van de snelheid waarmee depletie van zuurstof plaatsvindt, van de hoeveelheid organisch materiaal in de bodem en van de hoeveelheid reduceerbare componenten in de bodem (Wienk et al., 2000).

De depletie van zuurstof is afhankelijk van de zuurstofconsumptie door wortels van planten en micro-organismen (Gries et al., 1990; Blom & Voeselek, 1996) en van chemische oxidatie (Cavanaugh et al., 2006). Als een droge bodem wordt overstroomd zullen de zuurstofconcentraties dalen totdat er evenwicht komt tussen de zuurstofaanvoer en zuurstofconsumptie. De bodem wordt volledig anaëroob als de zuurstofconsumptie hoger is dan de zuurstofaanvoer. De zuurstofconsumptie is afhankelijk van de temperatuur en de hoeveelheid makkelijk afbreekbaar organisch materiaal. Bij temperaturen boven de 5°C nemen bacteriële afbraakprocessen en de wortelactiviteit van planten snel toe (Runhaar et al., 2004). Als het water stroomt stijgt de zuurstoftoevoer naar de bodem en als het water stil staat is er vooral sprake van anaërobe omstandigheden (Wienk et al., 2000). Een bodem met hoge organische gehalten wordt sneller anaëroob (Savant & Ellis, 1964). De mate waarin een bodem wordt gereduceerd is daarnaast afhankelijk van de hoeveelheid reduceerbare componenten in de bodem. Als de redoxpotentiaal daalt, dan zal eerst nitraat worden gereduceerd. Als alle nitraat geconsumeerd is, dan wordt het volgende element (mangaan) gereduceerd (zie paragraaf 5.3.1). Wanneer er minder elementen die gereduceerd kunnen worden bij relatief hoge redoxpotentiaal aanwezig zijn, zal de redoxpotentiaal sneller dalen (Connel & Patrick, 1969). Ook verandert de zuurgraad als gevolg van inundatie/een hoog waterpeil. Over het algemeen geldt dat de pH meer neutraal wordt. De richting waarin de pH verandert is dan ook afhankelijk van de waarde vóór inundatie. In zowel de anaërobe als de aërobe laag geldt: hoe hoger de pH, hoe lager de redoxpotentiaal (Patrick et al., 1987). De zuurgraad en de redoxpotentiaal hebben immers invloed op elkaar (Wienk et al., 2000).

Ook de temperatuur van de bodem wordt beïnvloed door het al dan niet overstroomd van de bodem. En dus speelt het waterpeil mee als het gaat om de snelheid waarmee de bodem opwarmt in het voorjaar. De snelheid van deze opwarming is immers langzamer naarmate het vochtgehalte en het organische stofgehalte hoger is (Wienk et al., 2000). Een ondiep moeras (<1m) heeft een hogere bodemtemperatuur dan een diep moeras (Van Wijck et al., 1992). In een overstroomde bodem zal de temperatuur minder schommelen en in het geval van stroming zullen temperatuurwisselingen nog verder afzakken (Wienk et al., 2000). Daarnaast heeft een stijging van de bodemtemperatuur als gevolg dat (bio)geochemische processen sneller plaatsvinden (Koerselman, 1993). In het geval van bevloeiing van verzuurde graslanden heeft het bevloeiingswater een isolerende werking. Profielen van de dag- en nachttemperatuur verschillen bij bevloeiing minder dan profielen in onbevloeide delen. Bevloeiing is dus een manier om in de winter vorstschade aan de vegetatie te voorkomen (Grootjans et al., 2001).

Bovendien kan door inundatie bodemmateriaal worden geërodeerd of afgezet. Ionen die aan deze sedimenten gebonden zijn kunnen in oplossing komen of worden afgezet. Het in suspensie gaan van sediment uit de bodem kan worden bevorderd door eventueel aanwezige bodemwoelende vissen en ook hierdoor kunnen vastgelegde nutriënten vrijkomen (Wienk et al., 2000). In het geval van overstroming kan, afhankelijk van de oorsprong van het ingelaten water, gesuspendeerd materiaal worden aangevoerd en afgezet. De hoeveelheid en textuur van dit sediment is van belang met het oog op standplaatsfactoren voor de vegetatie. De hoeveelheid en gemiddelde

korrelgrootte van het sediment zal over het algemeen afnemen met een toenemende afstand tot de waterloop (Runhaar et al., 2004).

Als gevolg van biogeochemische processen (die worden besproken in paragraaf 5.3) is in een geïnundeerde bodem de fosfaatbeschikbaarheid hoger en de nitraatbeschikbaarheid lager. Olsen-P geeft in belangrijke mate de fosfaatbeschikbaarheid in oevers, legakkers en weiden aan. Totaal P waarden zeggen zeer weinig in veenbodems. Bij een Olsen-P waarde boven 16 mg (500  $\mu$  mol) P per liter vers veen neemt de kans op verzuuring (sterk) toe (Lamers et al., 2010).

Bij verschillende typen natte standplaatscondities worden verschillende planten-associaties gevonden (Schaminée et al., 1995, Schouwenberg & Van Wirdum, 1998). Logischerwijs zal de plantensoortensamenstelling veranderen als gevolg van deze variabele omstandigheden en dus als gevolg van het peilregime. Binnen drie jaar kan in een van oorsprong droog gebied na overstroming een vegetatietype ontstaan met veel overstromingstolerante soorten (Deller & Baldassarre, 1998). Het effect van een tijdelijke overstroming op de vegetatie is afhankelijk van vier factoren (Wienk et al., 2000):

- 1) De voorkomende plantensoorten (grassen tolereren bijvoorbeeld lagere zuurstofconcentraties dan andere plantensoorten)
- 2) Het groeistadium (volwassen planten ondervinden minder schade van overstroming dan jonge plantjes )
- 3) De temperatuur
- 4) De duur van de overstroming

Inundatie kan een belangrijke stressfactor zijn voor vegetatie. Buiten het groeiseizoen is vooral mogelijke sedimentatie van gesuspendeerde deeltjes in het water en infiltratie van het oppervlaktewater met nutriënten en basen van invloed op de vegetatieontwikkeling.

In drijvende kraggen is inundatie vaak niet mogelijk, doordat deze kraggen met het verhoogde waterpeil meebewegen. Maar juist om die reden zijn fluctuerende waterpeilen van cruciaal belang om kraggen los te houden van de ondergrond (Lamers et al., 2006). Overigens bestaat er nog onduidelijkheid over wanneer en waardoor kraggen wel of niet geïnundeerd raken. Uit onderzoek (Cusell et al., 2012) is een verschil in respons gebleken tussen kraggen in de Kiersche Wieden en vak 60 in de Weerribben. Uit dit onderzoek blijkt dat dit verschil in respons niet samenhangt met methaanproductie, wat in theorie het drijfvermogen zou kunnen verhogen (Tomassen et al., 2003; Loeb et al., 2007). Het is mogelijk dat het verschil te maken heeft met de diepte van de zandondergrond en/of verankering van wortels in de bodem (Cusell et al., 2012). Dit dient nader te worden onderzocht. Maar het is duidelijk dat niet klakkeloos kan worden aangenomen dat alle trilvenen of veenmosrietlanden zullen overstromen bij een hoger waterpeil in de winter.

Peilverhoging kan onder bepaalde condities (o.a. sterke bemesting in het verleden) als gevolg hebben een nalevering van nutriënten en dominantie van Pitrus (Van 't Veer & Witteveldt, 2002). Ook kan overstroming met fosfaatrijk water het risico met zich meebrengen dat eutrofiëring de groeiplaatscondities stimuleert voor snelgroeiende veenmossen met een hoge verzuringscapaciteit zoals bijvoorbeeld Haakveenmos en Fraai Veenmos, waardoor verzuring juist toeneemt (Kooijman & Bakker, 1994).

Belangrijk is ook de snelheid waarmee peilverhoging en eventueel inundatie optreedt. Bij plotselinge inundatie kan zuurstof worden ingesloten als water van bovenaf het profiel indringt. Op deze manier kunnen bodemorganismen en planten nog enige tijd van zuurstof worden voorzien (Runhaar et al., 2004).

Moerasplanten kunnen de zogenaamde rhizosfeer oxideren. De rhizosfeer is de aardlaag met alle bijhorende abiotische factoren in de onmiddellijke nabijheid van de plantenwortels, die onder invloed staat van de wortels. Op deze manier kunnen de toxische effecten van anaërobe processen tegen worden gegaan. Zuurstof wordt getransporteerd naar de wortels en in aanwezigheid van zuurstof worden toxische gereduceerde elementen geoxideerd. Planten die in deze gereduceerde omstandigheden niet in staat zijn tot oxideren van de rhizosfeer zullen sterven (Gries et al., 1990; Van Wijck et al., 1992), want het sulfide kan bij deze planten binnendringen (Blom & Voeselek, 1996). Sulfide is immers toxisch voor planten wanneer het vrij in het water voorkomt (Smolders & Roelofs, 1996; Fogli et al., 2002). Verschillende plantensoorten zijn zeer gevoelig voor sulfidetoxiciteit, bijvoorbeeld Riet (Fürtig et al., 1996; Fogli et al., 2002), Krabbescheer (Roelofs, 1991; Smolders & Roelofs, 1996; Smolders et al., 1996; Smolders et al., 2003(a)) Buigzaam glanswier (Van der Welle et al., 2006) en Tweerijige zegge (Lamers, 2001). Sulfidewaarden in de bodem boven 0,3 mg l<sup>-1</sup> (10 µmol l<sup>-1</sup>) zijn al giftig voor gevoelige soorten (Lamers et al., 2010). Overigens kunnen ook toxische organische afvalproducten van bacteriën, zoals melkzuur, azijnzuur en oxaalzuur ontstaan wanneer het plantaafval op de bodem terecht komt in anaërobe omstandigheden (Armstrong & Armstrong, 1999).

Vanwege het gebrek aan zuurstof in de directe anaërobe omgeving van de wortels wordt de zuurstof door de plant vanuit bovengrondse delen naar de wortels getransporteerd door middel van luchtweefsels (Sjölberg & Danell, 1983). In hoeverre de aanwezigheid van luchtweefsels tijdens inundatie een oplossing is om zuurstoftekorten te voorkomen hangt af van de ontstane waterdiepte. Voorwaarde is dat de bladeren boven water uitsteken (Runhaar et al., 2004) en dus verschillen de overlevingskansen bij een verhoogd peil per plantensoort. Er is bijvoorbeeld sprake van een achteruitgang van Riet langs rivierdelen met grote peilfluctuaties in het voorjaar. Riet moet om die reden verder doorgroeien in het voorjaar om de bovenste delen boven water te houden en zuurstof op te kunnen nemen. De vitaliteit neemt daardoor af (Graveland & Coops, 1997). Ook zijn moerasplanten in staat stikstof op te nemen door middel van actieve ammoniumopname, waarbij H<sup>+</sup> ionen worden uitgescheiden (Schaminée et al., 1995).

De biogeochemische gevolgen van inundatie worden nader besproken in paragraaf 5.3.1.

### **5.2.3 Peilverlaging**

Er zijn slechts enkele soorten helofyten die onder water kunnen kiemen, zoals Kleine lisdodde en Mattenbies. De rest van de soorten is voor kieming vanuit zaad afhankelijk van droogval. De fysieke afstand van de kiemplant tot het oppervlaktewater is in grote mate bepalend voor de uiteindelijke hoeveelheid golven die de kiemplant te verduren krijgt. Het peilverloop gedurende het jaar is daarom van cruciaal belang. Een stagnant waterpeil zal leiden tot afzetting van zaden in de winter op de plek waar in de lente de golfwerking ook hoog is, terwijl een natuurlijk peilverloop zal leiden tot afzetting van zaden in de



winter hoog op de oever, waarna de kiemplanten door het lagere lente- en zomerpeil minder kans zullen hebben om weg te spoelen (Sarneel, 2010). Ook voor ondergedoken waterplanten kan peilverlaging de kieming stimuleren (Van Geest et al., 2005). Zo wordt de kieming van kranswier bijvoorbeeld duidelijk gestimuleerd door tijdelijke droogval in het voorgaande jaar, mits de vegetatie voldoende tijd heeft gehad om zich voort te planten en droogval pas laat in het groeiseizoen plaatsvindt (Van Geest et al., 2011).

Als gevolg van droogval neemt het vochtgehalte van de bodem af en krijgen aërobe processen de overhand (zie paragraaf 5.3.2). Hiermee gaat een stijging van de redoxpotentiaal gepaard (Brouwer et al., 1999). De snelheid van deze stijging is afhankelijk van de snelheid van ontwatering, de mate van ontwatering, de mate waarin de bodem gereduceerd was en het bodemtype (Wienk et al., 2000).

Een ander effect van het droogvallen van de bodem is dat de zuurgraad verandert (zie paragraaf 5.3.2). Over het algemeen krijgt de bodem de pH-waarde zoals vóór de inundatie (Mitsch & Gosselink, 1993), al wordt dit ook bepaald door de kwaliteit van het water waarmee de bodem overstroomd was voor de peilverlaging en het bodemtype (Wienk et al., 2000). Wanneer verzuring plaatsvindt als gevolg van langdurige verlaging van de grondwaterstand in gebieden die afhankelijk zijn van basenrijk water zullen de plantensoorten plaatsmaken voor plantensoorten die kenmerkend zijn voor zuurdere omstandigheden. In soortenrijke trilvenen zullen veenmossen profiteren ten koste van slaapmossen en vervolgens actief de verzuring versnellen (Van Wirdum, 1991; Kooijman & Bakker, 1994; Lamers et al., 2004). Bij een pH lager dan 4.5 zal aluminium in oplossing gaan (Roelofs et al., 1993) en dit kan toxische gevolgen hebben voor verschillende planten- en diersoorten.

Zoals reeds genoemd wordt ook de bodemtemperatuur beïnvloed door het al dan niet droogvallen van de bodem. Droogvallen van de bodem zal leiden tot sterkere fluctuaties en extremere waarden in temperatuur (Wienk et al., 2000).

Een daling van de grondwaterstand heeft gevolgen voor het capillair transport naar de wortelzone. De hoogte boven de grondwaterspiegel tot waar voldoende capillair transport kan optreden heet de kritieke stijgafstand en deze is afhankelijk van de textuur van de bodem (Van der Linden et al., 1996).

Na droogvallen kan het organisch materiaal in een bodem worden verstevigd. De verbeterde zuurstofvoorziening leidt tot een toegenomen afbraak van organisch materiaal (veraarding) en ontstaat humus. Hierdoor kunnen de fysische bodemeigenschappen in hoge mate worden beïnvloed. Als de bodem uit fijne deeltjes bestaat (humus), kan er na droogval een compact geheel worden gevormd met lagere porositeit waardoor het binnendringen van wortels en zuurstof wordt bemoeilijkt (Kadlec, 1962; Schothorst, 1977; Blom & Voesenek, 1996). De nutriëntenhuishouding wordt beïnvloed door het compacter worden van de bodem, aangezien processen minder snel verlopen. In een veenbodem kunnen de gevolgen van langdurige ontwatering zeer groot zijn en onomkeerbaar. Als gevolg van ontwatering worden de poriën juist groter. Het typische waterretentie-vermogen van de bodem gaat hiermee verloren en als de structuur en dus de capillaire capaciteiten zijn verdwenen, dan blijven deze weg (Wienk et al., 2000). Op irreversibel uitgedroogd veen kunnen zodanige vochttekorten optreden dat mesofyten zullen verdwijnen (Van der Linden et al., 1996).

Ook kan peilverlaging doorwerking hebben als het gaat om erosie van legakkers. De waterkwaliteit in De Deelen is de afgelopen jaren afgenomen (toename P, minder doorzicht). De indruk bestaat dat dit te maken heeft met een versnelde erosie van legakkers. In de zomer (lage waterstand) droogt de veenbodem in en het hiermee samenhangende structuurverlies leidt tot een versnelde erosie. Door deze extra erosie komt er extra zwevend stof vrij in de waterkolom en na gedeeltelijke mineralisatie kent dit doorwerking in toename van trofie (algen) en minder doorzicht (Ministerie van ELI, 2011). Een tweede negatief aspect is het door erosie geheel verdwijnen van smalle legakkers, waarbij grote plassen ontstaan. Daarbij stagneert het gewenste verlandingsproces nog verder. Verlanding van grote wateren is – afgezien van de waterkwaliteit – zeer problematisch door ondermeer windwerking en opwerveling van slib.

Daarnaast kan een lagere zomerwaterstand ook een positief effect hebben op het lichtklimaat in wateren (Kranenbarg et al., 2002; Claassen, 2008). Verhoogde afbraak van organische stof als gevolg van een laag peil, zoals nader besproken in paragraaf 5.3.2., kan leiden tot productie van slibdeeltjes en humuszuren. Hierdoor kan sprake zijn van troebel water en dit is ongunstig voor ondergedoken waterplanten. Eutrofe wateren zijn vaak zo troebel dat licht de beperkende factor is voor de groei van ondergedoken waterplanten (Lamers et al., 2006). De turbiditeit van het water dient waarden te hebben onder 5-15 NTU voor een goed ontwikkelde onderwatervegetatie, maar ook voor actieve verlanding vanuit oevers en kraggen. De chlorofylconcentratie in het water mag maximaal 20 µg l<sup>-1</sup> bedragen (Lamers et al., 2010). Naast een verhoogde afbraak van organische stof kan als gevolg van golfwerking tot dichter bij de bodem bij een lager peil slib opwervelen en minder snel bezinken. Ook hierdoor kan het water troebel worden (Riegman, 2004).

Hiertegenover staat dan weer dat een goede waterplantenontwikkeling turbulentie van het water en opwerveling van deeltjes kan temperen (Madsen et al., 2001). In ondiepe, relatief troebele meren kan een peilverlaging van een tot enkele decimeters er al voor zorgen dat de verhouding tussen diepte en doorzicht wijzigt ten gunste van waterplanten. Deze waterplanten hebben op hun beurt weer een positieve invloed op de waterkwaliteit. Het is te verwachten dat een waterpeilverlaging geen of nauwelijks effect heeft op de ecologische toestand van wateren bij heel hoge nutriëntenbelastingen (wanneer het systeem altijd in troebele situatie verkeert) of bij juist zeer lage belastingen (wanneer het systeem altijd in heldere toestand is). In het intermediaire gebied van nutriëntenbelasting is met peilbeheer het hoogste rendement te behalen met betrekking tot waterkwaliteit in ondiepe meren (Coops et al., 2002). Voor uiterwaardplassen geldt overigens dat het water na een periode van droogval helderder is, omdat alle bodemomwoelende vis is gestorven.

Zoals reeds genoemd, bij verschillende typen natte standplaatscondities worden verschillende planten-associaties gevonden (Schaminée et al., 1995). Logischerwijs zal de plantensoorten-samenstelling als gevolg van deze variabele omstandigheden en dus als gevolg van peilregime geleidelijk veranderen. Er is geen sprake meer van zuurstoftekort na droogval, de gehalten aan toxische, gereduceerde elementen zijn afgenomen en stikstof is voor planten beschikbaar in de vorm van nitraat (nader uitgelegd in paragraaf 5.3.2). De soorten die zijn aangepast aan anaërobe standplaatscondities zullen dan ook worden weggeconcentreerd door soorten die aangepast zijn aan

voedselrijke omstandigheden en die alleen nitraat op kunnen nemen (Van der Linden, 1996).

#### **5.2.4 Wisselend waterpeil**

Een peilregime met wisselende waterpeilen houdt in dat aërobe en anaërobe processen in de bodem elkaar afwisselen. De mate van aëroob/anaëroob worden hangt af van de frequentie, duur en amplitude van afwisseling. De redoxpotentiaal en zuurstofconcentratie in een periodiek overstroomd gebied zullen hoger zijn dan in een continu overstroomd gebied (Megonigal & Day, 1992). Met name in het geval van een hoge frequentie en goede afwatering kan de zuurstofconcentratie in de bodem hoog worden (Wienk et al., 2000).

Met het oog op het effect van waterpeilwisselingen en nutriëntenhuishouding zijn volgens Wienk et al. (2000) drie factoren van belang: de frequentie (aantal wisselingen per jaar), de duur (lengte van periode van inundatie dan wel droogval) en de amplitude (grootte van verschil tussen de waterstanden). De duur van inundatie bepaalt de mate waarin de bodem gereduceerd wordt en of de planten overleven of niet. De amplitude is van groot belang, maar de impact van de amplitude is afhankelijk van de waterstand vóór inundatie dan wel droogval. Ligt de waterstand voor inundatie bijvoorbeeld onder maaiveld, dan zal inundatie leiden tot een zeer sterke daling van de redoxpotentiaal. Ligt de waterstand reeds rond maaiveld, dan zullen vooral andere effecten gaan meespelen (sedimentatie, vermindering lichtbeschikbaarheid). Voor droogval geldt volgens hetzelfde principe: ligt de waterstand na droogval onder grondoppervlak, dan wordt de bodem aëroob en zullen gereduceerde componenten oxideren. Het effect van de amplitude is dus afhankelijk van de begin- of/ en eindwaarden van de waterstand. Overigens bepaalt de amplitude het oppervlak dat overstroomt of droogvalt bij een wisselend peilregime (Wienk et al., 2000). Hierbij is het profiel van de oeverzone van groot belang. Megonigal & Day (1992) noemen naast de amplitude en duur ook de timing als belangrijkste factor. Met name met het oog op de groei van plantensoorten is de timing in het jaar van veranderingen in het waterpeil zeer bepalend (Hultgren, 1989).

Ook de diepteverdeling wordt bepaald door peilbeheer en dus zal een wisselend waterpeil leiden tot wisselingen in de diepteverdeling. Dit heeft directe gevolgen voor de mate van sedimentatie/resuspensie en voor de overleving van waterplanten (Wienk et al., 2000). Ook hangt de diepteverdeling samen met het al dan niet in gebruik zijn van het gebied als foerageerareaal of slaapplek van bijvoorbeeld ganzen (Meeks, 1969). Dit kan ook van belang zijn met het oog op de nutriëntenhuishouding, omdat nutriënten door vraat uit het gebied worden gehaald (foerageergebied) of juist erheen worden gebracht (rustplaats).

De fysische effecten die teweeg worden gebracht door een frequent wisselend peilniveau kunnen, afhankelijk van de geomorfologische condities, van belang zijn. Zo is er bij hoge stroomsnelheden bij inlaatpunten sprake van sterkere erosie. Als gevolg van opwerveling van deeltjes en aanvoer van slib kan troebeling ontstaan en dit heeft negatieve effecten op de lichtbeschikbaarheid (Wienk et al., 2000). Maar een flexibel peil kan ook leiden tot minder erosie/afkalving van de oevers, omdat golfaanslag steeds op een ander niveau aangrijpt. Een star peilregime zorgt ervoor dat de belasting van helofytenvegetatie door golfslag steeds op dezelfde zone plaatsvindt, waardoor de vegetatie in deze zone kan worden aangetast. Afwisseling van het waterpeil kan een positieve bijdrage leveren om deze aantasting te

voorkomen. Minder erosie kan de troebelheid van het water juist verminderen en daarmee de kansen voor waterplanten juist vergroten.

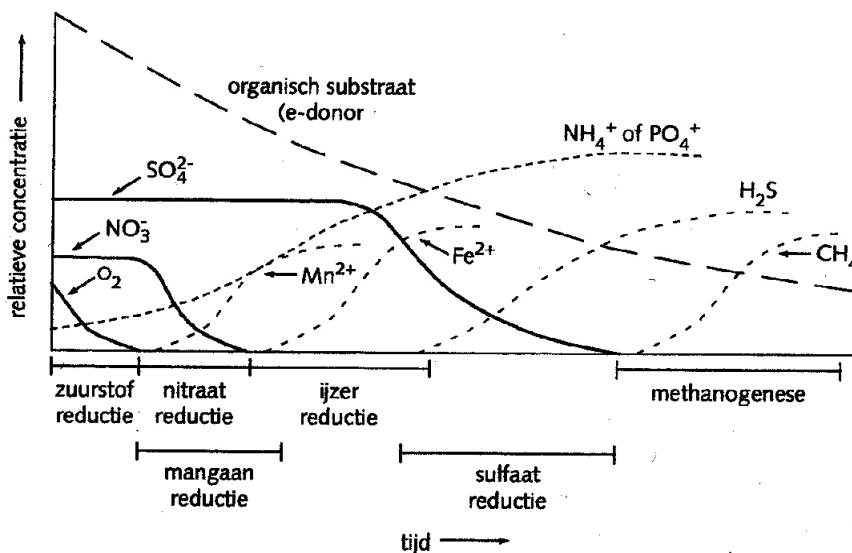
Ook kunnen langdurige of frequente inundaties de bodemstructuur veranderen. Als gevolg van inundatie kunnen grote aggregaten in kleinere deeltjes uiteenvallen, waardoor de bodem compacter wordt wanneer deze weer droogvalt (Blom & Voeselek, 1996).

### 5.3 Biogeochemische processen

Peilfluctuaties kunnen grote invloed hebben op biogeochemische processen in laagveenhabitats (Verhoeven, 2009). De belangrijkste biogeochemische effecten van een natuurlijker peilbeheer houden verband met verschillen in de zuurstofvoorziening in de bodem.

#### 5.3.1 Biogeochemische processen bij peilverhoging

Bij een stagnant hoog peil raakt een groot deel van de (water)bodem zuurstofloos en vindt de afbraak van organische stof plaats onder anaërobe omstandigheden. In plaats van zuurstof worden hiervoor alternatieve elektron acceptors, respectievelijk nitraat (denitrificatie), mangaan (mangaanreductie), ijzer (ijzerreductie), sulfaat (sulfaatreductie) en koolstof (methanogenese) gebruikt (Mitsch & Gosselink, 1993; Stumm & Morgan, 1996). Hoe minder van deze elementen aanwezig zijn in de bodem, hoe trager de anaerobe afbraak verloopt (Verhoeven, 2009).



Figuur 5.2; Reductieprocessen die spelen bij peilverhoging (inundatie) en de relatieve concentraties van stoffen die bij deze redoxprocessen betrokken zijn (Mitsch & Gosselink, 1993).

In de bodem wordt, nadat de nog aanwezige zuurstof is verbruikt voor de oxidatie van organisch materiaal, als eerst nitraat voor denitrificerende bacteriën gebruikt als elektronenacceptor. Bij nitraatreductie worden twee processen onderscheiden: denitrificatie en reductie van nitraat tot ammonium (dissimilatieve nitraatreductie). Denitrificatie wordt gedefinieerd als de biologische reductie van nitraat tot gasvormige eindproducten als  $N_2$  of  $N_2O$ . Dit proces vindt plaats onder anaërobe omstandigheden, waarbij (anaërobe)

micro-organismen nitraat in plaats van zuurstof als elektronen-acceptor gebruiken. De snelheid van denitrificatie hangt af van het beschikbare organisch materiaal, de temperatuur, het zuurstofgehalte (en dus de redoxpotentiaal) en ook van de zuurgraad. Bij geringe beschikbaarheid van organische koolstof vindt er nauwelijks tot geen denitrificatie plaats (Sollie et al., 2006). Via denitrificatie en anaerobe oxidatie van ammonium (anammox) kan elementair stikstof terugkeren naar de atmosfeer. Nitraat wordt vrij snel omgezet in stikstofgas, waardoor het als nitraat aanwezige stikstof uit het systeem verdwijnt. De nitraatbeschikbaarheid neemt dus snel af. Tegelijkertijd wordt ammonium, dat ontstaat uit afbraak van organische stof, niet verder tot nitraat geoxideerd, waardoor de ammoniumbeschikbaarheid toeneemt. De beschikbare stikstof verschuift dus van de nitraat- naar de ammoniumvorm (Williams, 1974).

Nadat het aanwezige nitraat is gereduceerd kan mangaan als elektronen-acceptor dienen. Gereduceerd mangaan is beter oplosbaar en meer beschikbaar voor organismen vergeleken met de geoxideerde vorm (Wienk et al., 2000).

De fosfaatbeschikbaarheid kan sterk toenemen bij hoge mate van inundatie (Kadlec, 1962; Savant & Ellis, 1964). Bij gebruik van ijzer voor de oxidatie van organische stof, komt een deel van het aan ijzer gebonden fosfaat vrij in de vorm van aan ijzer(hydr)oxiden gebonden fosfaat, omdat het gereduceerd ijzer ( $Fe^{2+}$ ) minder goed fosfaat bindt (Patrick & Khalid, 1974). Bovendien is tweewaardig ijzer toxisch voor veel aquatische organismen, doordat het kan leiden tot vorming van schadelijke zuurstofradicalen (Vuori, 1995; Olaveson & Nalewajko, 2000).

Sulfaat kan de rol van zuurstof als oxidator overnemen en de anaërobe afbraak van organisch materiaal stimuleren. Wanneer de bodem geen zuurstof of nitraat meer bevat, zal de verdere afbraak van organisch materiaal vooral afhankelijk zijn van de aanwezigheid van sulfaat (Roelofs, 1991; Caraco et al., 1993). Als sulfaat de rol van oxidator overneemt, wordt sulfide gevormd, dat al in lage concentraties toxisch kan zijn. Wanneer er een overmaat aan goed afbreekbaar organisch materiaal aanwezig is, is de hoeveelheid sulfide die wordt gevormd afhankelijk van de sulfaatconcentraties. Anders is de hoeveelheid organische stof limiterend voor de sulfaatreductie. Een klein deel van dit gevormde sulfide verdwijnt naar de atmosfeer. IJzer en fosfaat zijn sleutelfactoren als het gaat om de respons van wetlandsedimenten op sulfaatverontreiniging (Lamers, 2001). Als dit sulfide in de vorm van pyriet in ijzerrijke bodems wordt vastgelegd is het niet meer toxisch. Maar omdat er op deze manier nog minder ijzer beschikbaar is om fosfaat te binden, kan er in sulfaatrijke wateren extra fosfaat vrijkomen door de reductie van sulfaat (Boström et al., 1982; Roden & Edmonds, 1997). Dit vrijkomen van fosfaat kan een negatieve bijdrage leveren aan de eutrofiëringsproblematiek. Sulfaatconcentraties van 50 mg/l of hoger zullen in laagvenen en moerassen fosfaateutrofiëring veroorzaken (Roelofs, 1991; Smolders & Roelofs, 1993; Lamers et al., 1998a; Lamers, 2001).

Fosfaat gebonden aan ijzercomplexen zal ook vrijkomen in gereduceerde omstandigheden. Hierbij is er sprake van een reversibel proces, want zodra er weer sprake is van aerobe omstandigheden worden de Fe-oxiden weer teruggevormd en vindt er weer re-adsorptie van fosfaat plaats. Fosfaat gebonden aan andere metaalcomplexen (aluminiumhydroxides, zinkhydroxides, etc.) komt niet vrij, omdat deze metalen niet gereduceerd worden. Kanttekening hierbij kan worden geplaatst aan de hand van het OBN-onderzoek 'Pilot-studie naar de voor- en nadelen van peilfluctuatie voor het

behoud en herstel van trilvenen'. Tijdens peilverhogingen in de winter trad tijdens de praktijkproeven geen P-mobilisatie op. Dit kan betekenen dat P-mobilisatie niet plaatsvond (bijvoorbeeld doordat de reductie van ijzer te langzaam was), maar kan ook wijzen op een verhoogde P-opname door vegetatie (Cusell et al. 2012).

Overigens bestaat er nog onduidelijkheid over de mate van ijzerreductie en sulfaatreductie als gevolg van inundatie. Uit kolomexperimenten blijkt duidelijk een samenhang te bestaan tussen hoge waterstand en ijzer- en sulfaatreductie, maar uit een praktijkproef in de Kiersche Wieden trad geen reductie van ijzer of sulfaat op tijdens waterpeilverhoging in de winter (Cusell et al., 2012). Het ging hier echter slechts om een inundatieperiode van een week en wellicht is er meer tijd nodig om reductieprocessen echt op gang te krijgen, mogelijk omdat dit te kort is (met name in de winter) om de reductieprocessen die door micro-organismen worden uitgevoerd goed op gang te brengen. Als het peil geheel door neerslagoverschot werd bepaald zou er sprake zijn van een langere inundatieduur (maanden).

Reductieprocessen leiden tot het ontstaan van toxische stoffen. Bij een meer natuurlijk peilbeheer zal het echter gaan om een hoge waterstand in de winter. Reductieprocessen verlopen in de winter trager dan in de zomer (Loeb et al., 2008). Met een lager peil in de zomer en een hoger peil in de winter valt daarom te verwachten dat generatie van toxische stoffen door reductieprocessen over het totaal afnemen.

Inundaties hebben naast effecten op de redoxpotentiaal ook effecten op de zuurgraad. Als gevolg van reductie onder anaërobe omstandigheden vindt een pH-verhoging plaats. Bij de met de reductie van nitraat, mangaan, ijzeroxiden en sulfaat gepaard gaande omzetting van organisch materiaal, wordt bicarbonaat ( $\text{HCO}_3^-$ ) gevormd (Stumm & Morgan, 1996; Lamers et al., 1998a). De alkaliniteit van het bodemvocht wordt vooral bepaald door de snelheid van reductieprocessen in de anaërobe bodem. De pH bepaalt de beschikbaarheid van kooldioxide; bij waarden boven de 8,2 in de waterlaag kunnen alleen nog bicarbonaatgebruikende waterplanten voorkomen. Een wat lagere pH lijkt ook een rol te spelen bij de oeververlanding (Lamers et al., 2010).

Bij gebrek aan nitraat, mangaan, ijzer en sulfaat zal de afbraak van organische stof overgaan op methanogenese, waarbij organische stof wordt omgezet in zowel  $\text{CO}_2$  als in  $\text{CH}_4$ . Bij een lage temperatuur verlopen de processen langzaam, en bij opwarming treedt een stijging in de methaanproductie op (Williams & Crawford, 1984). Ook is bekend dat een relatief hoge pH methanogene bacteriën stimuleert (Dunfield et al., 1993; Segers, 1998). Organische stof, met name acetaat, vormt het substraat voor de methanogenese; de beschikbaarheid beïnvloedt de snelheid van het proces. Verder bepaalt de lengte van de natte periode de mate waarin de bodem gereduceerd wordt. Methaan speelt een belangrijke rol in drijfzillen en bij hoogveen-ontwikkeling. Een hoge sulfaataanvoer zal, naast een afname van ijzerbeschikbaarheid, ook leiden tot remming van de productie van methaan en dus tot belemmering van de vorming van kraggen, omdat door productie van methaan bellen worden gevormd die als drijfgas fungeren (Lamers et al., 1999; Loeb et al., 2007).

Inundatie leidt tot anaërobe afbraak in plaats van aërobe afbraak. Aangezien anaërobe afbraak minder efficiënt verloopt, is er op den duur sprake van accumulatie van organisch materiaal (veenvorming). Ook neemt deze accumulatie toe wanneer planten afsterven als gevolg van inundatie (Mitsch &

Gosselink, 1993). Nog een andere reden voor accumulatie van organisch materiaal is het feit dat de gemiddelde bodemtemperatuur daalt als gevolg van inundatie en dit heeft eveneens negatieve uitwerking op de afbraaksnelheid (Koerselman et al., 1993). Daarbij komt dat de anaërobe afbraak van organische stof vaak onvolledig verloopt. Onder voedselrijke omstandigheden kunnen daardoor hoge concentraties voor planten toxische organische zuren ophopen (Armstrong et al., 1996; Belgers & Arts, 2003).

Belangrijk is verder nog te noemen dat bij de afbraaksnelheid van organische stof de aard van dit organische materiaal een rol speelt. Veen dat is samengesteld uit haarmossen, veenmossen en slaapmossen is bijvoorbeeld resistenter tegen decompositie dan andere veensoorten.

### **5.3.2 Biogeochemische processen bij peilverlaging**

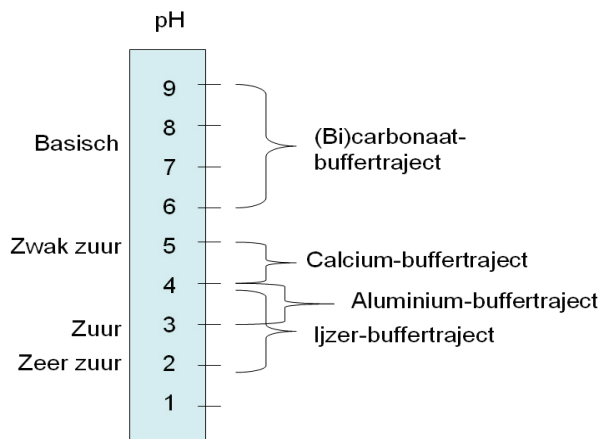
Peilverlaging (droogval) kan grote effecten hebben op de bodemchemie, voornamelijk vanwege de beschikbaarheid van zuurstof. Bij een natuurlijker peil waarbij het peil in de zomer uitzakt, worden veel van de in anaërobe condities ontstane verbindingen weer geoxideerd. Het gevormde sulfide wordt dan weer omgezet naar sulfaat, ijzer(II) naar ijzer(III) en ook het gevormde ammonium kan weer naar nitraat worden geoxideerd. Op deze manier is er sprake van ontgiftiging van mogelijk giftige stoffen.

De oxidatie van ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) tot nitraat ( $\text{NO}_3^-$ ) wordt nitrificatie genoemd. In een watersysteem vindt alleen nitrificatie plaats in de waterkolom boven de bodem, in het geoxideerde oppervlak en de rhizosfeer van de bodem/sedimenten (bij overstromde bodem), of in de onverzadigde zone boven het waterniveau (bij drooggevallen bodem) (Sollie et al., 2006). Op den duur zal de totale stikstofbeschikbaarheid toenemen, omdat weinig stikstof zal verdwijnen naar de atmosfeer. De nitrificatie zal na een tijd afnemen vanwege de beperkte hoeveelheid aanwezig ammonium. De beschikbare vorm van stikstof verschuift in een bodem na droogval van ammonium naar nitraat (Kadlec, 1962; Williams, 1974).

Bij deze oxidatieprocessen komen protonen vrij en dus zal een verlaging van de grondwaterstand verzuring van de bodem tot gevolg hebben (Schouwenberg & van Wirdum, 1998). Hierdoor wordt de oplosbaarheid van fosfaat beïnvloed, maar ook de binding van fosfaat met calcium en aluminium en ijzer. Wanneer de bodem zuurder wordt, dan neemt de fosfaat-calciumbinding af, maar de fosfaat-aluminiumbinding en de fosfaat-ijzer(hydr)oxidebinding toe, en vice versa. Ook de beschikbaarheid van aluminium, ijzer en calcium speelt een rol als het gaat om de richting waarin de binding van fosfaat met aluminium en calcium verandert. Deze factoren bepalen of fosfaat meer of juist minder beschikbaar wordt. Het vrijgekomen zuur wordt geneutraliseerd door (bi)carbonaat en door kationen aan het adsorptiecomplex (vooral calcium en magnesium), maar kan in bodems met hoge pyrietconcentraties die kalkarm zijn leiden tot verzuring en mobilisatie van zware metalen. Een bekend voorbeeld hiervan vormen zeekleibodems met katteklei. Deze verzuren sterk als ze langdurig met zuurstof in aanraking komen als gevolg van oxidatie van ijzersulfide. Bij deze sterke verzuring kan er juist weer fosfaat in het bodemvocht vrijkomen, omdat verbindingen met calcium en sommige verbindingen met ijzer bij lage pH oplossen. De verhouding tussen zwavel en de som van calcium en magnesium vormt een maat voor de verzurings-gevoeligheid van bodems bij droogval (Lucassen et al., 2005(a)). Verzuring van de bovengrond kan nog verder worden bevorderd door de invloed van regenwater. Met name in zwak zure of basische

standplaatsen, waar buffering afhankelijk is van calcium/bicarbonaat, kan de bodem door verminderde invloed van bicarbonaatrijk grondwater een lage pH-waarde krijgen.

Verdroging hoeft echter niet te leiden tot een verlaging van de alkaliniteit en de pH. In goed-gebufferde bodems met hoge bicarbonaat-gehalten en soorten als Groen en vooral Rood schorpioenmos hebben veranderingen in peil geen effect op de pH, zoals gebleken uit kolomproeven (Cusell et al., 2012). Bij verschillende pH-trajecten behoren verschillende buffermechanismen (figuur 5.3). De buffering kan een neutrale zuurgraad handhaven, zolang er sprake is van aanvoer van bicarbonaat via het (grond-)water of voldoende carbonaat in de bodem. Wanneer er geen bicarbonaat meer voorradig is zakt de pH onder de 5 en spreekt men van de calcium- en magnesium-bufferrange. Deze buffering is gebaseerd op de kation-uitwisseling aan adsorptiecomplexen die worden gevormd door kleimineralen en humusdeeltjes, waarbij tweewaardige kationen van hun plaats worden verdrongen door protonen. Als alle kationen zijn verdrongen, daalt de pH tot 4 en spreekt men van de aluminium- en ijzerbuffering, waarbij deze metalen in oplossing gaan (Roelofs et al., 1993).



Figuur 5.3; Een schema van verschillende pH-buffertrajecten. Naar Roelofs et al. (1993).

Na oxidatie van ijzer en sulfide komen er weer veel bindingsplaatsen beschikbaar voor de vastlegging van fosfaat (Lamers et al., 1997; Lucassen et al., 2000; Wienk et al., 2000). De fosfaatbeschikbaarheid van de bodem neemt daarmee af, omdat fosfaat uit de waterlaag wordt vastgelegd (Witteveen & Bos, 2010). Deze vastlegging kan snel verlopen; binnen 1 à 2 weken na droogval kan de P-concentratie in het bodemvocht een factor 10 tot 100 zijn afgenomen (Lucassen et al., 2005(a); Loeb et al., 2008). Verder spelen de adsorptie aan calcium (bij hoge pH) en aluminium (pH neutraal) een rol, omdat na droogval de zuurgraad verandert (Wienk et al., 2000).

Onder aërobe omstandigheden verloopt de afbraak van organische stof (veen) doorgaans sneller dan onder zuurstofloze omstandigheden. Een verder uitzakkend peil zou daardoor, mits de bodem niet te ver uitdroogt, voor versnelde afbraak van het veen kunnen zorgen. Het is echter onvoldoende bekend in hoeverre peilniveau en tijdsduur van peilverlaging in de verschillende bodem- en vegetatietypen in het laagveen- en zeekleigebied doorwerken op de afbraak. Bij verhoogde afbraak als gevolg van peilverlaging, komen er over het algemeen meer nutriënten vrij (Grootjans, 1985) en zal de accumulatie van organisch materiaal over het algemeen minder worden. De accumulatie kan echter verhoogd worden in het geval dat de productie van dood organisch materiaal erg hoog wordt door sterfte van planten als gevolg van droogvallen (Wienk et al., 2000).



Bij verdroging bestaat er risico voor toegenomen stikstofmineralisatie. Het lijkt erop dat alleen langdurige en constante verdroging (jaren) kan leiden tot een verhoogde beschikbaarheid van stikstof (Grootjans et al., 1986; Berendse et al., 1994; Oomes et al., 1997). Bij kortdurende verlaging van de waterstand (maanden) lijkt dit niet op te treden (Lamers et al., 2001). Oomes et al. (1997) vonden bijvoorbeeld pas na twee jaar peilverlaging tot 30 cm onder maaiveld een stimulering van de N-mineralisatie. Het is de vraag of een verhoogde afbraaksnelheid daadwerkelijk leidt tot een verhoogde netto N en P-mineralisatie (Kooijman & Hedenäs, 2009). Aan de hand van nader onderzoek zal hier in de komende jaren meer duidelijkheid over moeten komen (Cusell et al., 2012). Daarbij komt dat een hogere afbraaksnelheid niet per definitie leidt tot een hogere mobilisatie van fosfaat, omdat fosfaat na mineralisatie meteen gebonden kan worden in de bodem aan ijzer (Smolders et al., 2006; Lamers et al., 2010), of aan calcium en calciumcarbonaat (Reddy et al., 1993).

### **5.3.3 Biogeochemische processen bij wisselend peil**

Door middel van wisselende waterpeilen kan op biogeochemisch gebied de waterkwaliteit aanzienlijk worden beïnvloed. Een frequente afwisseling van droge en natte omstandigheden kan leiden tot hoge denitrificatiesnelheden en op deze manier kan een verlaging van de stikstof-concentratie van het water worden bereikt door afwisseling van nitrificatie en denitrificatie (Wienk et al., 2000). Dit nitrificatie/denitrificatie proces is in het bijzonder afhankelijk van de snelheid waarmee ammonium diffundeert van de anaërobe laag naar de aërobe laag, maar ook van de snelheid waarmee nitraat van de aërobe laag naar de anaërobe laag diffundeert (Sollie et al., 2006).

Daarnaast kan door het afwisselend droogvallen en overstromen van de bodem P-verwijdering worden bewerkstelligd via adsorptieprocessen. Op deze manier wordt voortdurend vers driewaardig ijzer gevormd en de adsorptiecapaciteit van ijzer kan sterk worden verhoogd wanneer het gereduceerd en weer geoxideerd wordt. Zodoende kan door wisselingen in het waterpeil de adsorptiecapaciteit hoger worden dan in continu droge of continu natte condities (Lijklema, 1980; Wienk et al., 2000; Sollie et al., 2006).

## **5.4 Effecten op fauna**

### **5.4.1 Effecten van hoger peil op fauna**

Een hoger peil kan leiden tot inundatie en dit kan zowel directe als indirecte effecten hebben voor fauna. Onder directe effecten worden verstaan verdrinking of verjaging uit het gebied. Onder indirecte effecten worden verstaan veranderingen in habitat, zoals vegetatieveranderingen, verdwijnen van voedsel of nestgelegenheid, of het vrijkomen van toxische stoffen als gevolg van biogeochemische processen.

#### ***Directe effecten***

De duur van inundatie is zeer bepalend voor de effecten op de fauna, waarbij het met name gaat om verdrinking als gevolg van een combinatie van uitputting, onderkoeling en gebrek aan voedsel. Bij vogels speelt verdrinking alleen een rol bij niet vliegvlugge juvenielen en jonge vogels. Bij langdurige

inundatie kan verdrinking optreden van reptielen en amfibieën. Amfibieën kunnen vanwege hun verlaagde lichaamstemperatuur en lage zuurstofopname kortdurende inundaties wel overleven. Voor insecten geldt dat deze kunnen overleven mits de mogelijkheid bestaat om in bomen of struiken te klimmen en de permanent vochtige omstandigheden niet leiden tot sterfte door schimmelaantasting. Bij plotselinge inundatie kan, met name in kleihoudende bodems, door luchtinsluiting de bodemfauna een kortdurende inundatie vaak overleven. Strategieën om inundatie te doorstaan zijn bijvoorbeeld het ingaan van een diapauze of het vormen van cocons (Runhaar et al., 2004). Ook de waterdiepte tijdens inundatie is van belang. Waterstanden van minder dan 25 centimeter zijn voor kleinere soorten als haas, konijn, vos, das en bunzing nog goed overbrugbaar zonder te verdrinken. Kleinere zoogdieren zoals muizen en mollen, maar ook reptielen (uitgezonderd ringslangen) zullen verdrinken bij waterdieptes van hoger dan net boven het maaiveld (Runhaar et al., 2004).

In het geval van inundatie is de tijd in het jaar van groot belang, omdat er een verschil bestaat in effecten op fauna tussen zomer- en winterinundatie. Zomerinundaties hebben over het algemeen grotere effecten (Runhaar et al., 2004). Dit heeft ermee te maken dat er meestal reproductie optreedt, soorten niet meer in een rustfase verkeren en biologische processen sneller verlopen bij hogere temperaturen. Winterinundaties kunnen eerder leiden tot verdrinking, omdat warmbloedige soorten eerder verkleumen bij lagere temperaturen en daardoor ook eerder verdrinken. Bij koudbloedige soorten geldt het tegenovergestelde.

Daarnaast is de snelheid waarmee de verhoging van de grondwaterstand plaatsvindt van belang. Bij een geleidelijk stijgende grondwaterstand hebben trage soorten (bijvoorbeeld mollen) de gelegenheid om zich uit de voeten te maken naar hoger gelegen gronden (Runhaar et al., 2004). Met het oog op habitatsoorten is het belangrijk om te benadrukken dat bij een te rigoureuze peilverhoging rupsen van de Grote vuurvlieder kunnen verdrinken (Sanders et al., 2004). Tijdens de diapauze (in de winter) zijn de rupsen weliswaar resistent tegen periodieke inundaties, maar bij inundaties langer dan een maand wordt een significant hogere mortaliteit van larven gevonden (Nicholls & Pullin, 2003). Wanneer rupsen tijdens de diapauze minder dan 28 dagen onder water zijn vindt er geen effect plaats op de overleving. Is er sprake van een langere periode van inundatie, dan wordt er wel een negatief verband gevonden (Webb & Pullin, 1998).

### ***Indirecte effecten***

Als gevolg van inundatie kunnen terrestrische levensgemeenschappen worden vervangen door aquatische levensgemeenschappen. Op kleinere schaal kan een habitat of leefgebied door verhoging van het waterpeil meer of minder geschikt worden voor overleving en voortplanting van een soort. De veranderingen kunnen zich voordoen in bepaalde functiegebieden van een soort, zoals broed- of voortplantingsgebieden, foerageergebieden, overwinteringsgebieden, migratiegebieden of rust- en slaapgebieden.

Afhankelijk van de tijd in het jaar zouden bijvoorbeeld vissen zoals snoek en brasem overstroomde oevers in een gebied kunnen gaan benutten als paai- of foerageergebied (Riegman, 2004). De snoek paait vroeg in het seizoen (maart-april), wanneer de waterstanden onder 'natuurlijke' omstandigheden hoog zouden zijn. Voor de groei van jonge snoek is ondiep, snel opwarmend water nodig met veel zoöplankton. Ideaal zijn daarom ondergelopen oeverlanden, de snoek zet haar eieren hier af op het ondergelopen gras en de

jonge snoekjes groeien door de hoge zoöplanktonproductie snel op en kunnen tijdig overschakelen op groter voedsel (macrofauna en vis). In een natuurlijke situatie staan de oeverlanden als gevolg van het wateroverschot onder water gedurende de winter en het voorjaar. Afgezien van het feit dat een hoger peil in de winter vorstschade aan de vis kan reduceren in petgaten (Riegman, 2004), zijn deze ondergelopen oeverlanden voor verschillende vissoorten en met name voor de snoek een belangrijk paai- en opgroeigebied. Na het paaïen en de ontwikkeling van de vislarven dwingt het zakkende waterpeil de vislarven en jonge vissen naar de begroeiing van het open water waar zij verder groeien tot volwassen vissen. Deze situatie doet zich in Nederland als gevolg van het gehanteerde peilbeheer vrijwel nergens meer voor. Voor de realisatie van een goede visstand kunnen dergelijke paai- en opgroeigebieden een belangrijke impuls zijn (Witteveen & Bos, 2004(a,b)). Kunstmatig ondergelopen oeverlanden als gevolg van een meer natuurlijk fluctuerend peilbeheer kunnen hiervoor de oplossing zijn. Ideaal voor de snoek is het scenario waarbij het oeverland gedurende winter en voorjaar onder water staat met een stabiel waterpeil minimaal 20 en maximaal 100 centimeter boven het maaiveld. Door de geringe diepte en beschutting tegen de wind door de vegetatie wordt het water snel opgewarmd door de zon. Het relatief warme water, dat het gebied verlaat, lokt de paarijpe snoek naar het gebied en zorgt tevens dat voedsel voor de jonge vis goed tot ontwikkeling komt in het gebied. Het verlagen van het waterpeil kan eventueel eind september plaatsvinden, zodat het gebied ook voor andere vissoorten, zoals de Karper, als paai- en opgroeigebied kan dienen. Er bestaat momenteel nog weinig praktische kennis over in hoeverre andere vissoorten dan de snoek gebruik maken van ondergelopen oeverlanden als paai- en opgroeigebied (Witteveen & Bos, 2004(a,b)).

Daarbij komt dat door inundatie van een gebied de situatie voor vogels aanzienlijk kan veranderen. Een gebied verandert bijvoorbeeld van rust- naar foerageerplek (Wienk et al., 2000). Ondiepe inundatie van enkele decimeters kan uitermate aantrekkelijk zijn voor water- en moerasvogels, steltlopers en foeragerende weidevogels en de aantallen vogels kunnen na een ondiepe inundatie explosief toenemen. Ook verandering van foerageerplek naar rustplek is mogelijk, vooral wanneer gebieden langer onder water staan en enige omvang hebben (Runhaar et al., 2004). Soorten die om deze reden gevoelig zijn voor peildynamiek zijn vooral de Roerdomp, Purperreiger, Zwarte stern, Porseleinhoen, Grote karekiet, Snor en Baardman (Van Beusekom et al., 2003). Ook de Grutto is afhankelijk van broedplaatsen in Nederland, maar liefst 35 % van de wereldpopulatie broedt in Nederland. Daarnaast zijn de Aalscholvers en de Woudaap internationaal belangrijke broedvogels (Schaminée et al., 2010).

Ook voor dieren als de zeldzame Noordse woelmuis is een natuurlijk peilbeheer van groot belang. De ondersoort die in Nederland voorkomt is een Habitatrichtlijnsoort. De Noordse woelmuis komt voor in Friesland, op Texel, in de Zaanstreek, het veenweidegebied in Noord-Holland-Utrecht en het Deltagebied. In Nederland is de soort afhankelijk van de geïsoleerde ligging van zijn leefgebieden, omdat hij concurrentie met andere woelmuissoorten slecht aankan. In tegenstelling tot de andere woelmuissoorten is de Noordse woelmuis een goede zwemmer. Hierdoor weet hij te overleven in natte rietvegetaties en rietruigtes en koloniseert hij snel eilandjes. De Noordse woelmuis eet o.a. riet, biezen en zegges. Waarschijnlijk heeft het wegvallen van natuurlijke waterpeilfluctuaties een negatief effect gehad op populaties van de soort vanwege de toegenomen concurrentie met de Veld- en de Aardmuis (La Haye & Drees, 2004).

Inundatie als gevolg van peilverhoging kan echter ook negatieve indirecte consequenties hebben. Vooral tijdens zomerinundaties is de achteruitgang van voedselbeschikbaarheid voor zoogdieren als de das een reden om alternatieve foerageergebieden te zoeken. Ook voor roofvogels zijn er negatieve consequenties. Het verdwijnen van mollen en muizen leidt tot afname van aantallen roofvogels. Ook zal het verdwijnen van biomassa aan bodemfauna (regenwormen) leiden tot een afname aan weidevogels. Daarnaast kan het gebied voor de voortplanting van das, mol, konijn, hermelijn, muis, vos en bunzing ongeschikt worden, aangezien zij gebruik maken van ondergrondse holen. Voor reptielen en amfibieën geldt dat overwinteringsgebieden gevrijwaard dienen te blijven van hoge waterstanden en verhoging van het waterpeil zal dan ook binnen betreffende soorten leiden tot aantalsreductie (Runhaar et al., 2004).

Wanneer als gevolg van peilbeheer sprake is van inlaat van water met een slechte kwaliteit, kan dit ook gevolgen hebben op faunagemeenschappen. Opgeloste toxische stoffen kunnen lokaal met het grondwater uitspoelen en in het oppervlaktewater terecht komen, waarbij de biologische beschikbaarheid van belang is. In het geval van inundatie treden reductieprocessen op in de bodem, waarbij bijvoorbeeld sulfide gevormd wordt. Sommige zware metalen, zoals zink, cadmium en nikkel worden minder oplosbaar en dus minder beschikbaar voor organismen (Kashem & Singh, 2001). Andere metalen, zoals arseen en ijzer, kunnen juist versterkt in oplossing gaan onder anaërobe omstandigheden (Runhaar et al., 2004). Daarnaast kunnen vanuit omliggende landbouwgronden ook grote hoeveelheden schadelijke stoffen afkomstig zijn. Het gaat hier bijvoorbeeld om diergeneesmiddelen, waarvan nog maar weinig bekend is over het gedrag in het milieu (Lahr, 2004).

#### **5.4.2 Effecten van lager peil op fauna**

Als een gehele plas droogvalt, sterft een groot deel van de macrofauna- en vispopulatie. Als dit slechts een deel van de plas is, kunnen dieren elders in de plas een goed heenkomen zoeken. Overigens betekent een uitbreiding van de totale moeraszone juist een groter aandeel aan paai- en rustplaatsen voor vis. Soorten als Kroeskarper en Grote modderkruiper zijn ook gebaat bij tijden van droogval. Ze zijn bestand tegen zeer lage zuurstofgehalten in plantenrijke (moeras)zones en zelfs korte perioden van droogval. Deze soorten verliezen de concurrentie bij een verminderde peildynamiek, waarbij deze perioden van droogval ontbreken. Daarbij komt dat een lager zomerpeil vanwege een gunstiger lichtklimaat in theorie kan leiden tot een meer productieve onderwater vegetatie waardoor het voedsel aanbod voor het gehele aquatische voedselweb, inclusief de vispopulaties, vergroot wordt (Riegman, 2004).

Een omgekeerd peilregime heeft tot gevolg dat ganzen tijdens een lage waterstand in de winter de wortelstokken van helofytenvegetaties als Riet kunnen opgraven. Begrazing van oeverplanten kan een belangrijk negatief effect hebben op de ontwikkeling van de oevervegetatie (Bakker, 2010). De aantallen broedende en overwinterende Grauwe ganzen in Nederland zijn de afgelopen twintig jaar exponentieel toegenomen. De ganzen foerageren op allerlei water- en oeverplanten, waaronder jong Riet en Kleine lisdodde. Onder omstandigheden die gunstig zijn voor de vegetatieve uitbreiding van waterriet (een goed doorzicht en een goede water- en bodemkwaliteit) kan vraat door ganzen een zeer belangrijke factor zijn voor het uitblijven van verjonging van het rietland, zoals gebleken in de Oostvaardersplassen.

### 5.4.3 Effecten van een wisselend peil op fauna

De frequentie van inundatie bepaalt de mate waarin populaties zich kunnen herstellen. Een hoge frequentie is over het algemeen negatief voor het herstel van fauna. Lage frequenties leiden tot grotere kansen op herstel van populaties indien hervestiging vanuit aangrenzende gebieden mogelijk is (Runhaar et al., 2004). Een wisselend waterpeil leidt bovendien tot verandering van de diepteverdeling van de oever. En de diepte van de oeverzone bepaalt het foerageerareaal voor bijvoorbeeld zwanen, eenden en steltlopers. Voor de lepelaar is bekend dat een te hoog of te laag waterpeil negatieve gevolgen kan hebben voor het fourageren (Van der Hut, 1992). Ook de geschiktheid als slaapplek voor bijvoorbeeld steltlopers, ganzen en aalscholvers wordt door de diepte van de oeverzone beïnvloed (Meeks, 1969). Met het oog hierop zal frequente variatie van de waterdiepte geen positief effect hebben.

Voor moerasvogels is het gunstig wanneer het waterpeil kan fluctueren volgens het natuurlijke patroon, met een hoge waterstand in de winter en het voorjaar en een lagere waterstand in de zomer (Van Turnhout et al., 2010). Zo zal biotoopvariatie in ruimte en tijd ontstaan en zal de biodiversiteit toenemen (Van Beusekom et al., 2003). Afname van rietvelden door peilverstarring heeft tot een afname van rietvogels geleid (Van Turnhout & Hagemeyer, 1999; Schotman & Kwak, 2003).

Verder zijn peilwisselingen ook van invloed op de dispersiemogelijkheden van bepaalde aquatische organismen. Het afzien van waterinlaat in het groeiseizoen (isolatie) kan leiden tot minder dispersie. Peilbeheer en de daaruit resulterende stroming speelt daarom een rol in het geheel van verspreiding van macrofauna (Didderen, 2009).



## 6 Regionale landschapseenheid 1

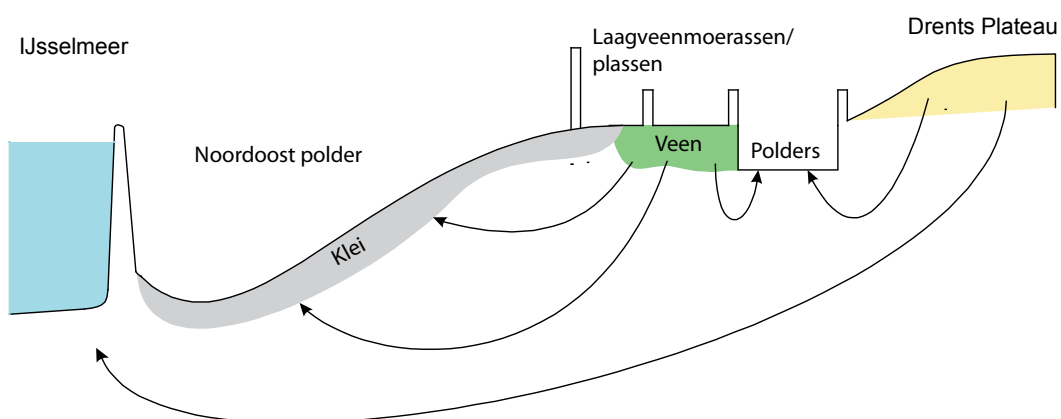
**Regio's met veenbodem en van oudsher vooral gevoed door basenrijk oppervlaktewater**

### 6.1 Regio omschrijving

De regio waarin betreffende Natura-2000 gebieden zijn gelegen vormt een van de grootste laagveengebieden van Noordwest-Europa. De gebieden zijn gelegen in de kop van Overijssel langs de grens met de Noordoostpolder. Het gaat om de Natura 2000-gebieden Wieden; Weerribben; Rottige Meenthe & Brandemeer; Olde Maten & Veerslootlanden.

### 6.2 Hydrologie, waterkwaliteit en peilregime

Vóór de inpoldering van de Noordoostpolder en de diepe ontwatering van de polders die grenzen aan de natuurgebieden in de regio, was er brak water aanwezig in de zandondergrond in het veen. Op basis hiervan valt te concluderen dat kwel van zoet water uit het regionale systeem van het Drents plateau de afgelopen eeuw nauwelijks een rol heeft gespeeld (KWR & EGG, 2007). De aanwezige (tril)venen staan van oudsher dan ook onder invloed van kalkrijk oppervlaktewater (Van Wirdum, 1991), en niet zozeer van basenrijke kwel. De mesotrofe condities aan de ontwikkeling van het laagveenmoeras werden voornamelijk bepaald door het Drentse/Overijsselse basenrijke beek en rivierwater.



*Figuur 6.1; Schematische weergave van de hydrologie en ondergrond van regionale landschapseenheid 1.*

De gebieden en de omliggende relatief hoge polders vormen infiltratiegebieden van waaruit grondwater naar de Noordoostpolder stroomt (Engelen et al., 1989). Vanaf 1919 werden de Natura 2000-gebieden in de regio boezem voor omliggende polders, die steeds beter werden ontwaterd.

Door peilverlaging in deze omliggende polders en de inpoldering van de Noordoostpolder zijn de Natura 2000 gebieden in zijn gebieden geworden (Vermeer & Joosten, 1992). In de Weerribben daalde het grondwaterpeil in de zandondergrond op een aantal plaatsen met ongeveer een meter tussen 1935 en 1944 ten gevolge van het leegpompen van de Noordoostpolder, en vervolgens tot 1975 met nog eens een halve meter door het droogmalen van verschillende andere polders (Van Wirdum, 1991).

Petgaten en legakkers in deze regio staan in verbinding met basenrijk oppervlaktewater door toestroming en laterale infiltratie (KWR & EGG, 2007). In grote delen van de gebieden is de verveningsstructuur in stand gebleven, maar in een groot deel van de Wieden ontstonden grote plassen als gevolg van doorgeslagen legakkers. Door de instroom van nutriëntrijk oppervlaktewater naar de gebieden binnen de regio is er sprake van externe eutrofiëring. Het stromingspatroon is zodanig dat vrijwel volledige menging optreedt met het gebiedseigen water, met name in de plassen en vaarten in de Wieden (KWR & EGG, 2007). Deze instroom van oppervlaktewater is hoofdzakelijk afkomstig uit bovenstreams gelegen gebieden, omringende polders, regenwater en in droge tijden ook water uit het IJsselmeer. Door het netto neerslagtekort en verdampingoverschot in meer geïsoleerde delen in de zomer speelt de waterstroming van inlaatpunten naar petgaten een belangrijke rol (Arcadis, 2004; Torenbeek, 2008). In de winter is er sprake van een duidelijke afname van alkaliniteit en Ca-gehalten van poldergemalen en sloten naar petgaten en trilvenen in de regio. Dit komt door het neerslagoverschot (Cusell et al., 2012).

Bij hoge neerslag in de winter wordt bij de gemalen water uit de polders opgepompt. Dit polderwater heeft relatief hoge Ca-gehalten (50 mg l<sup>-1</sup> tot 64 mg l<sup>-1</sup> (Cusell et al., 2012). De oostelijke polders grenzen aan de hogere zandgronden van het Drents Plateau, terwijl de westelijke polders zijn gelegen langs de voormalige Zuiderzee, waar de bodems veel meer klei bevatten, en meer met zout-brak water in contact zijn geweest. Ook is door de aanleg van de Noordoostpolder de grondwaterstroming vanuit het Drents plateau veranderd, waardoor voedend grondwater veel meer in de diepe polders aan de westzijde terecht komt (Van Wirdum, 1991).

Vanuit de polders wordt niet alleen Ca-rijk water opgepompt, maar ook sulfaat, ammonium, nitraat, fosfor en ijzer (dat neerslaat). Ook hiervoor moet onderscheid worden gemaakt tussen polders aan de oost en westzijde van de regio. Uit onderzoek van Cusell et al. (2012) in de Wieden-Weerribben is gebleken dat net als voor calcium de concentraties voor ammonium en nitraat hoger zijn bij de oostelijke poldergemalen. Maar voor ijzer, sulfaat en fosfor zijn de concentraties in het oppervlaktewater bij de westelijke gemalen 2-3 keer zo hoog als bij de oostelijke. Het is duidelijk dat vanuit het oosten meer calcium, nitraat en ammonium wordt aangevoerd en minder ijzer, sulfaat en fosfaat. In het westen is er vooral sprake van aanvoer van ijzer, sulfaat en fosfaat in het oppervlaktewater (Cusell et al., 2012).

Daarnaast zijn de fosforconcentraties in het bodemvocht in het westen hoger dan in het oosten van de regio, en is er tussen Fe concentraties in het bodemvocht geen verschil tussen west en oost. Fe:P ratios in het bodemvocht zijn hierdoor bij de oostelijke poldergemalen vele malen hoger dan bij de westelijk gelegen poldergemalen.

De verschillen in kwaliteit van het inlaatwater hebben mogelijk ook gevolgen voor de vorm waarin fosfor wordt vastgelegd in de bodem. De totale hoeveelheid fosfor in de bodem bij de westelijke gemalen is meer dan twee keer zo laag als in het oosten. Het mineraal fosfor in de onderwaterbodem



bestaat in het westen waarschijnlijk voor het grootste deel uit ijzergebonden fosfor, terwijl in het oosten ca 30% van het mineraal P aan calcium gebonden is. Mogelijk wordt in het westen een deel van de P-binding weer teniet gedaan door reductie van sulfaat en ijzer (Lamers et al. 1998a). Ook is in het oosten de fractie fosfor die gebonden is aan organische stof complexen heel klein, terwijl dit in het westen zo'n 15% van het totale fosfor kan zijn, wat kan betekenen dat de P-binding hier minder sterk is (Kooijman et al. 2009).

Aan de hand van de N:P ratio in de vegetatie (Koerselman & Meuleman, 1996) is bepaald dat P in de watergangen van deze regio nergens een limiterende factor is, maar juist in overvloed aanwezig. Wel is duidelijk dat concentraties Ca, Fe, S, P en NH<sub>4</sub> afnemen van poldergemaal naar trilveen, vooral in de winter als de inlaat hoog is (Cusell et al., 2012). Voor wat betreft turbiditeit is in de petgaten vastgesteld dat de grenswaarde voor goede groei van waterplanten van onder de 5 NTU (Lamers et al., 2010) wordt gehaald. De P-beschikbaarheid is in de petgaten ook lager dan in sloten en bij de inlaat. Ammonium en zwavel in het bodemvocht kunnen nog wel een probleem vormen (Cusell et al., 2012).

Het huidige peilregime in de Wieden en Weerribben is in de zomer flexibel binnen een marge van 10 centimeter en in de winter wordt een vast peil gehandhaafd. Praktijkproeven binnen het OBN-onderzoek 'Pilot-studie naar de voor- en nadelen van peilfluctuatie voor het behoud en herstel van trilvenen' worden uitgevoerd in relatief schone delen van de regio, te weten in de Kiersche Wieden en vak 60 van de Weerribben. In deze gebieden wordt in een deel van het terrein de waterstand gemanipuleerd met een maximale verhoging van 20 centimeter in de winter voor een periode van 10 dagen en een maximale uitzakking in de zomer van 10 centimeter ten opzichte van het huidige peil voor een periode van 5 dagen (Cusell et al., 2012).

In de polders van het gebied Olde Maten & Veerslootlanden wordt een zomerpeil van 0.65 tot 1 m –NAP en een winterpeil van 0.8 tot 1.2 m –NAP gehanteerd. Het winterpeil is hier dus lager dan het zomerpeil, waardoor in de Olde Maten in de winter droogval van sloten optreedt (KWR & EGG, 2007).

### **6.3 Huidige natuurwaarden**

Het laagveenlandschap in Noordwest-Overijssel is voor wat betreft omvang en ecologische kwaliteit het belangrijkste Nederlandse laagveengebied en hotspot voor onder andere moerasmossen en moerasvlinders (Bijlsma et al., 2009). Alle successiestadia van open water tot en met moerasheide en veenbos zijn in de regio aanwezig. Bij aanvoer van zoet en basenrijk oppervlaktewater kunnen trilvenen ontstaan (habitatype H7140A) en in trilveenhabitats komen vegetaties voor met grote rijkdom aan bedreigde plantensoorten. De trilvenen in met name de Wieden en Weerribben vertegenwoordigen dan ook een grote botanische waarde, met als zeldzame soorten onder andere Plat Blaasjeskruid, Groenknolorchis, Rood Schorpioenmos en Moeraskartelblad (Schouwenberg & van Wirdum, 1998). De aanwezigheid van soortenrijke trilvenen heeft geleid tot aanwijzing van verschillende gebieden als natura-terrein met een 'sense of urgency' voor wat betreft waterkwaliteit. Maar ook andere habitatypen zijn belangrijk, zoals H3150, H4010B en H7140B. Het gebied heeft voor de meeste habitatypen grote tot zeer grote herstellpotenties.

De aanvoer van baserijk boezemwater zorgt voor gunstige omstandigheden voor baserijke trilvenen (Schouwenberg, 1992). De Natura 2000-gebieden binnen deze regionale landschapseenheid zijn de enige plekken in Nederland waar het prioritaire habitattype van baserijke trilvenen met Rood schorpioenmos nog in goed ontwikkelde vorm voorkomt, hoewel ook in deze regio sprake is van een achteruitgang (Van Wirdum, 1991; Kooijman, 1992; Van Diggelen et al., 1996; Kooijman & Paulissen, 2006). Met de baserijke trilvenen die nu nog bestaan gaat het op dit moment relatief goed. Rood en Groen schorpioenmos zijn soorten van baserijke venen met relatief hoge Ca-gehalten en een hoge buffercapaciteit. Ten opzichte van de inlaatpunten en sloten is het Ca-gehalte in het bodemvocht lager, maar nog altijd relatief hoog. Ook de alkaliniteit is lager dan bij inlaatpunten en in sloten (Cusell et al., 2012). Ook de P-beschikbaarheid is in baserijke venen met Rood (en Groen) schorpioenmos nog steeds relatief laag. De N:P ratio van de vegetatie wijst met waarden rond de 18 op relatief P-arme condities, net als eind jaren tachtig (Kooijman & Paulissen, 2006).

Tabel 6.1; Natura 2000 toewijzingen van de verschillende gebieden in regionale landschapseenheid 1: **1)** Wieden; **2)** Weerribben; **3)** Rottige Meenthe & Brandemeer; **4)** Olde Maeten & Veerslootlanden

Habitattype	Code	1	2	3	4
Kranswierwateren	H3140	X	X		
Meren met krabbenscheer en fonteinkruiden	H3150	X	X	X	X
Vochtige heiden, laagveengebied (moerasheiden)	H4010B	X	X	X	
Blauwgraslanden	H6410	X	X	X	X
Overgangs- en trilvenen, trilvenen	H7140A	X	X	X	
Overgangs- en trilvenen, veenmosrietlanden	H7140B	X	X	X	X
Galigaanmoerassen	H7210	X	X	X	
Hoogveenbossen	H91D0	X	X	X	
Vogelrichtlijn		X	X		

De algemene tendens is echter, zoals in alle laagveengebieden, verzuring van de kraggen. Hierdoor vindt een verandering plaats van de vegetatie met Schorpioenmos naar een vegetatie met Veenmos en Haarmos (Schouwenberg & van Wirdum, 1998).

De laatste tien jaar zijn op grote schaal nieuwe petgaten gegraven, maar de resultaten lopen nogal uiteen. Kranswiergemeenschappen herstellen zich vrij moeizaam, begroeiingen met Krabbenscheer doen het beter. Sommige petgaten zijn gevuld met Krabbenscheer, Grof hoornblad en Kikkerbeet (Natura2000.nl).

De sterke afname van waterriet in de afgelopen twintig jaar in de Weerribben heeft negatief uitgedrukt met het oog op de Vogelrichtlijn. Bruine kiekendief en Purperreiger zijn als broedvogel verdwenen, de Baardman broedt niet meer jaarlijks en van de Grote karekiet resteren niet meer dan zo'n drie broedparen. De Roerdomp is met ruim tien broedparen nog relatief goed vertegenwoordigd. De Zwarte stern bevolkt een kleine kolonie. Vrij gunstig is de situatie van Snor en Rietzanger, die de laatste tien jaar min of meer stabiel zijn. Voor al deze rietvogels is uitbreiding van overjarig rietland en waterriet gewenst (Natura2000.nl). In de verschillende (riet)moeraskernen in de Wieden broeden Snor, Rietzanger, Grote karekiet, Porseleinhoen, Purperreiger, Zwarte stern en Roerdomp. Vanaf 2004 broeden er zelfs grote zilverreigers. Ook is er van oudsher een grote kolonie aalscholvers gevestigd. In de graslanden van de Wieden die de moerassen omgeven, is nog een redelijke weidvogelstand aanwezig met onder meer Grutto, Zomertaling en Tureluur (Natura2000.nl).

## 6.4 Knelpunten/kansen

Wegzijing in deze regio is sinds de jaren '40 sterk toegenomen. Hydrologische buffers rond de Natura 2000 gebieden kunnen wegzijing verminderen, maar de wegzijing als gevolg van de Noordoostpolder kan niet terug worden gedraaid (KWR & EGG, 2007).

Een meer natuurlijk peilbeheer heeft als gevolg het beter vasthouden van water in de winter, en daardoor is er minder inlaat vanuit het IJsselmeer nodig. Voor de Wieden-Weerribben geldt echter dat dit water voor een groot deel bestaat uit vervuild water dat wordt opgepompt vanuit de polders. Het is zeer goed mogelijk dat het vasthouden van water in de winter, wanneer de P-concentraties en P-input het hoogst zijn, een positieve werking van minder inlaat vanuit het IJsselmeer in de zomer teniet doet (Cusell et al., 2012). Zo'n 43% van de jaarlijkse P-input komt uit deze omringende polders, en ongeveer 79% van deze input vindt plaats in de winter (Arcadis, 2004). Het sterker vasthouden van vervuild landbouwwater uit de omliggende polders kan op die manier juist negatief uitpakken.

Petgaten en legakkers in de gebieden staan in verbinding met basenrijk oppervlaktewater door laterale infiltratie en dit heeft positieve gevolgen als het gaat om verlanding. Echter, wanneer door verlanding en het vastslaan van kraggen delen geïsoleerd raken kunnen zich neerslaglenzen vormen en kan verzuring plaatsvinden. Lagere peilen in aangrenzende polders dragen ook hieraan bij (KWR & EGG, 2007). Het instandhouden van de buffercapaciteit door middel van hoge Ca-gehalten is dus belangrijk, vooral in Nederland waar de pH vergeleken met buitenlandse referentiemonsters relatief laag is als gevolg van hoge atmosferische depositie (Cusell et al., 2012). Dit gaat het best via de aanvoer en tijdelijke inundatie van Ca-rijk water. Wanneer de stroom van basenrijk oppervlaktewater wordt belemmerd is er zoals gezegd sprake van verzuring. Schouwenberg & van Wirdum (1998) hebben aangetoond dat er een duidelijk verband bestaat tussen het aandeel oppervlaktewater en de uitwisseling van  $\text{Ca}^{2+}$  in De Weerribben. Door het opheffen van hydrologische isolatie ten opzichte van het boezemwater door middel van het graven van sloten kan een oplading van het adsorptiecomplex met  $\text{Ca}^{2+}$  worden bewerkstelligd. Dit werkt echter alleen op een zeer smalle strook langs de sloten, tenzij er sprake is van overstroming met voldoende infiltratie.

Ook de blauwgraslanden in de Olde Maten & Veerslootlanden zijn sterk achteruitgegaan door verdroging en verzuring. Aan de hand van toestroming van basenrijk inlaatwater en kortstondige inundatie in de zomer kan het habitatype worden hersteld (KWR & EGG, 2007).

Het instellen van een seizoensmatig peilverloop heeft alleen zin als eerst de waterkwaliteit sterk is verbeterd, en dan met name in de winterperiode wanneer de hoge peilen optreden. Pas als de waterkwaliteit in orde is, kan een flexibel peilverloop en regelmatige overstroming gunstig zijn voor trilvenen. Hieruit kan worden geconcludeerd dat aanzienlijke vermindering in bemesting in de omliggende landbouwgronden eigenlijk de enige echt structurele oplossing vormt. Het enige probleem is echter dat tegelijkertijd verzuring doorgaat. Is de waterkwaliteit eenmaal goed genoeg, dan zou een natuurlijk (seizoensmatig) peilverloop met een marge van veertig centimeter gewenst zijn in de regio. In de Weerribben wordt een peil van min. 0.93 m – NAP in de zomer en 0.53 m – NAP in de winter vooralsnog als optimaal geacht. Hierbij zou volgens Riegman (2004) het verlandingsproces gebaat kunnen

zijn. Daarnaast zou waterplantengroei mogelijk kunnen zijn op grotere diepte en ook kan naar verwachting in de gebieden de visstand profiteren.

Waarschijnlijk zal invoering van een meer natuurlijke peildynamiek leiden tot een aantal wijzigingen in de soortensamenstelling. Naar verwachting (Riegman, 2004) zal de zeldzame waterplant Loos blaasjeskruid toenemen. Ook de oeverplanten Kleine watereppe en Grote lisdodde profiteren van een natuurlijke peildynamiek. Liesgras en Gele waterkers zullen toenemen op de voedselrijkere locaties in het gebied. Melkeppe zal juist afnemen, omdat deze plant slecht kan tegen peilschommelingen. Ook zullen verschillende Zuring soorten profiteren van wisselende waterstanden (Riegman, 2004). De Waterzuring is een gastplant voor de uiterst zeldzame Grote vuurvlinder. Een grotere verspreiding van de Waterzuring kan daarom stimulerend werken voor de Grote vuurvlinder (Van Tweel et al., 1995).

Belangrijk te vermelden is dat over de fysieke gevoeligheid van kraggen voor inundatie nog onzekerheid bestaat. Uit onderzoek (Cusell et al., 2012) is een verschil in respons gebleken tussen kraggen in de Kiersche Wieden en vak 60 in de Weerribben. In de Weerribben was van inundatie geen sprake, terwijl in de Kiersche Wieden vrijwel de gehele kragge onder water kwam te staan. Uit dit onderzoek is gebleken dat dit verschil in respons niet samenhangt met methaanproductie. Het is mogelijk dat het verschil te maken heeft met de diepte van de zandondergrond (Cusell et al., 2012). Vooral aan de oostzijde van het gebied kwamen inundaties voor na verhoging van het peil. In dit deel is de zandondergrond ondieper (Haans & Hamming, 1962; Rienks et al., 2002). Alvorens een besluit tot flexibel peilbeheer in de hele boezem wordt genomen, moet er duidelijkheid bestaan over welke percelen zullen overstromen als gevolg van peilverhoging en welke niet.

Verder is niet duidelijk wat de effecten van lagere waterstanden in de zomer zijn in deze regio. Verdroging in de zomer kan gunstig zijn, omdat minder nutriëntenrijk water ingelaten hoeft te worden. Maar een hogere beschikbaarheid van zuurstof kan ook leiden tot versnelde afbraak van veen en mineralisatie van nutriënten, en zelfs tot toename van verzuring door oxidatie van Fe(II) naar Fe(III), sulfiden tot sulfaat en ammonium tot nitraat (Lamers et al. 1998b). Daarnaast kan een lagere waterstand in de zomer tot directe problemen leiden bij vegetatie die afhankelijk is van een hoge waterstand. Een mineralisatie-experiment, waarbij getoetst wordt of verdroging en betere toetreding van zuurstof kan leiden tot verhoogde mineralisatie van het veen en het vrijkomen van nutriënten, wordt binnenkort uitgevoerd binnen het OBN onderzoek 'Pilot-studie naar de voor- en nadelen van peilfluctuatie voor het behoud en herstel van trilvenen' (Cusell et al., 2012).

*Met dank aan: Casper Cusell (UvA & RUN); Geert Kooijman (Staatsbosbeheer)*

## 7 Regionale landschapseenheid 2

### Regio's met veenbodem en van oudsher vooral gevoed door zoet kwelwater (plaatselijk nog aanwezig) vanuit een stuwwal

#### 7.1 Regio beschrijving

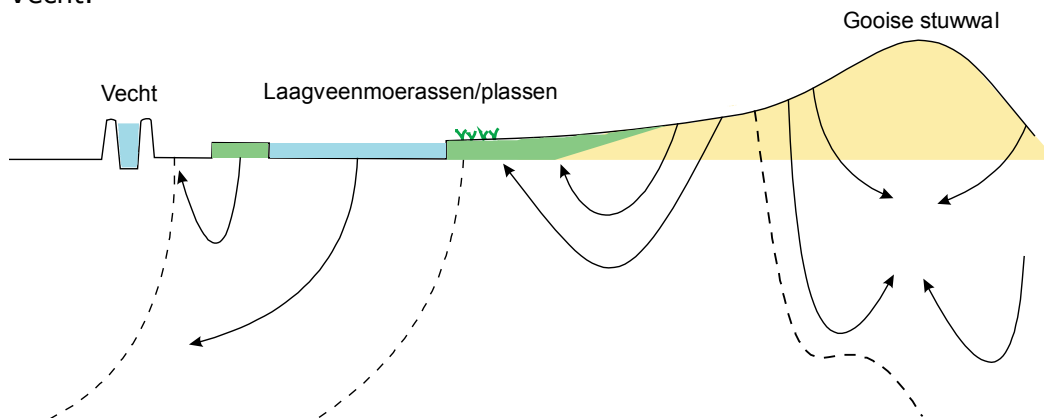
Onder regionale landschapseenheid 2 zijn de Natura 2000-gebieden Oostelijke Vechtplassen en het Naardermeer ondergebracht. Het gebied Oostelijke Vechtplassen bestaat uit verschillende laagveengebieden tussen de Vecht en de oostelijke rand van de Utrechtse Heuvelrug. In verschillende polders in de Oostelijke Vechtplassen zijn afzonderlijke deelgebieden te onderscheiden met habitat-richtlijn. Het Naardermeer ligt noordelijk ten opzichte van de Oostelijke Vechtplassen in het (veen-) poldergebied van West-Nederland.

Tabel 7.1; De deelgebieden in N-2000 gebied Oostelijke Vechtplassen (KWR & EGG, 2007).

Gebied	Omschrijving
De Molenpolder (SBB)	Een complex van petgaten en legakkers met aan de randen ook nog wat graslanden.
Polder Westbroek (SBB)	Graslanden, moerasbos en in het zuidwesten een aantal petgaten met open water en verlandingen.
Tienhovensche Plassen (NM)	Grotendeels open water met daarin smalle legakkerrestanten.
Oostelijke Binnenpolder Tienhoven (NM)	Vooraf graslanden, een aantal kleine moerasbosjes en enkele kleine plassen.
Breukelenveensche of Stille Plas (NM)	Open plas met vooral aan de westzijde een strook oeverlanden (moerasbos en natte graslanden of rietlanden).
Polder Weersloot (NM)	Grotendeels graslanden, verder moerasbos, enkele plassen en een eendekooi.
Westelijk deel van de Ster van Loosdrecht (NM)	Graslanden en moerasbos met enkele plassen erin
De Vuntus (NM)	Het westelijk deel is een open plas, het oostelijke bestaat uit grasland en moerasbos met een aantal plassen met legakkers erin.
Het Hol en De Suikerpot (NM)	Graslanden en moerasbos met vooral in het Hol ook een aantal plassen.
Kortenhoefsche Plassen (NM)	Grotere (Wijde Gat) en kleinere plassen, met daartussen legakkers, en aaneengesloten stukken moerasbos en grasland.
Zuidoostelijke deel van de Horstermeerpolder (NM)	Deze diepe droogmakerij wordt van de Kortenhoefsche Plassen gescheiden door een ringdijk. Het maaiveld in het onder Natura 2000 gebrachte deel ligt ca. 2 m lager dan dat in de Kortenhoefsche Plassen.
Westelijk deel van de Hollandsch-Ankeveensche en Stichts-Ankeveensche Polders met daarin de Ankeveensche Plassen (NM)	Ten westen van Ankeveen is een complex van petgaten en legakkers, waar enkele grotere plassen in zijn ontstaan met aan de randen meer aaneengesloten moerasbos en grasland. Ten zuidoosten van Ankeveen ligt vooral aaneengesloten moerasbos met daartussen een aantal graslanden.
Terra Nova, het deel van de Loenderveensche Plas westelijk van de Waterleidingplas (Waternet)	Grotendeels open water met daarin een aantal smalle veeneilanden (restanten van deels weggeslagen legakkers)

## 7.2 Hydrologie, waterkwaliteit en peilregime

De Utrechtse Heuvelrug wordt in het westen begrensd door de Oostelijke Vechtplassen. Voorheen was er, naast voeding door rivierwater (vecht) en neerslag, sprake van een sterke zoete kwelstroom van calcium-, bicarbonaat- en ijzerrijk grondwater vanuit de heuvelrug naar deze gebieden. Deze grondwaterstroming naar de laagveenmoerassen vanuit hogere zandgronden is in hoge mate afgenomen als gevolg van waterwinning en verstedelijking, maar vooral als gevolg van verdroging (droogmakerijen). Hierdoor heeft op veel plaatsen een omslag van kwel- naar infiltratiegebied plaatsgevonden in de laagveenmoerassen (Wassen, 1990; Schot, 1991), met als gevolg een toename van regenwaterinvloed en daling van de grond- en oppervlaktewaterstand. Deze verdrogingsproblematiek komt duidelijk naar voren in het Vechtplassen-gebied. De Vechtstreek vormt de overgangszone van de Gooise Stuwwal naar het veenweidegebied, waarbij het laagveen uitwigt tegen de zandgronden van het Gooi. Het gebied wordt gevoed door grondwater dat infiltreert op de stuwwal en als kwel aan de oostzijde van het gebied optreedt. De grondwaterstroming in de Oostelijke Vechtplassen is overwegend van oost naar west. Naar het westen toe nemen dikte en weerstand van de deklaag toe en neemt het stijghoogteverschil af. Daardoor neemt de kwelintensiteit richting het westen af (KWR & EGG, 2007). De invloed van het kwelwater uit de Utrechtse heuvelrug op het Vechtplassengebied is voor de drooglegging van Horstermeer/Bethunepolder ruimtelijk gezien veel groter in de fase na ontginning vanwege de doorsnijding van het veen met open water. Oorspronkelijk was de zone waar kwelwater uittrad beperkt tot een smalle zone langs de stuwwal (Van Loon, 2010) en kwamen uitgestrekte hoogvenen voor tussen de Utrechtse heuvelrug en de Vecht.



*Figuur 7.1; Schematische weergave van de hydrologie en ondergrond van regionale landschapseenheid 2.*

Als gevolg van waterwinning zijn de grondwaterstromingen aanzienlijk kleiner geworden (Schot & Van der Wal, 1992; Barendregt, 1993). In de afgelopen decennia is de stijghoogte op de Utrechtse Heuvelrug enkele decimeters gedaald. Ook is als gevolg van daling van omringende polders en daaropvolgende veranderingen in de kwelwaterstroming het Vechtplassen-gebied op veel plaatsen veranderd van kwel- naar infiltratieregio. Daarnaast is men sinds 1958 begonnen met drinkwaterbereiding van het kwelwater dat in de dieper gelegen Bethunepolder omhoog kwam, waardoor dit kwelwater ook niet meer in de vorm van oppervlaktewater het gebied kon binnen dringen (Barendregt et al., 1990).

Er zijn echter plaatsen waar kwel nog wel een rol speelt, zoals in delen van het Hol (Lamers et al., 2010). Maar ook in het Hol is de invloed van heuvelrugkwel verminderd, doordat het sterkste kwelgebied apart wordt bemalen en het kwelwater niet meer via sloten door Suikerpot en het Hol stroomt. De grondwaterfluxen in het Hol worden bepaald door het lokale hydrologische systeem (van Belle et al., 2006). Het water dat opkwelt is niet afkomstig van de Utrechtse Heuvelrug, maar van een nabijgelegen peilvak met een hoger peil. Aangenomen wordt dat voor vele andere deelgebieden van de Oostelijke Vechtplassen met eenzelfde bodemopbouw en vergelijkbare peilverschillen hetzelfde geldt (Lamers et al., 2010).

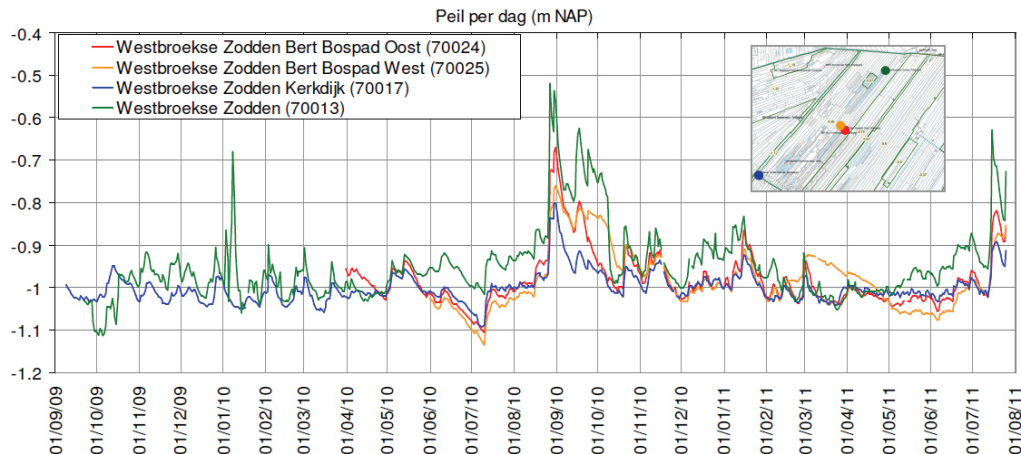
De waterhuishouding in de Oostelijke Vechtplassen is sterk aan verandering onderhevig geweest gedurende de ontwikkeling van het waterbeheer in de afgelopen 1000 jaar. Onder 'natuurlijke' omstandigheden werd een relatief kleine zone aan de voet van de stuwwallen van het Gooi gevoed door grote hoeveelheden grondwater. In het bovenstroomse gebied was hierdoor sprake van een wateroverschot van grondwater en regenwater. Door middel van laterale stroming door de wortelzone (zogenaamde doorstroom-model, zie paragraaf 3.2.4) en oppervlakkige afstroming werd dit wateroverschot afgevoerd naar de Vecht (Van Loon, 2010).

Vanwege het complexe poldersysteem, waarmee waterstanden per polder nauwkeurig kunnen worden afgestemd op landgebruiksfuncties, is het vlakke veengebied bovenstrooms ten opzichte van de laagveengebieden, veranderd in een gebied met relatief grote hoogteverschillen tussen de polders. Hierdoor wordt meer regenwater in de bodem opgenomen vanwege grondwaterstromingen die trapsgewijs ontstaan van hoger gelegen polders naar laag gelegen polders. Door deze complexe stromingspatronen is de totale hoeveelheid grondwater dat naar en door de laagveengebieden stroomt toegenomen. Echter, vanwege drainage door een netwerk van sloten bereikt het toestromende water de wortelzone van planten niet (Van Loon, 2010).

Ter compensatie van de waterstandsval wordt in deze regio's veelal water ingelaten om het grond- en oppervlaktewaterpeil in stand te houden, vooral in de zomer. De Oostelijke Vechtplassen worden tegenwoordig hoofdzakelijk gevoed door de watersystemen van de Vecht en het Amsterdam-Rijnkanaal. Deze waterlopen liggen boven het omringende landschap, omdat in de afgelopen eeuwen dit landschap is gedaald als gevolg van inklinking van de (veen)bodem (Engelen et al., 1989). Het ingelaten oppervlaktewater heeft een andere samenstelling dan het gebiedseigen water. Over het algemeen zijn vooral de gehalten aan nutriënten hoger (Van der Linden et al., 1996).

In de Oostelijke Vechtplassen verschilt het peilregime per deelgebied. In diverse polders wordt het peil bepaald door de wensen vanuit bebouwing of landbouw en is daardoor niet optimaal voor de aanwezige natuur (KWR & EGG, 2007). In geïsoleerde petgaten in de Westbroekse Zodden en in de Oostelijke Binnenpolder van Tienhoven wordt reeds een meer natuurlijk peilregime gehanteerd. Deze kleine gebieden worden niet actief bemalen of water ingelaten. Eenmaal in de zomer, als er in het geïsoleerde petgat van de Oostelijke Binnenpolder van Tienhoven gemaaid moet worden, wordt actief water uitgelaten om voldoende drooglegging te krijgen. Vervolgens kwelt het gebied vanzelf weer vol. Figuur 7.2 laat het gemeten peil over twee jaar zien in de Westbroekse Zodden. Monitoring in deze deelgebieden vindt plaats binnen het Waternet-project 'Flexibel peil, van denken naar doen'.

Ook voor het Naardermeer speelt de grondwaterstandsverlaging in het Gooi een rol (Van Tooren et al., 1994; Barendregt et al., 1995), naast de steeds verder gaande peilverlagingen in omliggende polders waardoor de wegzijging is toegenomen (KWR & EGG, 2007). Daarbij komt dat grondwaterwinning op de Utrechtse Heuvelrug leidt tot verdroging (Griffioen et al., 2003). Als gevolg hiervan werd het Naardermeer afhankelijk van inlaat van (eutroof) oppervlaktewater, maar toen de kwaliteit van het inlaatwater te slecht bleek werd de inlaat gestaakt met als gevolg grondwaterstands dalingen in droge perioden, verdroging en verzuring van het veen, eutrofiëring en vertroebeling van het oppervlaktewater (KWR & EGG, 2007).



Figuur 7.2; Gemeten peil (m NAP) over een periode van twee jaar in de Westbroekse Zodden (Schep, 2011).

Onderzoek (Van Loon, 2010) naar de stromingspatronen en grondwatersamenstelling in het Naardermeer en omgeving laat zien dat op dit moment regionale drainage grote effecten heeft op de waterhuishouding. De sloten die zijn gegraven om overtollig water af te voeren blijken het beetje toestromende grondwater dat nog aanwezig is ook nog af te vangen, waardoor het toestromende grondwater de wortelzone van planten niet bereikt. De voeding met regenwater neemt hierdoor toe met alle negatieve consequenties van dien voor de wortelzone.

Sinds enkele jaren is de waterkwaliteit in het Naardermeer sterk hersteld dankzij defosfatering van het inlaatwater (Griffioen et al., 2003). Ook wordt er in het Naardermeer reeds een flexibel peilregime gehanteerd. Binnen de kades van het Naardermeer mag de waterstand al fluctueren tussen NAP - 0,90 en NAP -1,10 meter. Water wordt naar behoefte in- en uitgelaten via de Uitwatering en molen De Onrust aan de noordzijde. Inlaat is geheel geautomatiseerd. De molenaars gaan uitmalen wanneer het waterpeil dat noodzakelijk maakt. Ieder jaar in september wordt de waterstand verlaagd naar ca NAP -1,05m omdat dan veel rietlanden gemaaid moeten worden, deze rietlanden zijn bij hoge waterstand immers niet toegankelijk voor machines. Aangezien het inlaatwater wordt gedefosfateerd voordat het wordt toegelaten, is er geen sprake van extra fosfaatbelasting als gevolg van het flexibele peilregime in het Naardermeer.

Momenteel loopt er in een deel van het Naardermeer een driejarige proef met betrekking tot flexibel peilbeheer. De verwachting is dat een flexibel peil gunstig kan uitpakken voor waterkwaliteit en het bevorderen van de oevervegetatie en het verlandingsproces. De proef is opgezet om de effecten van een flexibel peilbeheer als maatregel goed in kaart te brengen. Voor het



Naardermeer geldt dat één bosvak door een tweetal damwanden fysiek van de rest van het Naardermeer is gescheiden. In dit vak wordt gedurende de maand juli het peil verlaagd naar NAP -1,40m. In augustus is het peil dan op het laagst, waarna het in principe vanaf begin september met stapjes weer naar normaal peil wordt verhoogd. In het proefvak en in referentieplots eromheen wordt gemonitord of en zoja welke effecten optreden. Deze monitoring vindt plaats binnen het Waternet-project 'Flexibel peil, van denken naar doen'.

### 7.3 Huidige natuurwaarden

Tabel 7.2; Natura 2000 toewijzingen van de verschillende gebieden in regionale landschapseenheid 2: **1) Oostelijke vechtplassen; 2) Naardermeer**

Habitatype	Code	1	2
Kranswierwateren	H3140	X	X
Meren met krabbenscheer en fonteinkruiden	H3150	X	X
Vochtige heiden, laagveengebied (moerasheiden)	H4010B	X	X
Blauwgraslanden	H6410	X	X
Overgangs- en trilvenen, trilvenen	H7140A	X	X
Overgangs- en trilvenen, veenmosrietlanden	H7140B	X	X
Galigaanmoerassen	H7210	X	
Hoogveenbossen	H91D0	X	X
Vogelrichtlijn		X	X

In totaal zijn in deze regionale landschapseenheid tien broedvogelsoorten aangewezen in het kader van de Vogelrichtlijn. Meer dan de helft van de Oostelijke Vechtplassen heeft alleen Vogelrichtlijn. Een kleine helft is als Habitatrictlijn aangewezen. Voor beide gebieden zijn Grote karekiet, Purperreiger, Snor en Zwarte stern aangewezen. Voor het Naardermeer is Aalscholver als broedvogelsoort aangewezen, voor de Oostelijke Vechtplassen zijn dit IJsvogel, Porseleinhoen, Rietzanger, Roerdomp en Woudaap. De meeste soorten zijn gevoelig voor verstarring van het peilbeheer en/of een aantasting van de waterkwaliteit. Het ontbreken van peilfluctuatie wordt als een van de belangrijkste oorzaken beschouwd voor de achteruitgang van moerasvogels. De belangrijkste beperkende factor in het huidige moeras is immers het gebrek aan natte overjarige rietlanden en natuurlijke verjonging van het huidige moeras (Belgers & Arts, 2003; Van der Winden & Van der Hut, 2004). Vooral Zwarte stern en Grote karekiet zijn erg gevoelig voor verstarring van het peilbeheer (Van 't Veer & Hoogeboom, 2008). IJsvogel en Zwarte stern zijn daarnaast gebonden aan goed ontwikkelde habitattypen, resp. Hoogveenbossen en Meren met Krabbenscheer en fonteinkruiden. In totaal zijn acht trekkende soorten en watervogels voor het gebied aangewezen. Zowel het Naardermeer als de Oostelijke Vechtplassen worden door Kogans en Grauwe gans in de winter als rustgebied gebruikt. Voor de Oostelijke Vechtplassen zijn verder binnen de Vogelrichtlijn nog aangewezen: Aalscholver, Smient, Krakeend, Slobeend, Tafeleend en Nonnetje. Al deze watervogels gebruiken 's winters de ondiepe veenplassen als rust- en slaapgebied (Van 't Veer & Hoogeboom, 2008).

Groenknolorchis, Platte schijfhoren, Gestreepte waterroofkever en Gevlekte witsnuitlibel zijn sterk afhankelijk van een goede waterkwaliteit. Het voorkomen van voldoende buffering en goed ontwikkelde habitattypen met trilveen (Groenknolorchis) of waterplanten (overige soorten) is voor deze soorten belangrijk. Van de diersoorten zijn Noordse woelmuis en Kleine Modderkruiper alleen voor het Oostelijk Vechtplassengebied aangewezen; de

overige soorten zijn voor beide gebieden aangewezen. In het Naardermeer heeft de Gevlekte witsnuitlibel een bijzondere status. De soort is hier als complementair doel aangewezen vanwege het voorkomen van potentieel goed leefgebied. Landelijk gezien behoren het Naardermeer en de Oostelijke Vechtplassen tot de belangrijkste gebieden voor de Platte schijfhoren; beide gebieden leveren een grote bijdrage voor de instandhouding van deze soort. Ondanks de geringe populatiegrootte behoort de Oostelijke Vechtplassen tot de vijf belangrijkste gebieden van ons land voor de Gevlekte Witsnuitlibel en de Gestreepte waterroofkever. De Oostelijke Vechtplassen zijn op landelijk niveau ook belangrijk voor Bittervoorn (Van 't Veer & Hoogeboom, 2008). De aanwijzing van Noordse woelmuis verdient aandacht, omdat het hier om een prioritaire soort gaat. Het leefgebied van de soort is het afgelopen decennium afgenomen en wordt vooral bepaald door een complex van natte moerasvegetatie en natte graslanden (Van 't Veer & Hoogeboom, 2008).

In de gebieden in deze regionale landschapseenheid zijn habitattypen aangewezen die allemaal een sterke relatie bezitten met de waterkwaliteit en het waterpeil. Twee habitattypen omvatten soortenrijke waterplantenbegroeiingen van ondiepe en heldere veenplassen, namelijk Kranswierwateren (H3140) en Meren met Krabbenscheer en fonteinkruiden (H3150). Voor Kranswierwateren is het Naardermeer het belangrijkste gebied van ons land en levert dan ook vanwege het voorkomen van zeldzame soorten een zeer grote bijdrage aan de landelijke instandhoudingsdoelen (Van 't Veer & Hoogeboom, 2008). Van de schrale graslanden zijn de Blauwgraslanden (H6410) in zowel het Naardermeer als de Oostelijke Vechtplassen als te behouden en uit te breiden habitatype aangewezen. De meest bijzondere locaties liggen op plekken waar kwelwater aanwezig is (Wassen, 1990), zoals in sommige delen van het Naardermeer en in de zuidoostelijke delen van het Oostelijk Vechtplassengebied. Vanwege deze kwel liggen in het Vechtplassengebied goede kansen voor uitbreiding blauwgrasland. Vier habitattypen in deze regio omvatten de verlanding van rietland naar moerasbos, het zijn de Galigaanmoerassen (H7210), de Overgangs- en trilvenen (H7140), Vochtige heide met Dophei (H4010) en Hoogveenbossen (H91D0). Voor de Oostelijke Vechtplassen zijn de Galigaanmoerassen zeer kenmerkend; het gebied behoorde vroeger tot een van de kerngebieden van ons land. Trilvenen zijn in zowel het Naardermeer als in de Oostelijke vechtplassen bijzonder omdat dit het preferente leefgebied is van de Groenknolorchis (H1903); deze soort is in het kader van de Habitatrichtlijn voor beide gebieden aangewezen (Van 't Veer & Hoogeboom, 2008).

Hoogveenbossen zijn in beide Natura 2000 gebieden aangewezen; de grootste oppervlakten komen voor in het Naardermeer. In de laagveengebieden omvatten de Hoogveenbossen vooral veenmosrijke Berken- en Elzenbroekbossen. In het Naardermeer komt echter een zeer uitzonderlijke situatie voor, omdat hier overgangen voorkomen Dopheide- Berkenbroek, een bostype dat kenmerkend is voor hoogveenvorming. De verspreiding van Hoogveenbossen in de Oostelijke Vechtplassen is onvolledig bekend (Van 't Veer & Hoogeboom, 2008).

## **7.4 Knelpunten/kansen**

De achteruitgang van natuurwaarden in deze gebieden heeft verschillende oorzaken.

- 1) Toename van de wegzijging naar aangrenzende landbouwgebieden door peilverlaging in deze gebieden.
- 2) Verminderde toevoer van basenrijk kwelwater uit het Gooi door grondwaterwinning, verstedelijking en het diffus weglekken van toestromend grondwater naar drainagenetwerken (sloten);
- 3) Een strak peilbeheer in de plassen zelf waardoor water nauwelijks wordt vastgehouden en vegetatie niet goed kan ontwikkelen.

Het belangrijkste knelpunt is niet dat de kwel uit de Utrechtse heuvelrug door ingrepen daar is verminderd, maar dat het kwelwater niet meer in het Vechtplassen gebied opkwelt door de aanwezige diepe droogmakerijen en de slechte kwaliteit van het inlaatwater. Knelpunten kunnen worden opgelost door middel van peilverhoging buiten de Natura 2000-gebieden, vermindering van de grondwateronttrekkingen en afkoppeling van hemelwater in nabij gelegen (stedelijke) gebieden. Deze maatregelen van zeer grote inspanning kunnen zorgen voor vermindering van wegzijging en toename van kwelstromen (KWR & EGG, 2007).

Door de genoemde drie ingrepen is er sprake van een watertekort in de plassen dat wordt gecompenseerd door de aanvoer van nutriëntenrijk water. Bestrijding van verdroging hangt in deze regionale landschapseenheid dus direct samen met verbetering van de waterkwaliteit. Verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit heeft daarom prioriteit met het oog op het op gang komen van verlandingsreeksen. Maatregelen die bijdragen aan een betere oppervlaktewaterkwaliteit en maatregelen die bijdragen aan minder inlaatbehoefte zijn daarom urgent. Het voorzuiveren (defosfateren) van inlaatwater kan hieraan bijdragen. Deels wordt deze methode reeds toegepast, zoals bijvoorbeeld in het Naardermeer (KWR & EGG, 2007).

Voor herstel van de habitattypen met verlandingsvegetatie geldt dat het milieu mesotroof (matig voedselrijk) moet zijn en dat het doorzicht van het oppervlaktewater hoog genoeg moet zijn. Het habitatype overgangs- en trilveen komt met een relatief grote oppervlakte voor en is voor een deel goed en voor een deel matig ontwikkeld. Als het gaat om de kansen voor ontwikkeling van dit habitatype zijn hydrologische ingrepen noodzakelijk om het diep wegzakken van grondwaterstanden te voorkomen en periodieke inundaties met basenrijk water zijn essentieel. Bij lage peilen kunnen kraggen vastgroeien aan de ondergrond (KWR & EGG, 2007). Indien basenaanrijking vanuit oppervlaktewater als doel wordt gesteld van de invoer van een meer natuurlijk peilbeheer dient eerst de infiltratiecapaciteit van deze kraggen te worden onderzocht.

Het verplaatsen van grondwaterwinningen en het verhogen van polderpeilen zijn niet de meest effectieve maatregelen als het gaat om vernatting met grondwater. Het grondwater dat volgens het doorstroom-model (zie paragraaf 3.2.4) naar de laagveengebieden stroomt blijft namelijk weglekken via het drainagesysteem (Van Loon, 2010). Dit grondwater, dat essentieel is voor de condities van laagveenvegetatie, komt zodoende niet beschikbaar voor planten in de wortelzone, omdat het door de sloten versneld wordt afgevoerd als oppervlaktewater. Om de waterkwaliteit te verbeteren zou het regionaal dempen of afdammen van sloten op de overgang van de stuwwallen van het Gooi en de aangrenzende laagveengebieden een vereiste kunnen zijn. Het uittredende kalkrijke grondwater kan op deze manier ruimtelijk herverdeeld worden door middel van laterale afstroming (Van Loon, 2010). Het is echter de vraag of het dempen van sloten in het veengebied van de Vechtplassen zal leiden tot herstel van de vroegere doorstroomsituatie, aangezien deze sloten nergens aan de stuwwal grenzen. Vaak is in die overgangszone landbouw of

woonfunctie (landgoederen) aanwezig en zal de kwel via de sloten daar alsnog worden afgevoerd.

Pas wanneer een goede waterkwaliteit is bewerkstelligd kunnen nieuwe verlandingsreeksen ontstaan en kan verzuring worden tegengegaan. Peilfluctuaties kunnen hier vervolgens aan bijdragen, maar een goede waterkwaliteit geniet de eerste prioriteit.

*Met dank aan: Boudewijn Beltman (Universiteit Utrecht); Annemieke Ouwehand (Natuurmonumenten); Winnie Rip (Waternet)*

## 8 Regionale landschapseenheid 3

### **Regio's met veenbodem met veraarde of kleiige bovengrond en invloed van fossiel holoceen voedselrijk transgressiewater**

#### **8.1 Regio omschrijving**

Regionale landschapseenheid 3 omvat de Natura 2000-gebieden IJperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske; Polder Westzaan; Polder Zeevang; Wormer- en Jisperveld & Kalverpolder en Eilandspolder. Kenmerkend voor de laagveencomplexen in Noord-Holland ten noorden van het IJ is het zwak brakke karakter vanwege de voormalige aanvoer van zout/brak water vanuit de Zuiderzee. Ten gevolge van de afsluiting van de Zuiderzee is het inlaatwater steeds zoeter geworden en zijn de gebieden sinds de jaren '30 sterk verzoet.

#### **8.2 Hydrologie, waterkwaliteit en peilregime**

Van oorsprong lagen in deze regio zoete hoogvenen. Dit met veenstroompjes doorsneden veenkussen was bijna onbewoond. Omstreeks 1250 werd het achterland bedreigd door overstromingen die soms hele delen van het veen wegsloegen en binnenzeeënvormden. De ontginning van het hoogveen was hiervan een belangrijke oorzaak. Na ontginning, inlaat van brak Zuiderzee/IJ water als landbouwmethode (Aten, 2010) en ten behoeve van peilbeheer en af en toe een overstroming vanuit de Zuiderzee is er brak grond- en oppervlaktewater ontstaan.

Als relict van deze voormalige aanvoer van zout/brak water vanuit de Zuiderzee kennen de droogmakerijen een zwak brak karakter. In de Natura 2000-gebieden speelt brakke kwel geen rol. De droogmakerijen die de Natura 2000-gebieden omringen zorgen voor enige wegzijging, maar door de dikke holocene deklaag is deze wegzijging vrij gering en speelt op de waterbalans van de gebieden een geringe rol. De wegzijging kan wel zorgen voor het te diep wegzakken van de zomergrondwaterstand binnen semi-terrestrische habitattypen (KWR & EGG, 2007). De afbraak van veen als gevolg van deze lage grondwaterstand draagt bij aan afzetting van slib en opwerveling van dit slib leidt tot een zeer geringe doorzichtdiepte, waardoor verlanding niet kan plaatsvinden en waterplanten zich niet kunnen redden (KWR & EGG, 2007). Een andere negatieve consequentie van de lage zomergrondwaterstanden als gevolg van wegzijging is verzuring.

Twee concrete problemen zijn aan de orde als het gaat om de waterkwaliteit in deze landschapseenheid (Geurts et al., 2004):

- 1) Ten eerste is er sprake van veel te hoge concentraties aan stikstof en fosfaat (Lamers et al., 2006). De hoge concentraties aan fosfaat leiden tot groei van algen en troebel water. In sommige gebieden is de fosfaatconcentratie zo

hoog dat algen door stikstof gelimiteerd zijn. Hier is dus N sturend voor algenbloei en niet P. Voornaamste oorzaak voor de interne eutrofiëring is in deze regio de aanwezigheid van sulfaat in de (veen)bodem. Deze bodem is gevormd onder brakke omstandigheden (invloed van de voormalige Zuiderzee). Later is hier een pakket zoetwaterveen bovenop komen te liggen. Door ontwatering en veenwinning is dit zoetwaterveen verdwenen en zijn de brakke lagen weer aan de oppervlakte gekomen (Geurts et al. 2004). In deze brakke lagen zit zeer veel sulfaat. Zoals uitgelegd in hoofdstuk 5 wordt sulfaat onder anaërobe omstandigheden omgezet tot het giftige sulfide. De sulfideconcentraties zijn in gebieden in deze regio erg hoog (Lamers et al., 2006). Daarnaast wordt een deel van de voedselrijkdom veroorzaakt door bemesting van het omringende land en oppervlakkige afstroming.

- 2) Ten tweede zorgt het starre peilbeheer mogelijk voor problemen. Het huidige peilbeheer in de grootste delen van Waterland is gericht op handhaving van een vast peil. Natuurlijke en grote seizoensmatige fluctuaties worden niet of zelden toegestaan. De dynamiek, die er onder natuurlijke omstandigheden zou zijn, ontbreekt en dit heeft zijn doorwerking in de biogeochemische processen die plaats zouden vinden wanneer natte en droge perioden elkaar zouden afwisselen, zoals besproken in hoofdstuk 5. Dit starre peilbeheer vormt mogelijk een knelpunt als het gaat om ontwikkeling van met name habitattype H7140B; overgangs- en trilvenen (KWR & EGG, 2007). Experimenten, zoals op het moment worden uitgevoerd in het Ilperveld, moeten uitwijzen of instelling van peildynamiek volgens natuurlijke fluctuatie kan leiden tot Natura 2000- en KRW-natuurdoelen.

In een deel van het Ilperveld (180 hectare) is een flexibel peil ingesteld, waarin met een bepaalde marge neerslag en verdamping de waterstanden bepalen. Het gaat hier om een peil van 's winters 1.53 m –NAP en in de zomer 1.73 m –NAP. In het verleden was er sprake van kranwierwater-habitats in de petgaten van het Ilperveld en deze situatie wil men weer creëren. Daarvoor is het belangrijk dat de waterkwaliteit wordt verbeterd. Invoering van een meer natuurlijk waterpeil houdt in dat bepaalde vakken worden afgesloten van oppervlaktewater-inlaat van buiten het gebied en de gedachte achter het project in het Ilperveld is dan ook dat door deze afsluiting schoner, gebiedseigen water beter kan worden vastgehouden. Van wegzijging uit (en dus invloed van) omringende landbouwgronden is geen sprake, omdat de veenlaag in het gebied zeer isolerend is. Waterstromingen uit omringende landen zullen naar verwachting geen invloed hebben op het peilverloop in het Ilperveld na invoering van een meer natuurlijk peilregime.

### **8.3 Huidige natuurwaarden**

De in deze laagveenpolders gelegen natuurgebieden bestaan voor een groot deel uit extensief gebruikte weilandgebieden met een weidevogelstelling. Maar een aantal gebieden zijn ook aangewezen op basis van de habitatrichtlijn. Vanwege de lage zomergrondwaterstanden (als gevolg van wegzijging) is er sprake van pyrietoxidatie en verzuring. Hierdoor kunnen de soorten van zwakgebufferde en basenrijkere condities achteruit gaan, en dit is zeer negatief met het oog op ontwikkeling van prioritaire habitattypen. Voor veenmosrietlanden kan dit echter mogelijk wel gunstig zijn, doordat veenmosvegetaties zich beter ontwikkelen (Van Dijk, pers. communicatie). Dit wordt momenteel onderzocht binnen lopend OBN-onderzoek.

Tabel 8.1; Natura 2000 toewijzingen van de verschillende gebieden in regionale landschapseenheid 3: **1)** IJperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske; **2)** Polder Westzaan; **3)** Polder Zeevang; **4)** Wormer- en Jisperveld & Kalverpolder; **5)** Eilandspolder

Habitatype	Code	1	2	3	4	5
Schorren en zilte graslanden (binnendijks)	H1330B		X			
Kranswierwateren	H3140	X				
Vochtige heiden, laagveengebied (moerasheiden)	H4010B	X	X		X	
Overgangs- en trilvenen, veenmosrietlanden	H7140B	X	X		X	X
Hoogveenbossen	H91D0	X				
Ruigten en zomen (harig wilgenroosje)	H6430B	X	X		X	X
Vogelrichtlijn		X		X	X	X

Zoutgevoelige plantensoorten zoals Witte waterlelie, Waterviolier, Krabbescheer en Gewone dotterbloem ontbreken in de regio over het algemeen vanwege het oorspronkelijk zwak brakke karakter. Zeldzame zoutminnende of zoutverdragende plantensoorten komen wel voor, waaronder Snavelruppia, Zilte waterranonkel, Groot nimfkruid, Echt lepelblad en Heemst; soorten van het habitatype 'schorren en zilte graslanden'. Deze soorten zijn in de overige laagveengebieden afwezig (Londo, 1997). Met het oog op de ontwikkeling van deze brakke rietruigten is een meer natuurlijk peilregime gunstig, want brakke rietruigten kunnen ontstaan op het overspoelingsvlak van een oever als gevolg van een fluctuerend waterpeil (Terwan et al., 2000). Met de aanleg van het IJsselmeer is de kwaliteit van het inlaatwater veranderd en verzoeten de polders in toenemende mate. Ecologisch gezien is dit een verslechtering. Doordat het water troebel en zuurstofloos wordt als gevolg van de eutrofiëringsproblematiek en eventueel algengroei, krijgen ondergedoken waterplanten en fauna geen kans om zich te vestigen, want helder en plantenrijk water is noodzakelijk voor de toegewezen Natura-2000 soorten en habitats (Lamers et al., 2006).

Er bestaat een verschil in vegetatiesuccessie tussen het Noord-Hollandse brakwaterlaagveen en de overige veengebieden. De laagveenmoerassen die voorkomen in deze regio hebben vanwege het hoge zoutgehalte weinig boomgroei (slechts zachte berk en wilgen) en zijn weinig verveend omdat het zout in de turf de brandstofkwaliteit vermindert (Van Leerdam & Vermeer, 1992).

Voor het gebied IJperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske gelden aanwijzingen op grond van de Vogelrichtlijn en Habitatrictlijn (in Twiske alleen Vogelrichtlijn). Aanwijzing op grond van de Vogelrichtlijn in dit gebied is gebaseerd op het voorkomen van drempeloverschrijdende aantallen van Krakeend, Smient, Grutto, die het gebied gebruiken als overwinteringsgebied en rustplaats. Ook is het gebied broedgebied van de Roerdomp. Met het oog op een meer natuurlijk peilbeheer is het belangrijk te vermelden dat als gevolg van overspoeling slikranden kunnen ontstaan en deze slikranden zouden van groot belang kunnen zijn voor foeragerende vogels zoals de Kempfaan, die gebaad zijn bij de aanwezigheid van macrofauna. Hierover bestaat nog geen zekerheid. Verder is het gebied belangrijk voor de Noordse Woelmuis (prioritaire soort).

Met het oog op de Habitatrictlijn is het ontstaan van slikranden als gevolg van een meer natuurlijk peilbeheer gewenst. Dit in verband met jonge Rietverlanding, met name door Kleine lisdodde. Ook hiervoor geldt dat er nog onduidelijkheid bestaat over de directe invloed van peilfluctuaties.

In de gebieden Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske is sprake van de habitattypen kranwierwateren, moerasheiden, ruigten en zomen (harig wilgenroosje), veenmosrietlanden en hoogveenbossen. In Polder Westzaan en het gebied Wormer- en Jisperveld en Kalverpolder is er minder sprake van veen en habitattypen die horen bij verlandingsstadia. Bovendien lijkt in Wormer- en Jisperveld en Kalverpolder het eutrofiëringsprobleem met fosfaat groter te zijn. In Polder Zeevang en Eilandspolder is meer sprake van kleibodems. Door het hoge kleigehalte treedt verzuring minder sterk op dan in de andere voormalige brakwatervenen. Door de hoge CEC is de buffercapaciteit hier dan ook groot. Eilandspolder is aangewezen vanwege het voorkomen van habitattypen ruigten en zomen en veenmosrietlanden. In polder Zeevang is vrijwel geen sprake van verlanding en voor dit gebied geldt slechts Vogelrichtlijn (KWR & EGG, 2007).

## **8.4 Knelpunten/kansen**

Wegzijing naar droogmakerijen rondom de regio dient te worden verminderd. Dit zou kunnen worden bewerkstelligd door de polderpeilen in de omgeving te verhogen. Afhankelijk van de functie van het omringende land vormt dit in sommige gebieden een potentiële oplossing, maar echt grote effecten worden niet verwacht. Ook zorgen de vele onderbemalingen in de regio voor te lage grondwaterstanden, met name in de zomer. Ook deze onderbemalingen dienen te worden gestopt (KWR & EGG, 2007).

Verzuring door lage grondwaterstand is vooral het gevolg van pyrietoxidatie in de bodem en niet zozeer de vorming van neerslaglenzen.

Periodieke inundatie in de winter en in het voorjaar en een lager peil in de zomer (een meer natuurlijk peilbeheer) ter bevordering van verlanding kan een goede maatregel zijn in deze regio's, want de hoge nutriënten- en sulfaatgehalten van het oppervlaktewater en de zeer geringe doorzichtdiepte vormen een knelpunt voor de ontwikkeling van het habitatype kranwierwateren. Dit is ook belangrijk met het oog op het hierop volgende verlandingsstadium van veenmosrietlanden (KWR & EGG, 2007). Het verminderen van de aanvoer van nutriëntenrijk en sulfaatrijk oppervlaktewater ten behoeve van het handhaven van een voldoende hoog zomerpeil kan de waterkwaliteit ten goede komen. Met een seizoensmatige peilfluctuatie kan gebiedseigen water worden vastgehouden.

Uit peilexperimenten in Waterland is gebleken dat het instellen van een natuurlijk peil met droogval in de zomer in brakke venen in combinatie met doorstroming met oppervlaktewater met als doel de waterkwaliteit te verbeteren niet het gewenste resultaat oplevert (Geurts et al., 2004). De oorzaak hiervan is de extreem hoge concentratie aan fosfaat, sulfaat en sulfide in de waterkolom. Dit heeft geleid tot hoge dichtheden van algen en cyanobacteriën en afwezigheid van onderwatervegetatie. Conclusie is dan ook dat de extreme interne eutrofiëring van de verzoete brakwatervenen in deze Natura 2000-gebieden niet voldoende kan worden aangepakt via peilfluctuatie. Het lijkt er sterk op dat in deze zeer fosfaat- en sulfaatrijke venen chloride vooralsnog als de enige geschikte manier wordt gezien om eutrofiëring terug te dringen (Lamers et al., 2006).

De hoge fosfaatbelasting is ook de kern van het probleem in het gebied Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld en Twiske (Witteveen & Bos, 2005). Deze belasting is het gevolg van menselijk gebruik: ontwatering van het



veen, inlaat van boezemwater, bemesting van percelen om de weidevogelstelling te kunnen halen. Door dit gebruik en de gevolgen daarvan bestaan er problemen om een helder en plantenrijk water te bereiken. Daarnaast leidt het ertoe dat natuurdoelstellingen binnen een gebied tot tegenstrijdige maatregelen leiden. Voor het behalen van de weidevogelstellingen is een redelijk intensieve bemesting van de percelen noodzakelijk, terwijl voor het bereiken van helder en plantenrijk water een afname van de belasting, waaronder de bemesting, noodzakelijk is. Deze tegenstrijdigheid kan alleen worden opgelost door een geheel andere inrichting van het watersysteem, mogelijk met een dynamisch peilbeheer volgens natuurlijke fluctuaties in afgesloten vakken. Een variërend peil zal in dat geval zeker positief bijdragen, met name als het gaat om de ontwikkeling van de oevervegetatie (Witteveen & Bos, 2005).

In deze regionale landschapseenheid kunnen peilfluctuaties effect hebben op het zoutgehalte. Mogelijk wordt immers in sommige gebieden brakke kwel aangetrokken bij een laag peil, terwijl het huidige inlaatwater zoet is. Dit kan allerlei biogeochemische gevolgen hebben: hogere sulfaat-, ammonium- en fosfaatconcentraties kunnen negatieve uitwerking hebben, zoals besproken in paragraaf 4.1.1. Hogere chlorideconcentraties daarentegen kunnen positieve uitwerking hebben op eutrofiëring (Lamers et al., 2006). In het OBN-onderzoeksproject 'Verbrakking in het laagveen en zeekleilandschap: van bedreiging naar kans?' worden deze effecten nog nader onderzocht. Duidelijk is in ieder geval dat per gebied moet worden bepaald in hoeverre door de invoer van peilfluctuaties de stroming van brakke kwel wordt beïnvloed.

*Met dank aan: Niels Hogeweg (Landschap Noord-Holland)*



## 9 Regionale landschapseenheid 4

### Regio's met veenbodem met bovenlaag van klei

#### 9.1 Regio beschrijving

Regionale landschapseenheid 4 omvat de Natura 2000-gebieden Deelen; Oudegaasterbrekken, Fluessen en omgeving; Witte en Zwarte Brekken; Sneekermeergebied; Alde Feanen; Grootte Wielen; Leekstermeergebied, alle gelegen in Friesland. De westzijde van deze regio kent een band met klei op veengebieden. Daar waar de invloed van de zee niet meer terug te vinden is bevinden zich de dikkere veengronden. Deze lopen langzaam terug in dikte wanneer wordt doorgestoken naar het Drents plateau in het oosten en men uiteindelijk op de zandgrond uitkomt. De verveende petgaten liggen in de pure veengebieden. Het gaat in deze regio om relatief dunne pakketten veen met een maximale dikte van twee meter. Vanuit het centrum van het veen geredeneerd wordt naar het westen toe het kleipakket steeds dikker en naar het oosten toe loopt het veenpakket steeds dunner uit op de zandgrond (Rienks et al., 2004).

#### 9.2 Hydrologie, waterkwaliteit en peilregime

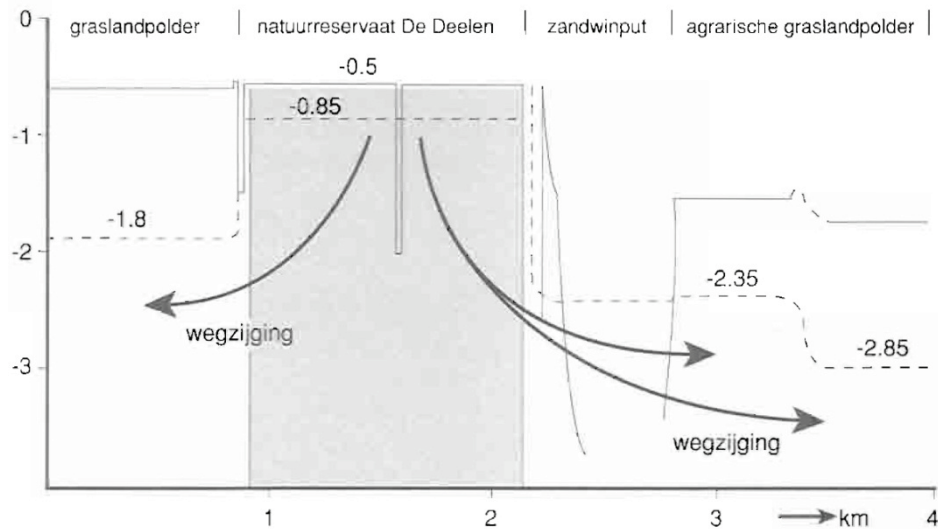
In het zuidwestelijk deel van Friesland is een complex van stromingssystemen onderscheiden, waarbij de meren met hun hoge boezempeilen de infiltratiegebieden vormen voor de grondwaterstroming naar de omringende diepere polders. Vooral rondom de Natura-2000 gebieden Oudegaasterbrekken, Fluessen en ten noorden van het Sneekermeer komen diepere polders voor met zeer lage peilen. Om het streefpeil van -0.52 m NAP (Claassen, 2008) in de ondiepe meren en plassen in deze regio zo goed mogelijk te handhaven wordt bij watertekort IJsselmeerwater ingelaten, en bij een wateroverschot overtollig water geloosd naar het Lauwersmeer en de Waddenzee en bij Lemmer en Stavoren zonodig uitgemaalend naar het IJsselmeer. Met uitzondering van kortdurende perioden van overschrijdingen van het streefpeil lukt het goed het streefpeil te handhaven. De jaarlijkse hoeveelheid ingelaten IJsselmeerwater komt ongeveer overeen met 1 à 2 maal de inhoud van het boezemstelsel. De jaarlijkse af- en doorvoer van water is ongeveer een factor 5 groter, immers inliggende poldergebieden (bijna 200.000 ha) en vrij afstromende hogere gebieden (ruim 64.000 ha) brengen 's winters hun overtollig water op de boezem (Claassen, 2008).

De Deelen was van oorsprong het laagst gelegen deel in de veenpolder ten noorden van Heerenveen, maar door de jaren heen is het maaiveld van het ontgonnen deel van de polder omliggend aan De Deelen gedaald door oxidatie, mineralisatie en inklinking door waterstandsverlaging. Het maaiveld in De Deelen ligt nu aanzienlijk hoger dan het omringende gebied en daarom wordt het gebied gezien als een gebied met sterke wegzijging. De binnen OBN

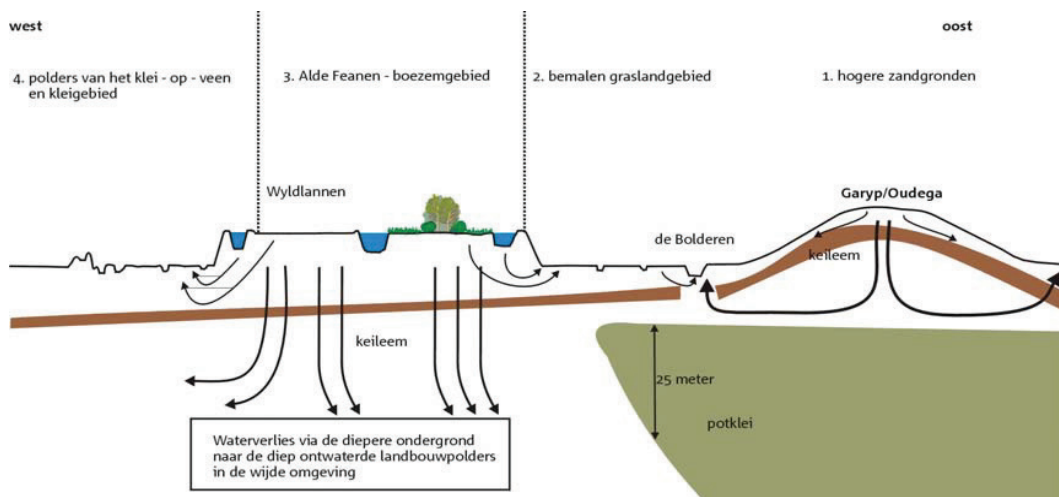
onderzoek berekende gemiddelde jaarlijkse wegzijging in De Deelen bedraagt 0.8 mm per jaar (Lamers et al., 2010). Er is dus geen sprake van kwel, maar ook niet van vrije intrek van gebiedsvreemd water. Voor peilhandhaving wordt namelijk water uit de naastliggende zandwinplas De Petten gepompt (Lamers et al., 2010). Sinds 1960 wordt er in het gebied De Deelen boezemwater ingelaten. Er werd voor de Deelen-kern (apart peilvak) in de periode 1981-1993 een vast streefpeil gehanteerd van NAP -0.85 m, wat in 1993 is verlaagd naar NAP -0.95 m. Sinds 2002 echter worden alle peilvakken weer vanuit een inlaatpunt gevoed. In 2003 is een dynamisch peilbeheer geïntroduceerd voor het hele gebied (waterpeil maximaal tussen NAP -0.7 m in de winter en NAP -1.2 m in de zomer) door middels een pomp water in te laten uit de zandwinplas De Petten. Vanaf dit moment heeft er monitoring plaatsgevonden in het kader van het Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren (Lamers et al., 2006; Rijkens, 2008). De fosfaatconcentraties in het bodemvocht van de waterbodem en het oppervlaktewater zijn in deze periode gedaald. Hierop gebaseerd werd verwacht dat de fosfaatconcentraties in het oevervocht zouden dalen bij een peildaling, door een sterkere binding met ijzer(III). Echter, experimenten hebben geen correlatie getoond tussen de ijzer- en fosfaatconcentraties van het oevervocht in de Deelen. De sulfaat en sulfideconcentraties in het oevervocht vertoonden ook geen eenduidig verband met de waterpeilfluctuaties en het vegetatietype veranderde niet veel als gevolg van peilfluctuaties (Lamers et al., 2006).

De waterkwaliteit in De Deelen is de afgelopen jaren juist weer afgenomen (toename P, minder doorzicht). De indruk bestaat dat dit te maken heeft met een versnelde erosie van legakkers. In de zomer (lage waterstand) droogt de veenbodem in en het hiermee samenhangende structuurverlies leidt tot een versnelde erosie. Door deze extra erosie komt er extra zwevend stof vrij in de waterkolom en na gedeeltelijke mineralisatie kent dit doorwerking in toename van trofie (algen) en minder doorzicht (Ministerie van ELI, 2011). Een tweede aspect is het door erosie geheel verdwijnen van smalle legakkers, waarbij grote plassen ontstaan. Daarbij stagneert het gewenste verlandingsproces nog verder. Nog een ander verschijnsel als gevolg van natuurlijke peilfluctuaties is waargenomen in de Deelen, namelijk een toename van veenafbraak waardoor fosfaat vrij komt dat vervolgens blauwwierbloeien veroorzaakt. Dit verschijnsel is zo'n tien jaar geleden waargenomen. Na een daling van het zomerpeil met 40 centimeter volgde een intensieve blauwwierbloei met alle nadelige gevolgen voor de vegetatie. Er wordt verondersteld dat door de drastische peilverlaging zuurstof dieper in de veenbodem kwam en dat daardoor het veen versneld werd afgebroken. Dit zou hebben geleid tot extra mobilisatie van stikstof en vooral ook fosfaat. Gezien het feit dat de waterkwaliteit binnen de Deelen slechter is dan de kwaliteit van het aanvoerwater en gezien de afbraakproblemen in de oevers is geadviseerd om in dit gebied geen (grote) peildaling meer toe te staan (Lamers, pers. Meded.). Dit was al sinds begin 2011 ingezet.

Ook voor de Alde Faenen geldt dat na ontginning en inpoldering de omgeving lager is komen te liggen dan het natuurgebied (Figuur 9.2) en dat er sprake is van sterke wegzijging. Het diepe grondwater dat op grote afstand infiltrateert op het Drents Plateau speelt geen rol in het Natura 2000-gebied doordat diepere polders vooral ten westen van het gebied het water aantrekken en de dikke potkleilaag onder het oosten van de Alde Faenen een barrière vormt (Provincie Fryslân, 2010).



Figuur 9.1; Schematische dwarsdoorsnede van de Deelen en omgeving met maaiveldhoogten en (grond)waterpeilen (Lamers et al., 2001).



Figuur 9.2; Schematische dwarsdoorsnede van de Alde Faenen en omgeving (Provincie Fryslân, 2010).

In het oostelijk poldergebied van de Alde Faenen wordt een waterpeil nagestreefd van  $-1.3$  m NAP in de zomer en  $-1.6$  m NAP in de winter. Regelmatig wordt er in de zomer water ingelaten. Het grootste deel van het gebied behoort echter tot het centrale boezemgebied, waar een vast peil van  $-0.52$  m wordt aangehouden (Provincie Fryslân, 2010).

### 9.3 Huidige natuurwaarden

In het algemeen zijn de zeekleipolders in deze gebieden momenteel van weinig waarde als het gaat om terrestrische natuurwaarden. In de Alde Faenen is geëxperimenteerd met het waterpeil en zijn positieve resultaten behaald als het gaat om moerasvogels. Sinds de jaren zestig is hier sprake van vernatting en sinds 1989 is in het gebied een dikke laag grond verwijderd, waardoor de meeste plag-stroken ondiep onder water liggen. Het resultaat van deze vernatting van graslanden is afhankelijk gebleken van de hoogtelegging. In de ondiepe plas-drasse delen ontwikkelde zich jonge

moerasstadia en aldus bleken de lager gelegen terreindelen het meest geschikt als broedplaats voor moerasvogels. Een duidelijke beperking bij deze vorm van moerasontwikkeling is het gebrek aan dieper open water, al dan niet met waterplanten (Van Beusekom et al., 2003).

Tabel 9.1; Natura 2000 toewijzingen van de verschillende gebieden in regionale landschapseenheid 4: **1)** Oudegaasterbrekken, Fluessen en omgeving; **2)** Witte en Zwarte Brekken; **3)** Sneekermeeergebied; **4)** Alde Faenen; **5)** Grootte Wielen; **6)** Leekstermeergebied; **7)** Deelen

Habitattype	Code	1	2	3	4	5	6	7
Meren met krabbenscheer en fonteinkruiden	H3150	X			X	X		
Kranswierwateren	H3140							
Vochtige heiden, laagveen gebied (moerasheiden)	H4010B				X			
Blauwgraslanden	H6410				X	X		
Overgangs- en trilvenen, veenmosrietlanden	H7140B				X			
Galigaanmoerassen	H7210				X			
Hoogveenbossen	H91D0				X			
Ruigten en zomen (moerasspirea)	H6430A	X						
Ruigten en zomen (harig wilgenroosje)	H6430B	X						
Vogelrichtlijn		X	X	X	X	X	X	X

Als het gaat om de habitatrichtlijn is vooral het gebied Alde Faenen interessant. In het oostelijk poldergebied komt het habitattype meren met krabbenscheer en fonteinkruiden voor in goede staat, vooral in het gebied waar ook mineralenrijk grondwater wordt aangetroffen. Ook is er in dit oostelijke gebied van de Alde Faenen van goed ontwikkelde veenmosrietlanden (Provincie Fryslân, 2010).

## 9.4 Knelpunten/kansen

Verstarring van het waterpeil heeft waarschijnlijk geleid tot afname van riet- en biezenvegetaties, en daarmee het verdwijnen van belangrijke leefgebieden voor tal van diergroepen, zoals vlinders en libellen, vissen, riet- en moerasvogels zoals Grote karekiet (Graveland & Coops, 1997) en zoogdieren zoals Noordse woelmuis en Otter. De helofytengordel is bepalend voor vastlegging en verwijdering van nutriënten; slibinvang en vastlegging; schuilbiotoop voor roofvis en zoöplankton: biotoop voor overige vegetatie en vooral fauna en voor bescherming van oevers en kaden. Afwezigheid van een (voldoende) seizoensgebonden waterstandsfluctuatie leidt tot stilstand en achteruitgang van die (water)rietzone en bijgevolg tot achteruitgang van de andere genoemde processen en kenmerken. Omgekeerd zal vergroting van de peildynamiek gunstig zijn voor oevers en oevervegetatie. Daarmee zal de oeverbescherming op een meer natuurlijke wijze plaats vinden en kunnen leiden tot afname van kosten voor beheer en onderhoud van oevers en het op diepte houden van wateren. Verbetering van de habitatfunctie en vergroting van het zelfreinigend vermogen zullen leiden tot toename van de biodiversiteit en bijdragen aan een betere waterkwaliteit in deze regionale landschapseenheid (Claassen, 2008).

Invoering van een meer natuurlijk peilbeheer met een peil van circa 25 centimeter beneden maaiveld in de winter en circa 55 centimeter beneden maaiveld in de zomer leidt volgens Rienks et al. (2004) in deze regio tot een bodemdaling van 6 a 8 mm per jaar op respectievelijk klei op veen en puur veen. In de stukken waar kwel optreedt zal de daling aanzienlijk langzamer gaan en bij wegzijging is een snellere bodemdaling te verwachten.

Daarbij komt dat de landbouw hierbij aanzienlijke beperkingen zal ondervinden en niet alleen op basis van landbouwproductie zal kunnen bestaan (Rienks et al., 2004). Binnen de agrarische gebieden die gelegen zijn rondom de Natura 2000 gebieden in deze regio zal de bedrijfsvoering hinder ondervinden in perioden met een hoger peil (latere grasgroei, minder maaien, meer onkruiden). Het instellen van meer peilvakken zou hier een oplossing kunnen bieden.

Dit heeft gunstige gevolgen voor de natuurwaarden; de broedmogelijkheden voor weidevogels zullen toenemen en ook voor natte vegetaties zullen de standplaatscondities gunstiger zijn. Voor weidevogels biedt dit scenario de meeste potentie. Dit geldt vooral voor de klei op veengebieden, die van nature voedselrijker zijn. Daarnaast zal een verbetering van de visstand optreden (Rienks et al., 2004).

Bij diepere peilen in de omgeving is er sprake van wegzijging van water uit de natuurgebieden waardoor de omstandigheden daar verslechteren voor de natuur. Een buffer met hogere peilen rondom de natuurgebieden leidt tot betere omstandigheden in de natuurgebieden (Rienks et al., 2004). Door verslechtering van de waterkwaliteit in De Deelen raakt realisatie van de natuurdoelen verder uit zicht. Realisatie van de Natura 2000-doelen vereist een goede waterkwaliteit. De geconstateerde verslechtering van de waterkwaliteit in De Deelen staat hier haaks op. Daarnaast is de aanvoermogelijkheid van water uit de zandwinplas verbeterd en is de waterkwaliteit van het boezemwater verbeterd. Dit maakt dat waterinlaat voor realisatie van een constant hoog peil minder problematisch is dan in het verleden het geval was. Op grond van de gesignaleerde negatieve ontwikkelingen in de Deelen (erosie van legakkers en intensieve blauwwierbloei) is besloten het dynamisch peilbeheer te staken.

*Met dank aan: Henk Hut (Staatsbosbeheer); Berco Hoegen (Staatsbosbeheer)*





# 10 Regionale landschapseenheid 5

## Regio's met een veenbodem met bovenlaag van klei en invloed van (voormalig) brak voedingswater

### 10.1 Regio beschrijving

Regionale landschapseenheid 5 omvat de Natura 2000-gebieden Nieuwkoopse Plassen & de Haeck; Botshol; Donkse Laagten; Broekvelden, Vettenbroek & Polder Stein; De Wilck; Boezems Kinderdijk. Van origine waren de gebieden zee en de bodem bestaat daardoor uit een dikke laag (70-100 meter) grof en fijn zand, waarboven een kleilaag is afgezet. Dit pakket wordt afgedekt door zand, klei en veen uit het Holoceen en met het oog op de waterhuishouding zijn met name de eigenschappen van het bovenste en middelste watervoerend pakket van belang (IWACO, 1994).

### 10.2 Hydrologie, waterkwaliteit en peilregime

De gebieden Nieuwkoopse Plassen en Botshol kennen een holocene deklaag van 6 tot 10 meter, en waren voorheen zoete hoogveenkoepels.

In de periode voor 1960 werd er in het gebied Nieuwkoopse Plassen water uit de Oude Rijn ingelaten aan de zuidoostzijde (Ziendesluis) en was het gebied betrekkelijk zoet. Door het verleggen van de inlaat van de Zieme naar Slikkendam in 1960 en door het aansluiten van de Haak op Polder Nieuwkoop en Noorden in 1964 is het zoutgehalte flink toegenomen, omdat er in deze poldergebieden sprake was van uitslag van fossiel zout water als gevolg van drooglegging. In 1970 werd de inlaat dan ook weer naar de Zieme verplaatst, maar het water uit de Oude Rijn was inmiddels ook brakker en meer vervuild geworden. Pas aan het eind van de jaren 80 was het gebied weer min of meer zoet te noemen. Sinds begin 1990 wordt er gebruik gemaakt van een defosfateringsinstallatie bij het inlaatpunt en is de waterkwaliteit sterk verbeterd (niet gepubliceerde gegevens Natuurmonumenten). Overtollig regenwater wordt via het gemaal bij Zieme uitgemalen. Water inlaat en uitlaat vindt dus plaats op dezelfde locatie (Buro Bakker, 2008). In de Haeck wordt water ingelaten vanuit de Nieuwkoopse Plassen en het riviertje de Meije (Jansen et al., 2008).

Het gebied Nieuwkoopse Plassen raakt grondwater kwijt aan de diepe Polder Nieuwkoop en Polder Groot-Mijdrecht, omdat het gebied hoger ligt dan de omliggende polders. Door de dikke deklaag verliest het gebied Nieuwkoopse Plassen ca. 0.25-0.5 mm per dag aan wegzijging, hetgeen in vergelijking tot bijvoorbeeld het gebied Oostelijke Vechtplassen laag is te noemen. In het gebied Nieuwkoopse Plassen is nooit sprake geweest van kwelwater. Het gebied was altijd al een riviergevoed laagveen. In de Haeck treedt vanwege

het lagere waterpeil kwel op vanuit de Nieuwkoopse Plassen (Jansen et al., 2008).

De waterschappen voeren in het Nieuwkoopse Plassengebied een star peilbeheer, dit is al decennia lang vrijwel ongewijzigd. Het peil wordt gehandhaafd op -1,52 NAP, zowel 's zomers als 's winters. In de Haeck wordt het peil jaar-rond gehandhaafd op -2,14 NAP; in het oostelijk deel ligt het peil tussen -2,37 en -2,47 NAP (Buro Bakker, 2008).

De Polder Botshol is een laagveengebied met ondiepe plassen en sloten tussen vaste veenbodems. Het brakke inlaatwater in Botshol is afkomstig uit de droogmakerij Groot Mijdrecht. Ten westen en ten noorden wordt de Botshol begrensd door de riviertjes de Oude Waver en de Winkel. De kleiïgvenige bodem is ontstaan onder invloed van overstromingen. De zandondergrond van dekzanden begint op 8 à 10 meter -NAP. Hierop ligt een pakket van 6 à 8 meter holocene afzettingen, bestaande uit matig of slecht doorlatende klei- en veenlagen (KWR & EGG, 2007). Het maaiveld ligt op 2.2-2.4 meter -NAP. Het zomer en winter streefpeil is nu 2.45-2.60 meter -NAP.

Aangezien in de zuidelijk gelegen Polder Groot Mijdrecht het maaiveld op 5.7-6.0 meter -NAP ligt, treedt ook in Botshol in hoge mate wegzijging naar de ondergrond op. De hoge wegzijging uit Botshol (ca. 2 mm/dag) leidt ertoe dat er nu nauwelijks overtollige neerslag hoeft te worden uitgeslagen.

Voor het handhaven van peilen is het gebied dus afhankelijk van inlaat van oppervlaktewater. Tot 1988 was dat ongezuiverd oppervlaktewater. In 1988 is een defosfateringsinstallatie in gebruik genomen en wordt gezuiverd water ingelaten vanuit de Waver.

Binnen de Polder Botshol liggen in het noordelijk en noordoostelijk deel, buiten het natuurgebied, graslanden die in agrarisch gebruik zijn. Dit deel is in 1988 hydrologisch geïsoleerd van het natuurgebied. Daarvoor lag het moerasgebied van Botshol temidden van een groter hydrologisch systeem: tussen de inlaat van de Waver en de inlaat van zoet water uit het noordelijke deel van de Polder Botshol. De sloten in het noorden werden doorstroomd met het voedselrijke, zoete water vanuit de polder. De reden om de polder af te koppelen was de slechte waterkwaliteit als gevolg van de intensieve veehouderij (Provincie Utrecht, 2011).

Het inlaatwater in Botshol heeft een hoog chloride gehalte, als gevolg van het optreden van brakke kwel in Polder Groot Mijdrecht. In Polder Groot Mijdrecht is in hoge mate sprake van brak kwelwater, aangezien in deze regio een afremmende kleilaag ontbreekt. Deze brakke kwel is 'fossiel' zeewater dat ongeveer 6000 jaar geleden aan de rand van de toenmalige 'Waddenzee' is geïnfiltreerd (Zaadnoordijk et al., 2009). Uit metingen komt naar voren dat het gemiddelde chloridegehalte in de polder in de huidige situatie door het jaar heen varieert tussen ca. 400 (winter) en bijna 1000 mg/l (zomer) (Provincie Utrecht, 2009).

Het fosfaat in het oppervlaktewater binnen de Polder Botshol is in belangrijke mate afhankelijk van de aanvoer van fosfaat dat vrijkomt uit het veen, waarbij verhoogde zoutgehalten mogelijk zorgen voor een hogere nutriëntbeschikbaarheid (Rip, 2007). Het fosfaat wordt aangevoerd door neerslagwater dat afstroomt vanaf de percelen wanneer het veen verzadigd is met water. Er blijkt daarbij een variatie op te treden in de afstroming van water en daarmee van fosfaatbelasting onder invloed van het weer. Hierdoor bevat in het voorjaar het water meer fosfaat dat ter beschikking komt voor

algengroei en als gevolg daarvan neemt de helderheid van het water af. In winters met minder neerslag vindt, onder invloed van wegzijging en de hollere grondwaterspiegel, minder of geen afstroming van water met fosfaat vanaf de percelen plaats. Na regenarme winters is het water daardoor helderder. Met de afwisseling van nattere winters en drogere winters fluctueert dus de fosfaatbelasting en de helderheid van het water over meerjarige periodes (Rip, Ouboter en Los, 2007).

De kritische fosfaatbelasting is niet overal in het systeem gelijk. Deze neemt af bij toenemende strijklengte en ook bij toenemende diepte. Het bodemtype bepaalt mede de ligging van de kritische grens en deze ligt het laagst bij meren met een veenbodem. Het lijkt zo te zijn dat in de Grote en Kleine Wije bij een fosfaatbelasting van tussen de 0,8 en 1,5 mg P/m<sup>2</sup>/dag het water voldoende helder blijft voor de bijzondere kranswierwatervegetaties. Door het wisselende fosfaatgehalte is er geen sprake van een permanente heldere toestand van het water (Provincie Utrecht, 2009).

### 10.3 Huidige natuurwaarden

Tabel 10.1; Natura 2000 toewijzingen van de verschillende gebieden in regionale landschapseenheid 7: **1)** Nieuwkoopse Plassen & de Haeck; **2)** Donkse Laagten; **3)** Broekvelden, Vettenbroek & Polder Stein; **4)** De Wilck; **5)** Boezems Kinderdijk; **6)** Botshol

Habitatype	Code	1	2	3	4	5	6
Kranswierwateren	H3140	X					X
Meren met krabbenscheer en fonteinkruiden	H3150	X					X
Vochtige heiden, laagveengebied (moerasheiden)	H4010B	X					
Blauwgraslanden	H6410	X					X
Overgangs- en trilvenen, trilvenen	H7140A	X					
Overgangs- en trilvenen, veenmosrietlanden	H7140B	X					X
Galigaanmoerassen	H7210	X					X
Ruigten en zomen (moerasspirea)				X			X
Hoogveenbossen	H91D0	X					
Vogelrichtlijn		X	X	X	X	X	

Bijna de helft van de Nieuwkoopse Plassen bestaat uit open water. De plassen en sloten stonden halverwege de vorige eeuw bekend om de fraaie kranswierbegroeiingen (H3140). Dergelijke begroeiingen zijn typerend voor laagveenwateren met min of meer brak water. In de jaren 1960 ging het om uitgestrekte velden met waterplanten, maar sindsdien zijn de dichtheden sterk afgenomen door vermindering van de waterkwaliteit. De laatste jaren is de waterkwaliteit een stuk verbeterd en zitten de waterplantenbegroeiingen weer enigszins in de lift. Kranswiervegetatie is nu beperkt tot beschut gelegen, kleinere plassen. In kleinere, luwe waterwegen met een veenbodem komen begroeiingen voor met Groot blaasjeskuid. Plaatselijk domineert Krabbenscheer of Glanzend fonteinkruid, soorten die eveneens profiteren van de verbeterde waterkwaliteit. Deze begroeiingen van matig voedselrijk, maar niet vervuild water maken onderdeel uit van H3150. In het verleden kwam in het Natura 2000gebied over een grote oppervlakte trilveen voor (H7140). Het voor trilveen kenmerkende Rood schorpioenmos komt nog slechts op een enkele plek voor, alleen in het centrale gebied van de Nieuwkoopse Plassen, waar de percelen het meest geïsoleerd liggen ten opzichte van het inlaatpunt van voedselrijk Rijnwater. Dit centrale deel is ook een gebied waarin relatief veel Groenknolorchis groeit. In De Haeck komt wel nog redelijk goed

ontwikkeld trilveen voor, getuige de soortencombinatie Klein blaasjeskruid, Rood schorpioenmos en Groenknolorchis.

Door verzuring zijn vrijwel alle trilvenen in de Nieuwkoopse Plassen vervangen door Veenmosrietland, waarin veenmossen domineren. Deze vorm van H7140 neemt tegenwoordig verreweg de grootste oppervlakte in van de veenbegroeiingen. Op de meest zure en droge delen, de oude legakkers in het centrale deel van de Nieuwkoopse Plassen komt Moerasheide voor. Blauwgraslanden zijn in het gebied beperkt tot De Haeck en de hooilanden op onvergraven veen langs de Meije. Aan de noordkant van De Haeck komen hooilanden voor die een mengeling vormen van Blauwgrasland, trilveen en Veenmosrietland. De trilveensoorten maken ook hier geleidelijk plaats voor soorten van Veenmosrietland. Zuidelijker in de Haeck ligt een perceel waarvan de begroeiing eenduidiger tot Blauwgrasland kan worden gerekend. De Nieuwkoopse Plassen zijn van oudsher beroemd om hun broedende moerasvogels. Vanuit internationaal oogpunt is de Noordse woelmuis een van de belangrijkste diersoorten in het plassengebied (Natura2000.nl).

De combinatie van eigenschappen, een grondwaterachtig karakter met een hoog chloridegehalte en met relatief weinig fosfaat, geeft de Botshol een specifiek karakter en dit uit zich in het relatief veelvuldig voorkomen van kranswiervegetaties (Simons et al., 1992). Botshol staat al vele jaren bekend als een van de belangrijkste groeiplaatsen van kranswiervegetatie (H3140) in Nederland. Hoewel kranswieren bekend staan om hun komen en gaan, zijn de sterke schommelingen van de laatste jaren een teken dat sprake is van een instabiele waterkwaliteit (Natura2000.nl). Voor wat betreft het habitatype Meren met krabbenscheer en fonteinkruiden is de kwaliteit matig en de oppervlakte zeer gering. Dit heeft alles te maken met het brakke karakter van het inlaatwater uit Polder Groot-Mijdrecht. Dit betekent dat veel waterplanten die in andere laagveenmoerassen algemeen zijn, hier vrij zeldzaam zijn, zoals Krabbenscheer, Kikkerbeet en Groot blaasjeskruid (Natura2000.nl). Vanwege de zeldzaamheid van Krabbenscheer verloopt de verlanding in de Botshol anders dan in andere laagveengebieden. De oeverzones worden doorgaans gedomineerd door grote grasachtigen, waarvan de wortels in dikke matten met elkaar verweven raken en op deze wijze een soort drijftillen maken (Natura2000.nl). De meest bijzondere oeverbegroeiingen zijn die met Galigaan, die een eigen habitatype vormen (H7210). De rietgordels langs de oever zijn regionaal van betekenis vanwege de aanwezigheid van Rietzanger en Snor.

De hoeveelheid blauwgraslanden is dermate gedegradeerd dat het in de zin van Natura 2000 voor zo goed als verdwenen beschouwd kan worden (Provincie Utrecht, 2011). De huidige kwaliteit van het veenmosrietland wordt met betrekking tot de Natura-2000 doelen voor 2/3 van de oppervlakte goed en voor 1/3 matig benoemd. Een vergelijking van de huidige veenmossamenstelling met gegevens van 60 jaar geleden illustreert ook de verzuring die heeft plaatsgevonden. Destijds was de basenminnende soort glanzend veenmos het meest algemeen. Nu echter is de algemeenste soort een soort die hier vroeger niet voorkwam, namelijk fraai veenmos. Dit is een zuurminnende soort wiens groei gestimuleerd wordt door luchtverontreiniging (Provincie Utrecht, 2011). Galigaanzomen zijn goed vertegenwoordigd langs de oevers van de Grote en Kleine Wijde in Botshol. Ze zijn echter soortenarm. Volgens Den Held et al (1992) is het veelvuldig voorkomen van Galigaan in Botshol een gevolg van vestiging in het voormalig (19e eeuwse) zoete milieu. Er zijn weinig andere plekken waar deze soort voorkomt bij een chloridegehalte dat kan oplopen tot 1000 mg/l. Het water van de Waver is pas geleidelijk zwak brak geworden na 1881 toen de Polder Groot-Mijdrecht werd

drooggemaakt en het zoute water uit ging slaan op de Waver. In 1924 blijkt de Waver al een chloridegehalte overeenkomstig het huidige te hebben. Het eindstadium dat momenteel in Botshol aanwezig is, is over het algemeen Elzenbroekbosbos. Moerasheide is in Botshol niet aanwezig (Provincie Utrecht, 2009).

## 10.4 Knelpunten/kansen

Voor de Nieuwkoopse Plassen en de Haeck geldt dat met het oog op vorming van trilveenvegetaties het zeer hoge calcium-gehalte in het Rijnwater van vóór 1960 van belang was. Tegenwoordig is het calcium-gehalte relatief laag en dit vormt mogelijk een probleem met het oog op jonge verlandingsstadia. De fosfaatbelasting van het inlaatwater is sterk verlaagd door middel van defosfatering, maar ook voor wat betreft fosfaat is het water bepaald nog niet van de kwaliteit van vroeger. Ook is in de bagger nog veel fosfaat opgeslagen. Daarbij komt dat het inlaatwater veel sulfaat bevat, dat zich kan ophopen in de bodem en kan leiden tot verhoogde interne eutrofiëring (Van Steenis, 2003). Verzuring in de kraggen in de Nieuwkoopse Plassen is vooral het gevolg van de aanwezigheid van pyriet.

Als gevolg van het starre peilbeheer is er in het gebied Nieuwkoopse Plassen en de Haeck sprake van verdroging en uitbreiding van jonge verlandingsstadia wordt belemmerd. Een natuurlijk peilregime zou in dit gebied van grote waarde kunnen zijn, waarbij belangrijk is dat de bodems of oevers eens in de zoveel jaar droog komen te liggen ten behoeve van helofyten en waterriet (Buro Bakker, 2008).

Natuurlijke peilfluctuaties leiden kunnen in de Nieuwkoopse Plassen echter leiden tot problemen. Bij verhoging van het waterpeil met enkele centimeters loopt het water reeds over de kades (Van Steenis, 2003). Bij verlaging van het waterpeil treden eveneens praktische bezwaren op van aanwonenden. De funderingen van de huizen worden aangepast. In het gebied of een gedeelte van het gebied zou alleen een totaal natuurlijk peilbeheer kunnen worden toegepast wanneer met behulp van damconstructies het betreffende gedeelte kan worden afgebakend. Hiermee zouden echter zeer hoge kosten gemoeid gaan.

Het instellen van een beperkte peilfluctuatie van enkele centimeters wordt wel als een mogelijke maatregel gezien om ontwikkeling van jonge verlandingsstadia te stimuleren. Voorwaarde is compartimentering van de betreffende deelgebieden in de Nieuwkoopse Plassen (Uran et al., 2007; Buro Bakker, 2008). Compartimentering zou echter negatieve consequenties voor de aanwezige natuur in het gebied kunnen hebben wanneer de huidige gradiënt in waterkwaliteit en natuur door het gebied hierdoor verloren gaat. Het lijkt echter wel effectief om in bepaalde mate sloten tussen kraggen te isoleren.

Voor de Polder Botshol geldt dat door de toegenomen wegzijging grondwaterstanden in het vaste veen in perioden met neerslagtekort dieper wegzakken, met als gevolg mineralisatie van het veen en het versneld ontstaan van dikke en zure regenwaterlenzen. Het starre peilbeheer heeft in het verleden geen overstroming toegelaten, waardoor periodieke aanvoer van basenrijk slib en basenopslading niet zijn opgetreden en de bodem gevoelig was voor verzuring. Dit zou geleid kunnen hebben tot verzuring van de habitattypen. Met name blauwgrasland is hierdoor gedegradeerd en zelfs verdwenen. De vraag is echter of inundatie met basenrijk, maar ook stikstof-

en fosfaatrijk water niet eveneens tot achteruitgang van de vegetatie zou hebben geleid (KWR & EGG, 2007).

In veengebieden als Botshol zijn verschillende verlandingsreeksen bekend die afhankelijk zijn van een aantal factoren, waaronder de voedselrijkdom en het chloridegehalte van het oppervlaktewater waarin de verlanding ontstaat, maar ook van het beheer. Wanneer de waterhuishouding en waterkwaliteit niet wezenlijk veranderen kunnen verschillende successiestadia, die zich gedurende het proces van verlanding ontwikkelen, jarenlang standhouden. Maar onder toenemende invloed van regenwater in de bodem ontstaat uiteindelijk een steeds zuurder milieu. Uiteindelijk zullen vegetaties onder invloed van verdere verlanding toch verruigen en vervolgens veranderen in bos, of onder invloed van voortgaande veenmosgroei en toename van de invloed van regenwater overgaan in moerasheide. Voor het aanwezig zijn van de kenmerkende diversiteit aan successiestadia in ruimte en tijd in Botshol is het in de eerste plaats van belang dat regelmatig nieuwe verlandingsreeksen ontstaan en zich ontwikkelen (Provincie Utrecht, 2009). Hierbij is naast waterkwaliteit een natuurlijker verloop van oppervlakte- en grondwaterpeil van belang.

Aldus is sinds januari 2011 in Botshol een nieuw peil gerealiseerd (Provincie Utrecht, 2011). Anders dan in de oude situatie, wordt het peil in het winterhalfjaar zo hoog mogelijk gehouden. Hierdoor is het gemiddelde waterpeil hoger aan het begin van het voorjaar. Dit betekent wel dat er ook in de winter dient te worden gedefosfateerd. Vervolgens wordt dit peil tot halverwege de zomer hoog gehouden door het inlaten van water, net als in de huidige situatie. Vanaf 1 juli mag het peil dan geleidelijk uitzakken tot een minimumpeil van 2,65 m -NAP in de periode tot en met half september. Bij deze natuurlijke peilfluctuaties krijgt de ontwikkeling van oevervegetatie betere kansen, is de kans op nachtvorstschade aan het riet minder groot door het hogere waterpeil in het voorjaar en hoeft in de periode van neerslagtekort minder water te worden ingelaten. Vervolgens wordt juist in het najaar weer een hoger streefpeil aangehouden, wat zoveel mogelijk door natuurlijke aanvulling (neerslagoverschot) in het winterhalfjaar kan plaatsvinden. Zonodig wordt extra water ingelaten, zodat het peil in het vroege voorjaar weer maximaal is (Provincie utrecht, 2011). Dit nieuwe peilbesluit in Botshol is dus wel gebaseerd op de seizoensmatige fluctuaties, maar de waterstanden worden gereguleerd binnen bepaalde marges. Dit heeft alles te maken met praktische bezwaren. In de eerste plaats geldt dat een hoger peil in de winter leidt tot hogere fosfaattoevoer en er dus meer water dient te worden gedefosfateerd. Daarnaast geldt als praktisch bezwaar dat er voor het toestaan van nog hogere peilen hogere waterkeringen nodig zijn. En daarbij komt dat er bij het toestaan van hogere peilen problemen ontstaan met de woningen van omwonenden.

Opmerkelijk is overigens de constatering dat na het instellen van de defosfateringsinstallatie in Botshol de fosfaatgehalten direct aanzienlijk zijn gedaald. Er was geen sprake van een herstelperiode vanwege nalevering van fosfaat uit de bodem. Wel kan er als gevolg van een meer natuurlijk peilverloop mineralisatie in de legakkers plaatsvinden en dus een hogere aanvoer van fosfaat. In Botshol is tot nog toe geen sprake van een versnelde erosie van legakkers als gevolg van meer natuurlijke peilfluctuaties. Monitoring van de effecten van het nieuw ingestelde flexibel peilbeheer in Botshol gebeurt binnen het Waternet-project 'Flexibel peil, van denken naar doen' (Provincie Utrecht, 2009).

*Met dank aan: Winnie Rip (Waternet); Martijn van Schie (Natuurmonumenten);  
Hanneke den Held; Marc Schmitz.*





# 11 Regionale landschapseenheid 6

## Regio's met een homogene klei- of zavelbodem

### 11.1 Regio beschrijving

De gebieden binnen deze regionale landschapseenheid (Natura 2000-gebieden Oostvaardersplassen en Lepelaarplassen) zijn gelegen in de polder van Flevoland, waar honderd jaar geleden de Zuiderzee was gelegen. Na de drooglegging in 1968 heeft in de regio ontwikkeling plaatsgevonden tot moerasesysteem en juist deze moeraszone is met het oog op de Vogelrichtlijn zeer interessant vanwege de soortenrijkdom (Natura 2000, 2006). In de moeraszone van de betreffende gebieden vormt waterpeilbeheer een van de belangrijkste sturende factoren. Voor de Oostvaardersplassen geldt dat de Natura 2000 toewijzing alleen het noordelijke gedeelte met Vogelrichtlijn betreft.

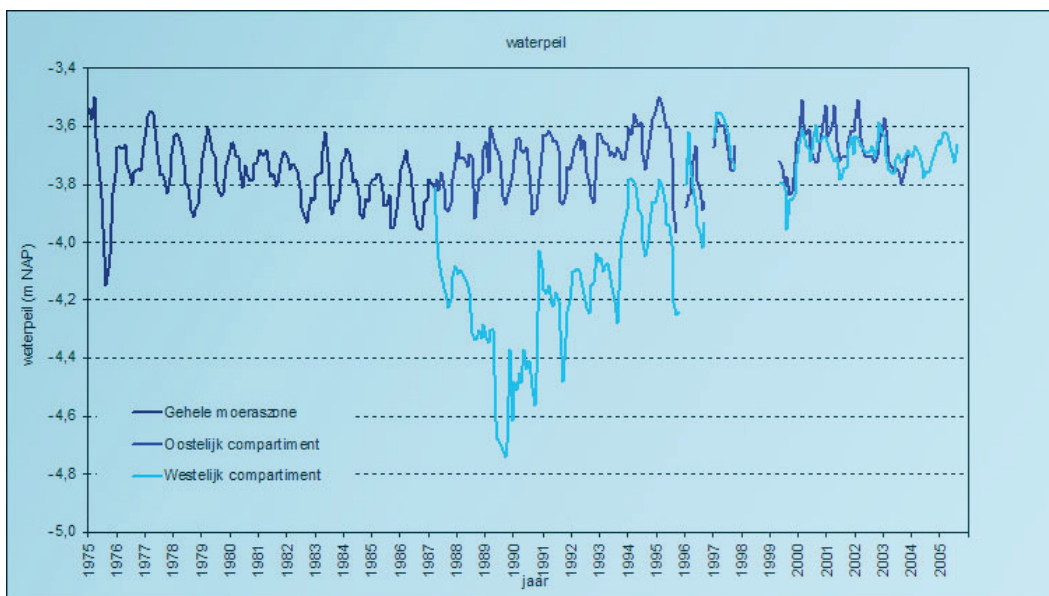
### 11.2 Hydrologie, waterkwaliteit en peilregime

Karakteristiek voor het moerasgedeelte van de Oostvaardersplassen is het feit dat dit hoger ligt dan de omringende droge en ingeklonken deelgebieden. Het gebied is dan ook een inzijgingsgebied. Met name in de Oostvaardersplassen zijn in de afgelopen decennia veel experimenten uitgevoerd met het waterpeil om de ontwikkeling van rietvlaktes te bevorderen. In de zeventiger jaren kende het jonge gebied een hoge biodiversiteit, maar vanaf de tachtiger jaren nam deze hoge natuurwaarde af, als gevolg van het nieuwe peilbeheer dat werd ingesteld om verdroging te voorkomen (Antheunisse et al., 2008). In 1976 werd om het moerasgebied een kade aangelegd en sindsdien wordt het peil beheerd met relatief hoge waterstanden in de winter, en een ca. 20 centimeter lager peil in de zomer. Als gevolg van golfslag en begrazing in de winter namen de zones met pioniervegetatie en halfopen rietmoeras af (Clevering & van der Toorn, 2000). In 1987 werd besloten tot een experiment met grotere fluctuaties met een langjarige cyclus om de ontwikkeling van nieuwe helofytenvegetatie te stimuleren (Coops et al., 2002). In het westelijke deel van de Oostvaardersplassen werd het peil vier jaar lang met 40 tot 80 centimeter verlaagd om een droge fase te creëren (zie figuur 11.2). Door deze droogval daalde de bodem in dit deel ongeveer 20 centimeter (Vera, 2008). Het peil werd sinds 1991 wederom verhoogd met als gevolg het gewenste gevarieerde moeras, met een grote rijkdom aan vogelsoorten en aantallen. Vanaf 1998 zijn beide compartimenten weer één hydrologische eenheid geworden. Omdat na een jaar of drie wederom een ontwikkeling richting open water plaatsvond en de variatie in het rietmoeras achteruit ging, geldt vanaf 1998 in deze regio een natuurlijk peil, waarin neerslag en verdamping bepalen welk peil wordt bereikt. Wel is er een maximum ingesteld; het water stroomt bij een waterpeil boven -3.70 meter NAP via een brede overstort uit het moeras naar de Lage Vaart, waar het water wordt

opgenomen in de algehele waterhuishouding van de polder (Kooijman & Vulink, 2008; Vera, 2008). Tot op heden leidt dat tot een verschil tussen zomer- en winterpeil van maximaal 40 centimeter. Deze peilfluctuatie wordt gehandhaafd, omdat veel moerasplanten alleen kunnen kiemen op drooggevallen bodem (Van Eerden et al., 1995). In de laatste acht jaar is er in de Oostvaardersplassen sprake van relatief natte winters en dus een hoog waterpeil en in de zomer zakte het peil niet ver weg. De verwachting is dat met het huidige ingestelde maximum peil deze trend zich zal voortzetten.

Van directe verontreinigende invloed door middel van uitspoeling vanuit omringende landbouwgronden is geen sprake, omdat het moerasgebied aanzienlijk hoger ligt dan de omliggende gebieden. Wel kunnen met name aalscholverkolonies in de zomer bijdragen tot een verhoogde input van nutriënten en versnelde nutriëntenkringlopen en in het voorjaar en in de winter wordt dit veroorzaakt door grote groepen trekvogels en ruiende ganzen (Hahn et al., 2007).

Als gevolg van continue doorspoeling met zoet grondwater, regenwater en oppervlaktewater is er geen sprake meer van effecten van de mariene geschiedenis van de bodem op de huidige biogeochemische grond(water)condities. Eutrofiëring als gevolg van pyrietvorming is in deze regio dan ook niet van het grootste belang (Antheunisse et al., 2008).



*Figuur 11.1; Verloop in waterpeilen in de verschillende compartimenten van de moeraszone van de Oostvaardersplassen tussen 1975 en 2005 (Kooijman & Vulink, 2008).*

Voor de Lepelaarplassen gelden dezelfde hydrologische en ecologische factoren als voor de Oostvaardersplassen, behalve dan dat het gebied aanzienlijk kleiner is en dat er om wegzijging te voorkomen rond het gebied een plastic scherm is ingegraven (Natura 2000, 2006).

### **11.3 Huidige natuurwaarden**

Na de inpoldering heeft zich in Flevoland een uitgestrekt zeekleimoerasgebied ontwikkeld in de laagste delen van de nieuwe polders. De natuurwaarden van de kleimoerassen in deze regio worden vooral bepaald door de grote omvang, waardoor zich zonder grote ingrepen complete ecosystemen hebben kunnen

ontwikkelen (Vera, 2008). De experimenten met tijdelijke drooglegging en herinundatie hebben geleid tot een meer gevarieerde moerasvegetatie en een toename van moerasvogels tijdens de inundaties. Met name heeft het natuurlijke peil geleid tot een vitale rietvegetatie (Van Beusekom et al., 2003). In de droge periode kiemen massaal plantensoorten op de kale kleibodem die door vraat van de ruiende grauwe ganzen zijn afgenomen, zoals riet en grote en kleine lisdodde (Vera, 2008).

Deze moerasdelen met uitgestrekte rietvelden worden druk bezocht door trekvogels en broedvogels. De gebieden danken hun hoge natuurwaarden dan ook vooral aan de vogelrijkdom. Moerasvogels als Roerdomp, Grote en Kleine Zilverreiger, Lepelaar en Aalscholver hebben in de Oostvaardersplassen populaties van internationaal belang. Daarnaast zijn de gebieden Europees gezien zeer belangrijk geworden voor ruiende en overwinterende watervogels zoals de Grauwe gans, Kleine rietgans, Grutto, Brandgans, Rosse grutto, Smient, Kolgans, Krakeend, Slobeend, Wulp en Wintertaling (Van Swaay & Van Strien, 2008; Schaminée et al., 2010).

Tijdens de ruiperiode begrazen de Grauwe ganzen de geïnundeerde rietvegetatie. De Grauwe ganzen kunnen dan ook worden gezien als sleutelsoorten voor het functioneren van het rietmoeras. Begrazing van het riet leidt namelijk tot het sneller beschikbaar komen van nutriënten in de voedselketen en door graasactiviteit zetten ganzen gesloten rietvegetatie om in een mozaïek structuur van halfopen riet met ondiep water, dat als habitat fungeert voor tal van andere moerassoorten. Bij gebrek aan periodieke droogval echter, zal de rietvegetatie geheel verdwijnen en zal nieuw grootschalig open water ontstaan (Kooijman & Vulink, 2008). De constant hoge waterstanden in de Oostvaardersplassen in de afgelopen tien jaar zijn gunstig geweest voor moerasvogels die natte omstandigheden prefereren zoals de Fuut, Meerkoet, Roerdomp, Grote en Kleine Zilverreiger en Lepelaar. Op de aantallen ruiende Grauwe ganzen, foeragerende Krakeenden, Slobeenden, rustende Kuifeenden, Tafeleenden en Nonnetjes lijken de veranderingen geen effect te hebben gehad. Maar soorten met een voorkeur voor drogere condities zijn in aantal afgenomen. Het gaat hier om Baardman, Blauwborst en Rietgors. Ook de steltlopers zijn vrijwel geheel verdwenen uit het gebied en de Bergeend kent een afname, wellicht vanwege de onbereikbaarheid van voedsel (Kooijman & Vulink, 2008).

Belangrijkste broedvogels in de Lepelaarplassen zijn de Aalscholver en de Lepelaar. De verschillende eilandjes in de grote plassen bieden een veilige broedplaats. Natuurlijk zijn er ook diverse andere soorten moerasvogels aanwezig, waaronder de tientallen paren van de Dodaars, Slobeend, Waterral, Blauwborst, Snor, Sprinkhaanzanger, Rietzanger en Baardman.

## **11.4 Knelpunten en kansen**

Periodieke vernatting door middel van peilverhoging is in deze regio een succesvolle manier gebleken voor het stimuleren van moerasontwikkeling vanwege de vestiging van helofyten. Dit kan worden bewerkstelligd door middel van peilopzetting of door middel van bodemverlaging in de vorm van afplaggen. Deze afplagging van de bodem dient plaats te vinden direct na het broedseizoen (en niet in het voorjaar) om een snelle uitzaaiing van wilgen te voorkomen (Van Beusekom et al., 2003). Door afplagging zal droogval echter minder frequent/langdurig voorkomen, hier dient rekening mee te worden gehouden.

Immers, perioden van natuurlijke droogval (van 3 à 4 jaar achter elkaar) en herinundatie zijn van groot belang. Naast begrazing zijn wisselende waterstanden door verschillen in neerslag en verdamping door de seizoenen heen en over de verschillende jaren essentieel. De wisselwerking tussen begrazing door ruiende grauwe ganzen die plaatsvindt als de moerasbegroeiing in het water staat, en het herstel van de moerasbegroeiing die plaatsvindt als het moeras droogvalt en ruiende ganzen ontbreken, zorgt voor de enorme rijkdom aan moerasvogels. De droogval van het moeras is de terugkoppeling op het effect van begrazing door ruiende grauwe ganzen (Vera, 2008).

Het is onder de huidige klimatologische omstandigheden echter zeer onwaarschijnlijk dat het moerasdeel van nature langer dan 2 jaar achter elkaar droogvalt. Dit is een grote beperking aan het huidige natuurlijke peilbeheer. De meerjarige dynamiek is te laag, omdat het stroomgebied niet groter is dan de natuurgebieden zelf (Antheunisse et al., 2008). Gebaseerd op de ondervindingen in de afgelopen jaren kan worden geconstateerd dat het huidige natuurlijke peilbeheer zal leiden tot weinig variatie in het waterpeil en relatief hoge waterstanden, waardoor een hoge biodiversiteit niet kan worden gegarandeerd en begrazing van Grauwe ganzen zal leiden tot een situatie met open water (Kooijman & Vulink, 2008). Om bij continuering van een volledig natuurlijk peilregime dit scenario te voorkomen is een droogval van een periode 3 à 4 jaar om de ongeveer 25 jaar essentieel met het oog op de EU Vogelrichtlijn. Echter, tijdens droogval zal sprake zijn van inklinking en bodemdaling. In hoeverre dit problemen oplevert in deze regio is nog niet geheel duidelijk.

*Met dank aan: Geert Kooijman (Staatsbosbeheer); Hans Breeveld (Staatsbosbeheer)*

# 12 Regionale landschapseenheid 7

## Regio met brakke kwel

### 12.1 Regio beschrijving

Natura 2000-gebied Lauwersmeer vormt regionale landschapseenheid 7. In het Lauwersmeer is er sprake van een brakke situatie. Hier vormt kwel van brak water vanuit de Waddenzee de belangrijkste aanvoerweg voor zout. Ook wordt er nog zout aangevoerd via grondwater uit diepe nog zoute bodemlagen (Coops et al., 2002). De zoutgehalten fluctueren tussen 300 (winter) en 2000 (zomer) mg Cl<sup>-</sup>/l (Van Rooij & Drost, 1996). Sinds de afsluiting in de vorm van een dijk is het water ook hier sterk verzoet en erg voedselrijk geworden.

### 12.2 Hydrologie, waterkwaliteit en peilregime

Het gebied Lauwersmeer stond vroeger vooral onder invloed van Drents/Gronings water, afkomstig van het Drents plateau. Het gebied vormt tegenwoordig een belangrijk onderdeel van de Fries/Groninger boezem en speelt een cruciale rol in de regionale waterhuishouding. Doordat het water als gevolg van hoge waterstanden op de Waddenzee niet altijd geloosd kan worden, treden in dit gebied regelmatig sterke schommelingen van de waterstand op.

### 12.3 Huidige natuurwaarden

In binnendijkse brakke wateren zoals het Lauwersmeer bepaalt het gemiddelde zoutgehalte welke gemeenschappen zich kunnen ontwikkelen, terwijl zoutfluctuaties bepalen welke soorten zich binnen die gemeenschappen kunnen handhaven (Gotjé et al., 2002). De huidige natuurwaarden zijn ontstaan door spontane ontwikkeling onder invloed van processen als inundatie, ontzilting en vegetatiesuccessie. Aanvankelijk ontwikkelde zich in het Lauwersmeer een zoute pioniersvegetatie, maar al snel na de afsluiting was er sprake van grazige vegetaties van brak tot zoet milieu en is het water erg voedselrijk geworden. Deze zoetwaterinvloed leidt tot verhoogde sterfte en het doorgaans stikstofrijke water vergroot de kans op algenbloei en zuurstofloosheid, met negatieve effecten op waterplanten (Coops et al., 2002). Tegenwoordig is er binnen het Lauwersmeer sprake van een grootschalig gebied met een gering reliëf, waarin moerassen, ruige graslanden en rietruigten zich plaatselijk ontwikkelen richting struweel en bos (Natura 2000, 2010).

Het Lauwersmeer is een zeer belangrijk broedgebied voor broedvogels van rietmoerassen en rietruigten (roerdomp, bruine kiekendief, blauwborst en

rietzanger). Ook is het gebied van zeer groot belang als broedgebied voor de grauwe kiekendief.

## **12.4 Knelpunten/kansen**

In het Lauwersmeer is het zoutgehalte de belangrijkste sturende factor in de waterkolom en aangezien peilbeheer vooral invloed heeft op de regulering van de toe- en afvoer van zoet water, wordt het ecologisch functioneren vooral bepaald door het effect op het zoutgehalte. Met het oog op de waterkolom en de natuurwaarden wordt een natuurlijk peilverloop als het meest gunstig gezien (Coops et al., 2002). Een fluctuerend peil kan echter beperkend werken als het gaat om oevererosie. Met name in brakke systemen zoals het Lauwersmeer is dit effect sterk, omdat er een minder ontwikkelde helofytenvegetatie aanwezig is (Coops et al., 2002). In het gebied spelen op het moment stevige discussies over peilbeheer en daarmee samenhangend de waterkwaliteit. Dat komt vooral omdat een groot deel van de Friese boezem afwatert op het Lauwersmeer, met allerlei negatieve consequenties van dien. Berging van nutriëntenrijk water is in de wintermaanden minder schadelijk dan in het voor- of najaar, vanwege het feit dat het water in de winter sowieso zoeter is dan in de rest van het jaar en veel soorten in winterrust zijn (Coops et al., 2002).

## 13 Synthese, discussie en kennisleemten

### 13.1 Natuurlijk peilbeheer als maatregel?

#### 13.1.1 Mogelijke voor- en nadelen samengevat

In figuur 12.1 is een samenvattend schema weergegeven met voor- en nadelen op de verschillende schaalniveaus van invoering van een meer natuurlijk peilbeheer.

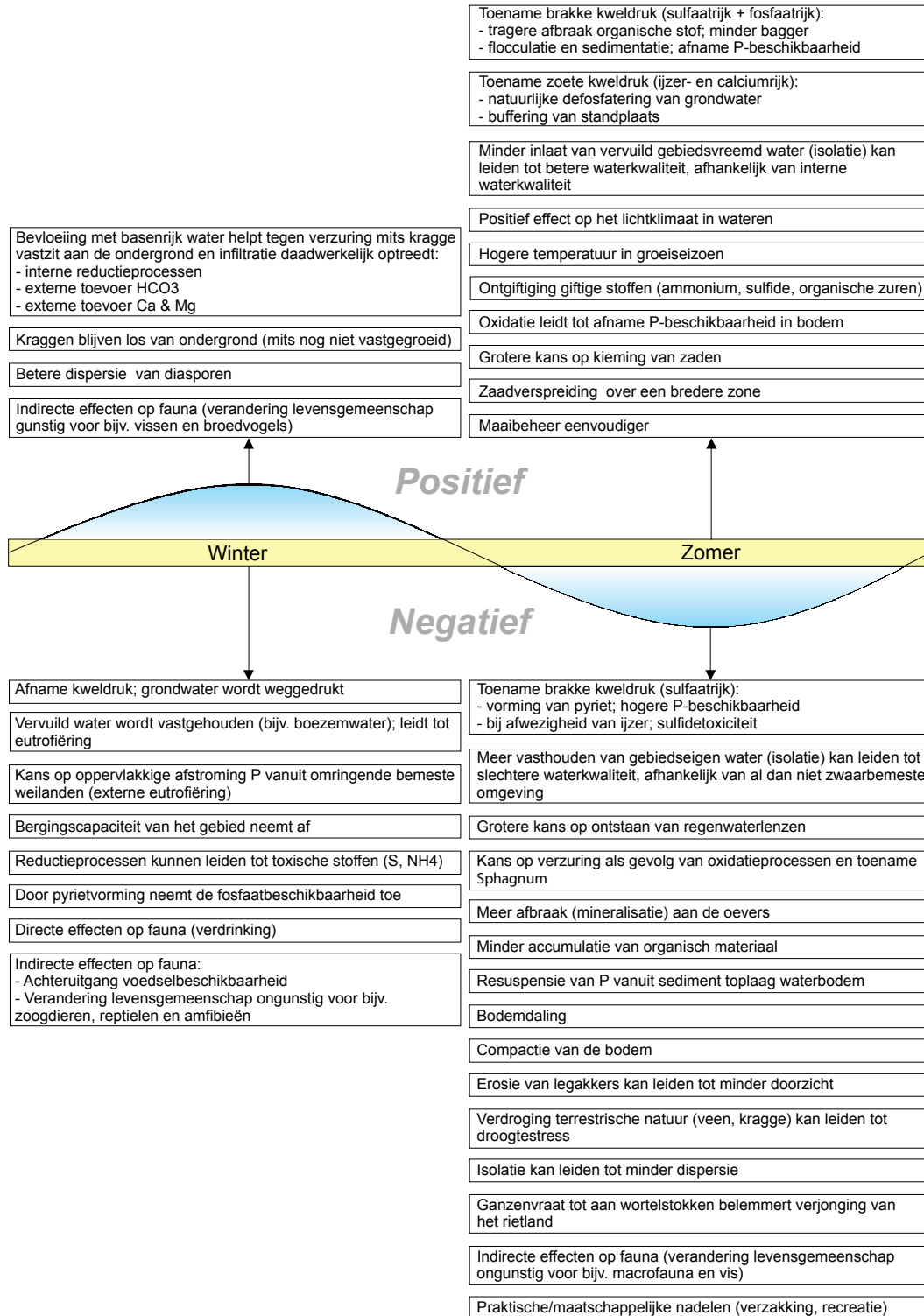
#### ***Mogelijke voordelen van een lager peil in het groeiseizoen***

Het toestaan van een lager peil in de zomer houdt voor veel gebieden in dat er minder water hoeft te worden ingelaten, wat bij een slechte waterkwaliteit buiten het gebied kan leiden tot verbetering. Dit geldt echter alleen als de waterkwaliteit binnen het gebied goed is.

Een lager peil kan leiden tot een toename van de kweldruk in een gebied, tenzij de toestroming van baserijk grondwater naar de wortelzone te sterk is afgenomen door ontwatering van omringende polders. In het geval van een toename van zoete, calcium- en/of ijzerrijke kwel kunnen de natuurlijke defosfateringsprocessen van het grondwater worden bevorderd. Daarbij komt dat de buffering van de standplaats wordt bevorderd. In het geval van toename van brakke kwel kan sprake zijn van trage afbraak van organische stof met als mogelijk gevolg minder bagger. Lopend OBN-onderzoek lijkt dit aan te tonen, maar laat ook zien dat er verschillen zijn tussen de effecten van constante en wisselende zoutconcentraties (Van Dijk, pers. communic.). Ook kan als gevolg van een hogere saliniteit in gebieden met brakke kwel flocculatie en sedimentatie optreden, waarbij de fosfaatbeschikbaarheid afneemt.

Verder kan het toestaan van een lager waterpeil een positief effect hebben op het lichtklimaat van de aquatische standplaatsen en leiden tot hogere temperaturen in het groeiseizoen. Bij eutroof water leidt deze opwarming echter tot snellere (blauw)algengroei. Het droogvallen van delen van de oever en bodem kan gunstig zijn voor de kieming en vestiging van een groot aantal soorten uit de laagveensuccessiereksen. Kieming kan bovendien plaatsvinden over een bredere oeverzone wanneer een lager peil wordt toegestaan in het groeiseizoen. Punt van aandacht is wel dat er voor vegetatie geen sprake moet zijn van droogtestress. Verder is een praktisch voordeel bij een lager peil dat het maaibeheer eenvoudiger wordt.

In droogvallende delen leidt oxidatie van ijzer tot extra vastlegging van fosfaat in de bodem, die ook na peilverhoging een tijd aanhoudt. Ook kan er sprake zijn van ontgiftiging van giftige stoffen (ammonium, sulfide, organische zuren).



Figuur 13.1; een algemeen samenvattend schema met mogelijke voor- en nadelen van een meer natuurlijk peilbeheer.

### Mogelijke nadelen van een lager peil in het groeiseizoen

Bij een slechte waterkwaliteit binnen het gebied, bijvoorbeeld door bemesting binnen het gebied, en een relatief goede kwaliteit van het aanvoerwater kan peilverlaging juist leiden tot een verslechtering. Er bestaat bovendien een grotere kans op verzuring als gevolg van het ontstaan van regenwaterlenzen, oxidatieprocessen en toename van *Sphagnum*-soorten. Er is verder



waarschijnlijk meer sprake van afbraak en mineralisatie aan de oevers. Afbraak van legakkers kan ook een behoorlijke achteruitgang van het doorzicht in de waterkolom als gevolg hebben. Overige nadelen zijn dat er als gevolg van inklinking bodemdaling kan plaatsvinden, waarbij de bodem compacter wordt. Verder wordt de kans op erosie van legakkers vergroot en dit heeft negatieve consequenties voor het doorzicht. Bovendien geldt voor de terrestrische habitattypen dat verdroging kan leiden tot droogtestress voor de vegetatie.

Een toename van de kweldruk door peilverlaging kan, behalve eventuele positieve effecten op de P-beschikbaarheid, ook negatieve consequenties hebben. In het geval van een toename van brakke kwel kan door vorming van pyriet de fosfaatbeschikbaarheid aanzienlijk toenemen. Bij afwezigheid van ijzer kan bovendien sulfidetoxiciteit ontstaan.

Isolatie van het gebied kan leiden tot gereduceerde dispersie van diasporen als gevolg van minder inlaat van gebiedsvreemd water. Verder moet worden genoemd dat bij peilverlaging ganzenvraat tot aan de wortelstokken mogelijk wordt en dat dit leidt tot belemmering van verjonging van het rietland. Verder bestaan er indirecte negatieve effecten op fauna, te denken aan verdroging van habitats voor macrofauna en vis. Ook bestaan er diverse praktische bezwaren, zoals verzakking van huizen, vermindering van mogelijkheden voor recreatie etc.

#### ***Mogelijke voordelen van een hoger peil in de winter***

Bevloeiing met basenrijk water kan helpen tegen verzuring. Voorwaarde hierbij is wel dat infiltratie in de kraggen daadwerkelijk optreedt, zoals bij kraggen die vastzitten aan de ondergrond, wat sterk afhankelijk is van bodemtype en hydrologie. Voor niet vastgegroeide kraggen is een fluctuerend peil mogelijk cruciaal om de kraggen los te houden van de ondergrond. Verder kan een hoog peil in de winter leiden tot betere dispersie van diasporen. Ook bestaan er voordelige indirecte effecten op fauna, zoals toename van foerageergelegenheid voor broedvogels, uitschakeling van concurrentie voor de Noordse woelmuis en paaigelegenheid voor vissen.

#### ***Mogelijke nadelen van een hoger peil in de winter***

Het toestaan van een hoger peil in de winter binnen het natuurgebied kan inhouden dat vervuild water vanuit omringende landbouwgronden sterker wordt vastgehouden en dit kan leiden tot eutrofiëring. De kans op oppervlakkige afstroming van fosfaat vanuit binnen het gebied liggende bemeste weilanden is ook groter.

Een hoger peil kan leiden tot een afname van de kweldruk in een gebied, waarbij grondwater wordt weggedrukt en eventuele positieve effecten van grondwatertoevoer, zoals aanvoer van Ca en Fe en vastlegging van P, teniet worden gedaan. Verder dient te worden genoemd dat de bergingscapaciteit van een gebied afneemt.

Hoewel de biologische processen in de winter veel langzamer verlopen wordt de fosfaatbeschikbaarheid mogelijk verhoogd door reductieprocessen als gevolg van een hoge waterstand. Deze reductieprocessen kunnen verder leiden tot vorming van toxische stoffen.

Hiernaast bestaan er directe effecten op fauna, zoals verdrinking, en indirecte effecten op fauna, zoals achteruitgang van de voedselbeschikbaarheid voor bijvoorbeeld zoogdieren, reptielen en amfibieën.

### **Voordelen van afwisseling van hoger en lager peil**

Biogeochemische processen als nitrificatie/denitrificatie en fosfaatsorptie kunnen dusdanig worden beïnvloed door waterpeilfluctuaties, dat peilwisselingen wellicht kunnen bijdragen aan reductie van stikstof- en fosfaatbelasting van het watersysteem. Zo kan er een netto vermindering van de nutriëntbeschikbaarheid worden bewerkstelligd. Door het langer vasthouden van gebiedseigen water in de winter zou ook een deel van het watertekort in het groeiseizoen opgeheven kunnen worden, mits dit van een goede kwaliteit is. Een afwisselend droog en natte moeraszone vormt mogelijk een sink voor nutriënten en ook op deze manier wordt de waterkwaliteit positief beïnvloed. Ook is belangrijk dat bij afwisseling van het waterpeil aantasting van de helofytenvegetatie door golfslag niet steeds op dezelfde zone plaatsvindt. Verder zal biotoopvariatie als gevolg van fluctuerende peilen leiden tot hogere biodiversiteit aan fauna.

### **13.1.2 Wanneer toepassen?**

Over het algemeen geldt dat een meer natuurlijk fluctuerend peilregime pas een positief effect kan hebben wanneer de waterkwaliteit goed genoeg is. Dit geldt voor alle Natura-2000 gebieden met kansen op goed ontwikkelde onderwatervegetatie, maar ook met kansen op verlandingsuccessie. Ook moet er rekening worden gehouden met het al dan niet optreden van hierboven genoemde positieve en negatieve effecten. De vraag die naar voren komt vanuit beheersperspectief is dan ook: wanneer is die kwaliteit goed genoeg en hoe kunnen mogelijk positieve en negatieve effecten tegen elkaar afgewogen worden voor een bepaald gebied?

In het rapport van het Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren; fase 2 (Lamers et al., 2010) worden een aantal grenswaarden gegeven met het oog op ontwikkeling van doelvegetaties:

*Tabel 13.1; Kritieke milieuwaarden voor chemische stuurvariabelen voor oppervlaktewater en waterbodem in laagvenen (aangepast naar Lamers et al., 2010)*

<b>Turbiditeit</b>	De turbiditeit van het oppervlaktewater: waarden onder 5-15 NTU (bodemzicht in de Nederlandse laagveenwateren) zijn niet alleen nodig voor een goed ontwikkelde onderwatervegetatie, maar ook gunstig voor actieve verlanding vanuit oevers en kraggen. De chlorofylconcentratie in het water mag maximaal 20 µg l <sup>-1</sup> bedragen.
<b>Alkaliniteit</b>	De alkaliniteit van het water; een waarde hoger dan 1-2 meq l <sup>-1</sup> kan ongunstig zijn voor licht-zuur veen doordat de veenafbraak gestimuleerd wordt. De alkaliniteit van het bodemvocht wordt echter sterk bepaald door de afbraaksnelheid. De pH bepaalt de beschikbaarheid van kooldioxide; bij waarden boven de 8,2 kunnen alleen nog bicarbonaatgebruikende waterplanten voorkomen.
<b>Sulfaatconcentratie</b>	De sulfaatconcentratie van het (inlaat)water of grondwater: waarden hoger dan 10-20 mg l <sup>-1</sup> kunnen bij makkelijk afbreekbaar veen en een ongunstige verhouding tussen ijzer en fosfaat tot sterke fosfaatmobilisatie in het bodemvocht leiden en daardoor ook tot hogere fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater.
<b>Fe/PO<sub>4</sub></b>	De Fe/PO <sub>4</sub> ratio in het anæroobe bodemvocht van onderwaterbodems: waarden lager dan 1 (mol/mol) veroorzaken een sterke mobilisatie van fosfaat naar de waterlaag, bij waarden hoger dan 10 is deze mobilisatie gering.
<b>(Fe-S)/P</b>	De ratio totaal (Fe-S)/P geeft een indicatie voor de mate van fosfaatmobilisatie. Een negatieve waarde duidt op hoge mobilisatie. Een totaal Fe:S < 1 duidt op een lage beschikbaarheid van

	ijzer voor fosfaatbinding, door binding aan zwavel.
<b>Ca/PO<sub>4</sub></b>	Ook de Ca/PO <sub>4</sub> ratio in het anërobie bodemvocht geeft een indicatie van de fosfaatbinding in de bodem; tussen 100 en 1000 neemt de fosfaatconcentratie in het bodemvocht sterk af.
<b>Olsen-P</b>	Olsen-P geeft in belangrijke mate de fosfaatbeschikbaarheid in oevers, legakkers en weiden aan. Bij een Olsen-P waarde boven 16 mg (500 µ mol) P per liter vers veen neemt de kans op verzuuring (sterk) toe.
<b>Ammonium- en sulfide-concentratie</b>	Waarden boven 1.6 mg ammonium per liter (100 µmol l <sup>-1</sup> ) in waterlaag en sulfidewaarden in de bodem boven 0,3 mg l <sup>-1</sup> (10 µmol l <sup>-1</sup> ) zijn al giftig voor gevoelige soorten. Ammonium wordt bij hoge pH (>9) omgezet in ammoniak, dat erg giftig is voor vegetatie en fauna. Sulfide is ook giftig voor fauna.

Ook is een eventueel positieve uitwerking van een meer natuurlijk peilbeheer sterk afhankelijk van de gewenste natuurwaarden voor wat betreft Natura 2000-habitattypen en fauna. Voor voedselarme natuur is een goede waterkwaliteit belangrijker dan voor voedselrijke, en voor hoogveenbossen zijn peilfluctuaties misschien een groter probleem dan voor trilvenen. Voor de prioritaire habitattypen in het laagveen- en zeekleigebied is een samenvattend overzicht opgesteld van de mogelijke gevolgen van peilfluctuaties (Tabel 13.2).

*Tabel 13.2; Beknopt overzicht van de mogelijke uitwerking van peilfluctuaties op de besproken prioritaire habitattypen.*

<b>H3140 (kranswierwateren)</b>	Waterkwaliteit is van groot belang en bepaalt keuzen met betrekking tot aanvoer/isolatie. Peilfluctuaties zijn niet per se bevorderlijk en in het geval van droogval en/of afbraak legakkers zelfs zeer negatief.
<b>H3150 (meren met krabbenscheer en fonteinkruiden)</b>	Waterkwaliteit is van groot belang en bepaalt keuzen met betrekking tot aanvoer/isolatie. Peilfluctuaties zijn niet per se bevorderlijk en in het geval van droogval en/of afbraak legakkers zelfs zeer negatief.
<b>H7210 (galigaanmoerassen)</b>	Peilfluctuaties zijn waarschijnlijk niet essentieel.
<b>H7140 (A&amp;B) (trilvenen &amp; veenmosrielanden)</b>	Inundatie met basenhoudend oppervlaktewater als gevolg van een (seizoensmatig) fluctuerend waterpeil is essentieel vanwege verhoging van de buffercapaciteit op locaties zonder aanvoer van gebufferd grondwater. Dit werkt alleen bij voldoende infiltratie. Ook kan externe eutrofiëring of mobilisatie van ijzergebonden P door reductieprocessen beperkt blijven.
<b>H6410 (blauwgraslanden)</b>	Inundatie met basenhoudend oppervlaktewater als gevolg van een (seizoensmatig) fluctuerend waterpeil is essentieel vanwege verhoging van de buffercapaciteit op locaties zonder aanvoer van gebufferd grondwater in de winter. In de zomer dient de waterstand laag genoeg te zijn, waardoor ammoniumophoping, externe eutrofiëring of mobilisatie van ijzergebonden P door reductieprocessen beperkt blijven.
<b>H4010B (moerasheiden)</b>	Verlaging grondwaterstand heeft negatief effect. Te hoog peil leidt tot verslechtering.
<b>H1330B (schorren en zilte graslanden, binnendijks)</b>	Peilfluctuaties zijn waarschijnlijk niet essentieel.
<b>H6430B (ruigten &amp; zomen)</b>	Tijdelijke inundaties met rivierwater of brak boezemwater zijn essentieel.
<b>H91D0 (hoogveenbossen)</b>	Peilfluctuaties zijn niet gewenst.

Voor de aquatische habitattypen als kranswierwateren, meren met krabbenscheer en fonteinkruiden en tot op zekere hoogte galigaanmoerassen zal vooral de waterkwaliteit van belang zijn, en peilfluctuaties op zichzelf minder relevant, tenzij het waterpeil zover zakt dat uitdroging optreedt. Dit zal in het laagveengebied echter zelden voorkomen. Voor de semi-

terrestrische habitattypen als trilvenen, blauwgraslanden, veenmosrietlanden, veenheiden en hoogveenbossen zijn, behalve waterkwaliteit, ook de peilschommelingen zelf van belang. Hier zijn vragen relevant als: leidt peilverhoging inderdaad tot indringen van basenrijk oppervlaktewater en welke positieve maar ook negatieve gevolgen kan dit hebben? Voor trilvenen kan verhoging van de buffercapaciteit gunstig zijn, maar hoogveenbossen worden wellicht negatief beïnvloed door inundatie met basenrijk water. Ook kan waterpeilverhoging leiden tot mobilisatie van P als er voldoende P en Fe of SO<sub>4</sub> in de bodem aanwezig zijn. Verder bestaat de vraag of het water überhaupt de kragge in kan dringen, en is het belangrijk of de kragge meebeweegt of vastzit aan de bodem. Voor peilverlaging is voor alle habitattypen relevant of dit leidt tot uitdroging van de vegetatie en tot verhoogde mineralisatie en beschikbaarheid van nutriënten.

Met het oog op de invloed van een meer natuurlijk fluctuerend peilbeheer op de kwelintensiteit is het belangrijk om onderscheid te maken tussen de effecten op aquatische standplaatsen en de effecten op terrestrische standplaatsen en de interactie daartussen. Lage openwaterpeilen zullen vooral meer kwel naar de watergangen veroorzaken en juist voor vermindering van de kwelinvloed op de terrestrische standplaatsen leiden.

De noodzaak van peilfluctuaties voor het op gang brengen van verlanding, de ontwikkeling van trilvenen vanuit bijvoorbeeld meren met krabbenscheer en fonteinkruiden, staat nog ter discussie. Rietgroei lijkt bevorderd te worden door tijdelijk lagere waterstanden, maar mogelijk vooral in kleibodems. Daarnaast vond meer dan 60 jaar geleden veel verlanding plaats bij een eveneens star peil. Natuurlijk was de kwaliteit van het water toen aanzienlijk beter (Lamers et al., 2010), maar voor verlanding waren schommelingen in de waterstand blijkbaar niet per se nodig. Wel is het voor verlanding in de aan de sloot grenzende terrestrische habitattypen zeer belangrijk om gebiedsspecifiek de dikte en de doorlatendheid van de aanliggende bodem/kragge in ogenschouw te nemen.

Voor de vraag over weging van positieve en negatieve effecten is een gebiedsgerichte benadering nodig. Belangrijk vanuit beheersperspectief is dan ook te weten welke factoren in een gebied een rol spelen en mee moeten worden genomen bij het maken van afwegingen voor specifieke gebieden. De keuze voor de invoer van een (seizoensmatig) fluctuerend peil dient te worden genomen op basis van de natuurdoelen, waterkwaliteit en de afvoer van het water per gebied afzonderlijk. Bij een goede interne waterkwaliteit valt er winst te behalen met een natuurlijk hoger winterpeil, omdat er dan minder water ingelaten hoeft te worden tijdens het groeiseizoen. In gebieden waarin bij waterpeilverlaging een interne verslechtering optreedt in verband met oxidatie, veenafbraak, mineralisatie en sulfaatophoping, is het beter om het peil niet te verlagen en wel water in te laten.

Voor specifieke gebieden is er nog heel weinig echt bekend over de effecten van een meer flexibel peilbeheer. In bemeste veenweidegebieden lijkt het bijvoorbeeld beter om een hoger peil en doorstroming te handhaven (Lamers et al., 2010), omdat de waterkwaliteit dan nog een beetje op kan knappen. In relatief ongestoorde veengebieden kan peilfluctuatie en een verminderde inlaat leiden tot verbetering van de waterkwaliteit, maar ook hier moet een verminderde inlaat van gebiedsvreemd water worden afgezet tegen de kwaliteit van het zogenaamde 'gebiedseigen' water, dat soms vanuit omringende landbouwpolders wordt aangevoerd.

Een natuurlijker peilverloop vermindert dus weliswaar de benodigde aanvoer van water, maar dit betekent niet per definitie ook een vermindering van nutriëntenbelasting. Dit is mede afhankelijk van de vervuiling in de omliggende landbouwgronden. Ook hierom moeten de mogelijke effecten per gebied apart worden bekeken. Hieruit moet duidelijk worden of een natuurlijker peilbeheer onder geëutrofiëerde omstandigheden negatieve gevolgen kan hebben. Dit hangt samen met de verhouding tussen externe en interne eutrofiëring, waarover in veel Natura-2000 gebieden nog vrijwel niets bekend is.

### ***Een meer natuurlijk peilbeheer in relatie tot de verschillende regionale landschapseenheden; een beknopt overzicht***

Een belangrijke gebiedsspecifieke factor die moet worden meegenomen vanuit beheersperspectief is de geohydrologische situatie waarin een gebied zich bevindt en de uitwerking die peilveranderingen kunnen hebben op kwel dan wel wegzijging. Zo zal door ontwatering van omringende polders de toestroming van baserijk grondwater naar de wortelzone in veel regio's sterk zijn afgenomen en zal verhoging van de kweldruk door peilverlaging in het gebied mogelijk niet lukken. Ook voor de specifieke hydrologische situatie is een gebiedsbenadering nodig, maar er zijn toch algemene verschillen tussen regio's die kunnen helpen bij de weging van voordelen en nadelen. Hieronder wordt een beknopt overzicht gegeven van de relevante factoren die spelen in de verschillende regionale landschapseenheden zoals in dit rapport zijn onderscheiden.

Een belangrijke vraag voor RLE 1, de regionale landschapseenheid met veenbodem en van oudsher vooral gevoed door baserijk oppervlaktewater zoals in Noord-West Overijssel, is wat de gevolgen zijn van het beter vasthouden van water in de winter. Het is maar de vraag of verminderde inlaat van het IJsselmeerwater in de zomer opweegt tegen het sterker vasthouden van vervuild landbouwwater uit de omliggende polders in de winter. Daarnaast is het belangrijk om te weten in hoeverre de aanvoer van en tijdelijke inundatie met baserijk oppervlaktewater kunnen leiden tot instandhouding en/of verbetering van de buffercapaciteit. Hierbij speelt ook laterale infiltratie in kraggen een belangrijke rol.

Voor RLE 2, de regionale landschapseenheid met veenbodem en van oudsher vooral gevoed door zoet kwelwater (plaatselijk nog aanwezig) vanuit een stuwwal zoals in het Oostelijke Vechtplassengebied, geldt dat het belangrijkste knelpunt niet is dat de kwel uit de Utrechtse heuvelrug door ingrepen daar is verminderd, maar dat het kwelwater niet meer in het Vechtplassen gebied opkwelt door de aanwezige diepe droogmakerijen en de slechte kwaliteit van het inlaatwater. De vermindering van baserijk kwelwater uit het Gooi wordt gecompenseerd door middel van aanvoer van nutriëntenrijk oppervlaktewater vanuit de Vecht. Dit leidt tot hoge mate van externe eutrofiëring. Een goede waterkwaliteit van het inlaatwater geniet aldus prioriteit, alvorens peilfluctuaties positieve uitwerking kunnen hebben.

In RLE 3, de regionale landschapseenheid met veenbodem met veraarde of kleiige bovengrond en invloed van fossiel holocene voedselrijk transgressiewater zoals de venen in Noord-Holland, kunnen peilfluctuaties effect hebben op het zoutgehalte. Mogelijk wordt in sommige gebieden bij een laag peil brakke kwel aangetrokken, terwijl het huidige inlaatwater zoet is. De mogelijke biogeochemische gevolgen kunnen negatief zijn, zoals hogere

sulfaat-, ammonium- en fosfaatconcentraties, maar ook positief zoals hogere chlorideconcentraties die de eutrofiëring juist remmen (Lamers et al., 2006).

Door verslechtering van de waterkwaliteit in de gebieden in RLE 4, de regionale landschapseenheid met een veenbodem met bovenlaag van klei, zoals de Friese venen, raakt realisatie van de natuurdoelen verder uit zicht. In de Deelen is besloten het dynamisch peilbeheer in dit gebied te staken, omdat bij lage waterstanden erosie van de legakkers en intensieve blauwwier-bloei werden bevorderd. Eerste prioriteit is het op orde brengen van de waterkwaliteit op een andere manier dan via flexibel peilbeheer.

In RLE 5, de regionale landschapseenheid met een veenbodem met bovenlaag van klei en invloed van (voormalig) brak voedingswater, zoals Botshol en de Nieuwkoopse Plassen, waar geen kwel optreedt, wordt het knelpunt gevormd door het inlaatwater. Het inlaatwater zou van slechte kwaliteit zijn als geen gebruik werd gemaakt van zuiveringsinstallaties. Als gevolg van sterke wegzijging kan de invloed van regenwater leiden tot zure condities in de bodem. Als gevolg van lagere waterstanden worden deze zure condities in de zomer mogelijk gestimuleerd. Ook leiden lage waterstanden wellicht tot sterke mineralisatie van legakkers. In de regio spelen verder praktische bezwaren tegen een meer natuurlijk peilbeheer een rol.

In RLE 6, de regionale landschapseenheid met een homogene klei- of zavelbodem zoals het gebied de Oostvaardersplassen, gaat het alleen om de Vogelrichtlijn. De uitgestrekte rietvelden zijn belangrijk voor trekvogels en broedvogels. Periodieke droogval is essentieel als het gaat om vestiging van helofyten en droogval van het moeras is in deze regio waarschijnlijk van groot belang.

## **13.2 Kennisleemten en voorgesteld nader onderzoek**

In de voorgaande paragrafen is uiteengezet wat de mogelijke voor- en nadelen van een meer natuurlijk peilbeheer zijn, en waar de grootste kennislacunes liggen. In het laatste deel van dit hoofdstuk wordt het plan van eisen en wensen (pvew) voor fase 2 opgesteld, waarin de kennislacunes en onderzoeksvragen op een rijtje worden gezet, en de mogelijke aanpak van nader onderzoek wordt geschetst. Dit plan van eisen en wensen is door het Deskundigenteam Laagveen- en Zeekleilandschap in een eerder stadium besproken en goedgekeurd, en vormt de basis voor het verdere onderzoek (fase 2). Omdat het als zodanig een zelfstandig document is, is het voorzien van een inleiding, waarin de problematiek rondom een meer natuurlijk peilbeheer in het kort geschetst wordt. Dit zorgt ervoor dat er enige herhaling en overlap is met de voorgaande paragrafen.

### **13.2.1 PVEW nader onderzoek (fase 2)**

#### ***LNV Beleidscontext***

Het laagveen- en zeekleilandschap vertegenwoordigt een belangrijk deel van de Nederlandse biodiversiteit. De natuurkwaliteit staat echter sterk onder druk. Een meer natuurlijk peilbeheer, met seizoensmatige peilfluctuaties in plaats van een star peilregime, wordt gezien als een mogelijke herstelmaatregel (Antheunisse et al., 2008). Veel waterschappen hebben (plannen voor) projecten waarin een meer natuurlijk peilbeheer wordt

toegepast, maar deze zijn vooral gericht op de KRW, waarbij hoofdzakelijk gelet wordt op ecologie (vooral structuur van de vegetatie) en kwaliteit van het oppervlaktewater. Voor de realisatie van Natura 2000-habitattypen zijn er echter nog veel onzekerheden, zowel over kansen als over bedreigingen. Het gaat hierbij om de habitattypen kranwierwateren (H3140), meren met krabbenscheer en fonteinkruiden (H3150), galigaanmoerassen (H7210), trilvenen (H7140A), veenmosrietlanden (H7140B), blauwgraslanden (H6410), vochtige heiden laagveengebied (moerasheiden, H4010) en hoogveenbossen (H91D0).

Het voorgestelde onderzoek is bedoeld om een meer natuurlijk peilbeheer te bezien vanuit de ontwerpeisen voor natuurdoelen, in aanvulling op KRW of waterberging. De onderzoeksvragen zijn in de rapportage van de eerste fase geformuleerd op basis van de huidige kennis voor optimaal beheer en de kennishiaten hierin. Voor de Natura 2000-gebieden gaat het dan niet alleen om de meer terrestrische vegetatie, maar ook om ontwikkeling van oever- en waterplanten. Er moet worden uitgezocht in hoeverre het huidige peilregime al dan niet voldoet en wat de mogelijke gevolgen zijn van een meer natuurlijk peilbeheer voor de ontwikkeling van de verschillende prioritaire habitattypen. Uit de literatuurstudie van fase 1 is gebleken dat deze typen vooral voorkomen in het laagveenlandschap (zie bijlage 1), en er worden derhalve geen onderzoeksgebieden in het zeekeilandschap voorgesteld. Daarnaast is het belangrijk te vermelden dat de Vogelrichtlijn buiten beschouwing wordt gelaten; voor mogelijke effecten van flexibel peilbeheer op fauna wordt in de loop van 2011 een apart pview opgesteld.

### ***Kennisbehoefte, lopende projecten en vervolg***

Fase 1 van het OBN-project 'Een meer natuurlijk peilbeheer: relaties tussen geohydrologie, ecosysteemdynamiek en natura 2000' bestond uit een literatuurstudie naar de mogelijke positieve en negatieve effecten van een meer natuurlijk peilbeheer op de verschillende Natura 2000-habitattypen in het laagveen- en zeekeigebied in Nederland. Het onderzoek was bedoeld om meer natuurlijk peilbeheer te bezien vanuit de ontwerpeisen voor natuurdoelen, in plaats van KRW of waterberging. In het literatuuronderzoek is op een rijtje gezet wat de mogelijke gevolgen zijn voor verschillende prioritaire Natura 2000-habitattypen, die tegengesteld kunnen reageren op verandering van het peilbeheer, zoals:

- kranwierwateren (H3140);
- meren met krabbenscheer en fonteinkruiden (H3150);
- trilvenen (H7140A );
- veenmosrietlanden (H7140B)
- blauwgraslanden (H6410);
- galigaanmoerassen (H7210);
- vochtige heiden laagveengebied (moerasheiden, H4010);
- veenbossen (H91D0)

In het kennisoverzicht van de eerste fase zijn mogelijke effecten van een meer natuurlijk peilbeheer verder bezien op standplaats-, gebieds- en landschapsniveau. Op standplaatsniveau is vooral gekeken naar welke biogeochemische processen zich voordoen bij wisselende waterstanden, maar ook naar ecologische processen als zaadverspreiding, kieming en vestiging. Voor het gebiedsniveau is vooral naar hydrologische factoren en processen gekeken. Voor het landschapsniveau is een indeling van zeven regionale landschapseenheden gehanteerd, die onderling verschillen in ruimtelijke opbouw, medegebruik, hydrologie en historische ontwikkeling. De zeven regio's zijn: (1) Noordwest-Overijssel, waar van oudsher vooral basenrijk

oppervlaktewater een rol speelt, en zogenaamd 'gebiedseigen' water vooral vanuit de omringende landbouwpolders afkomstig is, (2) het Vechtplassengebied, waar de kwel van grondwater sterk is verminderd is, en inlaat van gebiedsvreemd water een probleem vormt (3), De Noord-Hollandse venen met brakke kwel, waar door het hoge sulfaatgehalte wisselingen in de waterstand kunnen leiden tot zwavelreductie en mobilisatie van fosfaat, of tot verzuring bij de vorming van zwavelzuur (4) de Friese venen met een bovenlaag van klei, waar een flexibel peilbeheer mogelijk leidt tot versterkte afbraak van oevers en legakkers, (5) de Zuid-Hollandse venen, waar inlaat van (fossiel) brak en sulfaatrijk water vanuit diepe polders een rol speelt en (6) de Oostvaardersplassen en Leperlaarplassen waar rietgroei kan worden bevorderd door periodieke verlaging van de waterstand.

### ***Nieuwe kennislacunes***

Uit de literatuurstudie, maar vooral ook de resultaten van lopende projecten zoals de OBN-pilotstudie naar peilfluctuaties in de Wieden en Weerribben (Cusell et al., 2012) en het Flexibel Peil-project van Waternet in het Vechtplassengebied (KRW-Innovatieprogramma) is duidelijk geworden dat voor alle aquatische en semi-terrestrische habitattypen waterkwaliteit en vochthuishouding, maar ook bodemkwaliteit belangrijk is. Voor de inschatting van kansen en risico's van een meer natuurlijk peilbeheer een goed inzicht in de sturende factoren en processen in verschillende habitattypen en gebieden van cruciaal belang is. Veel van deze kennis over water- en bodemkwaliteit is in principe al aanwezig, met name voor wat betreft biogeochemische interacties tussen nutriëntbeschikbaarheid, redoxcondities, ijzer, calcium, sulfaat en bicarbonaat, onder andere in samenhang met de aanvoer van water (Lamers et al., 2006; Lamers et al., 2010; Geurts, 2010; Sarneel, 2010).

Uit fase 1 is echter ook duidelijk naar voren gekomen dat de werkelijkheid aanzienlijk gecompliceerder is. Zo laat de pilotstudie in de Wieden en Weerribben (Cusell et al., 2012) zien dat interne mobilisatie van P door reductie van Fe en S bij inundatie van trilvenen, veenmosrietlanden en veenheides nauwelijks lijkt op te treden. Komt dit door beperkte infiltratie, beperkte duur van overstroming of door de relatief goede waterkwaliteit? De huidige praktijkproef in dit onderzoek wordt uitgevoerd in een geïsoleerd en relatief schoon deel van het gebied. Voor het extrapoleren naar andere gebieden en voor het inschatten van het effect van een meer natuurlijk peilbeheer voor de semi-terrestrische habitattypen onder meer eutrofe condities is het belangrijk om te weten wat de gevolgen zijn van inundatie bij een slechtere waterkwaliteit en andere bodemcondities en hydrologische omstandigheden. Bovendien lag de focus bij dit onderzoek geheel bij trilvenen, en niet bij de overige genoemde habitattypen. Een vergelijking met de Flexipeil-praktijkproeven in het Vechtplassengebied, en/of aansluiting bij beheerexperimenten in de venen van Noord-Holland zou daarom zeer zinvol zijn. Hiermee kan de overdraagbaarheid van lokaal biogeochemisch, ecologisch en hydrologisch standplaatsonderzoek worden vergroot.

Daarnaast blijken weersinvloeden van groot belang te zijn voor het effect van peilverhoging of verlaging. Zo is het tot op heden in de Wieden niet gelukt om mogelijke effecten van verdroging in de praktijk te toetsen, omdat lagere waterstanden in de zomer werden gecompenseerd door hoge neerslag. Ook vindt oplading van de buffercapaciteit door inundatie met oppervlaktewater in de winter mogelijk niet plaats door beperkte infiltratie in de waterverzadigde veenbodem of verdunning met regenwater. Om de variabiliteit en regulatie van deze complexe processen en de effecten op langere termijn goed te



doorgronden is het zinvol om de lopende praktijkproeven met een natuurlijk fluctuerend waterpeil voor een langere periode te volgen.

### ***Lopende projecten en vervolg***

Het voorgestelde onderzoek is een vervolg op de literatuurstudie uit de eerste fase. Daarnaast wordt aangesloten bij de lopende proefprojecten in Noordwest-Overijssel (Cusell et al. 2012) en het Flexpeil-project van Waternet in het Vechtplassengebied, waar veel van de kenmerkende habitattypen voorkomen. In Noordwest-Overijssel loopt de praktijkproef door tot 2011, en wordt tot eind 2012 gewerkt aan kennislacunes in het kader van de Natura 2000-beheerplannen, zoals randvoorwaarden voor verlanding en het gedrag van fosfaat in de boezem. Fase 2 van het voorgestelde onderzoek kan worden benut om deze praktijkproef te continueren, waardoor meer inzicht wordt verkregen in de variabiliteit en langere termijn effecten in relatief schone gebieden. Ook zal deze proef worden uitgebreid naar aquatische vegetaties, zodat ook hypothesen rondom hoger doorzicht bij lage waterstanden, meer opwarming en eventuele droogval kunnen worden getoetst.

In het Flexpeil-project van Waternet ('Flexibel peil, van denken naar doen') dat zich onder meer uitstrekt over Botshol, Naardermeer, Loosdrechtse Plassen, Molenpolder, en Westbroekse Zodden, wordt een monitoring-programma ontworpen, waarvan het zwaartepunt ligt bij de aquatisch-ecologische doelen volgens de KRW-systematiek en niet of nauwelijks bij de Natura 2000-doelen. Hierbij wordt naast bodemkundig en hydrologisch onderzoek ook biogeochemisch onderzoek verricht over een gradiënt van de sloot naar de meer geïsoleerde delen van het veengebied, maar dit is niet gericht op de verschillende habitattypen. Fase 2 van het hier voorgestelde onderzoek moet worden benut om het effect van natuurlijke peilfluctuaties op de verschillende aquatische en semi-terrestrische habitattypen onder meer eutrofe condities te toetsen. Overigens is het belangrijk te vermelden dat onderzoek naar de effecten van peildynamiek op verspreiding, vestiging en kieming van zaden reeds wordt uitgevoerd binnen het Flexpeil-project. Om deze reden zal hier in fase 2 geen onderzoek naar worden gedaan.

### ***Kennisvragen***

Uit Fase 1 is gebleken dat een van de grootste vragen is: in hoeverre hangt het succes van natuurlijke peilfluctuaties af van de kwaliteit van het water en de bodem in de verschillende habitattypen? Dit geldt ook voor de eventuele negatieve effecten, zoals verdroging en extra mineralisatie op bestaande natuur. Vrijwel alle habitattypen zijn gevoelig voor eutrofiëring. Peilfluctuaties in een gebied met relatief schoon water lijken geen grote problemen op te leveren, maar ook niet te leiden tot de verwachte oplading met basen in trilvenen (Cusell et al. 2012). Hoe zit dit voor de andere habitattypen? En welke omstandigheden zijn hierbij bepalend?

Op gebiedsniveau speelt vooral de vraag: zal een meer natuurlijk peilbeheer daadwerkelijk leiden tot verbetering van de waterkwaliteit in het gebied? Dit hangt af van factoren als input van gebiedsvreemd water, vasthouden van 'gebiedseigen' maar vervuild polderwater, de weersinvloed en potentiële mineralisatie van veen bij lage waterstanden. Bovendien lijkt het gedrag van het veen (opzwellen, opdrijven) een zeer grote rol te spelen. Dit kan niet voor ieder gebied apart bepaald worden. Wel zal een aantal vuistregels geformuleerd moeten worden voor het beheer. Hiertoe zal er onderzoek uitgevoerd worden in een aantal representatieve contrasterende gebieden, zoals Noordwest-Overijssel, het Vechtplassengebied en venen in Noord-

Holland, die duidelijk verschillen voor wat betreft (geo)hydrologie en waterkwaliteit.

Op het niveau van de verschillende habitattypen spelen naast waterkwaliteit vooral peilfluctuaties een rol:

- Voor kranswierwateren, meren met krabbenscheer en fonteinkruiden en tot op zekere hoogte galigaanmoerassen zal vooral waterkwaliteit belangrijk zijn. Hogere waterstanden zullen niet zo snel een rol spelen. Verlaging van de waterstand daarentegen kan leiden tot beter doorzicht naar de bodem, of juist tot afbraak van legakkers en daarmee afname van doorzicht, en in uitzonderlijke situaties tot droogval.
- Voor basenrijke habitattypen als trilvenen en blauwgraslanden is het belangrijk te weten of hogere waterstanden inderdaad leiden tot verhoging van de buffercapaciteit als gevolg van inundatie, maar ook of eutrofiëring door de aanvoer van P- en N-rijk water of mobilisatie van ijzergebonden P door reductieprocessen beperkt blijft. Ook is het van belang te weten in welke mate lage waterstanden een probleem vormen voor de vochtvoorziening van de vegetatie en of dit kan leiden tot verdroging, oxidatie, verzuring en versterkte mineralisatie van C, N en P.
- In de vooral door regenwater gevoede veenmosrietlanden, veenheides en hoogveenbossen is het bij hoge waterstanden de vraag of inundatie met al dan niet eutroof basenrijk water schadelijk is, en bij lage waterstanden of het veen zover verdroogt dat de veenmossen problemen krijgen.

### ***Doel en vraagstelling van het onderzoek***

Het doel van het totale project (fase 1 en 2) is het in kaart brengen van zowel de kansen als de bedreigingen van een meer natuurlijk peilbeheer voor de natuurkwaliteit in het laagveenlandschap, met een duidelijke focus op de bedreigde habitattypen. Alleen zo is het mogelijk om de natuur in deze gebieden voldoende gewicht te geven bij het afwegen van verschillende beleids- en beheersopties.

De vraagstelling kan in het kort worden omschreven als: wat zijn de mogelijke positieve en negatieve effecten van een meer natuurlijk peilbeheer voor de verschillende aquatische en semi-terrestrische habitattypen op de verschillende ruimtelijke schalen (van landschap tot standplaats) en onder verschillende abiotische omstandigheden? Omdat niet alle laagveengebieden in het onderzoek kunnen worden betrokken, maar uitspraken wel een grotere geldigheid dienen te hebben, is ook de vraag welke informatie noodzakelijk is voor de gebiedsspecifieke beoordeling zeer relevant. Het gaat immers om het beantwoorden van de beheersvragen omtrent de effecten van peilbeheer op het herstel en de ontwikkeling van biodiversiteit. Uit de recente rapportage rond de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) bleek duidelijk dat er een groot gebrek is aan informatie met betrekking tot het beheer van veel van de bovengenoemde habitattypen, met name ook voor het gewenste peilbeheer.

In het voorgestelde onderzoek kunnen de volgende onderdelen worden onderscheiden:

1. Aanvullend onderzoek op gebiedsniveau: in fase 1 van het onderzoek zijn systeemanalyses uitgevoerd voor o.a. karakteristieke laagveengebieden in Noordwest-Overijssel, het Vechtplassengebied en de venen in Noord-Holland, waarbij een onderverdeling is gemaakt in verschillende regionale landschapseenheden (bijlage 2). In fase 2 zal

- binnen deze gebieden het verloop van waterkwaliteit en bodemkwaliteit vanaf inlaatpunten naar de karakteristieke habitattypen geanalyseerd worden.
2. Voortzetting van en vergelijking met de reeds lopende praktijkproeven, om meer inzicht te krijgen in variabiliteit en langere termijn effecten, de betekenis van waterkwaliteit en verschillende biogeochemische condities (o.a. invloed van ijzer, calcium, sulfaat). Het gaat hierbij bijvoorbeeld om Noordwest-Overijssel (relatief schone condities; vooral baserijk oppervlaktewater) en de Westbroekse Zodden (relatief eutroof, op een aantal locaties ook ijzerrijk grondwater). Naast semi-terrestrische typen als trilveen, veenmosrietland en veenheide zal het onderzoek worden uitgebreid met de genoemde aquatische habitattypen. Als ook in de venen van Noord-Holland (zeer eutroof; sulfaatrijk) een praktijkproef ingesteld kan worden, kan hierbij worden aangesloten. Het onderzoek richt zich op de lokale hydrologische situatie, de ontwikkeling van de vegetatie, de opbouw van de bodem, de beschikbaarheid en regulatie van nutriënten en mogelijke toxische stoffen, en de mogelijke mobilisatie en omzetting hiervan bij verschillende waterstanden en waterkwaliteit.
  3. Mesocosmos- en laboratoriumexperimenten met peilfluctuaties onder relatief schone en eutrofe condities, ter ondersteuning van de praktijkproef. De mate waarin het succes van meer natuurlijke peilfluctuaties afhangt van de kwaliteit van het water en de bodem vormt een grote kennislacune. Dit wordt ten dele onderzocht door middel van praktijkproeven in de verschillende gebieden, maar kleinschalige toetsing aan de hand van experimenten kan veel extra informatie opleveren en kan nodig zijn voor de vertaalslag naar andere gebieden.
  4. Opstelling van een handreiking voor de bepaling van een optimaal peilbeheer en optimale ruimtelijke inrichting per habitatype voor de verschillende geohydrologische situaties, mede gebaseerd op het literatuuroverzicht uit fase 1. Een kansanalyse van op welke locaties en bij welke peilregimes de verschillende habitattypen het meest kansrijk zijn maakt hiervan deel uit.
  5. Eindrapportage met vuistregels voor het peilbeheer met betrekking tot de genoemde habitattypen.

### ***Type onderzoek en gewenst resultaat***

Het onderzoek is een vervolg op de literatuurstudie die in de eerste fase is uitgevoerd en bestaat uit veldstudies en experimenteel onderzoek. De onderzoeksvragen komen uit het natuur- en waterbeheer en worden in directe samenspraak met de beheerders verder uitgewerkt. De resultaten van dit onderzoek dienen direct bruikbaar te zijn binnen het natuur- en waterbeheer. Dit betekent dat de uitkomsten duidelijke aanknopingspunten moeten leveren voor het optimaliseren van beleid, planvorming, inrichting en beheer rond meer natuurlijk peilbeheer in de betreffende gebieden.

### ***Welke kennis is al voorhanden?***

Deze tweede fase van het project sluit direct aan op het Preadvis Laagveen- en Zeekleilandschap (Antheunisse et al., 2008), en het daaruit voortvloeiende literatuuronderzoek van de eerste fase. In dit literatuuronderzoek is de meest recente achtergrondliteratuur uitgebreid inzichtelijk gemaakt. Verder wordt voortgebouwd op kennis uit het OBN-onderzoek in Laagveenwateren (Lamers et al., 2006; Lamers et al., 2010) en de recentelijk afgeronde pilot naar peilfluctuaties in de Wieden en Weerribben (Cusell et al.,

2012). Daarnaast zijn experimenten gestart (Flexpeil-project) met meer natuurlijk peilbeheer en wordt monitoring uitgevoerd in een aantal peilgebieden van Waternet.

### ***Mogelijke methoden in aanpak***

- Aan de hand van de in de eerste fase opgestelde systeemanalyses van de studiegebieden dienen aanvullende metingen gedaan te worden naar het verloop van de waterkwaliteit van de inlaatpunten naar de karakteristieke habitattypen. Daarnaast kan via P-fractioneringstechnieken aanvullend onderzoek worden verricht naar veranderingen van N en P-beschikbaarheid in de bodem in de loop van inlaat naar doelvegetaties. Hierbij dienen in ieder geval totaal, organisch en mineraal P, ijzergebonden, calciumgebonden P en plantbeschikbaar P en N, mineraal en organisch ijzer, en de hoeveelheid calcium en zwavel te worden gemeten.
- Belangrijk is ook de voortzetting en vergelijking van de lopende praktijkproeven met peilfluctuaties, om meer inzicht te krijgen in variabiliteit, langere termijn-effecten, de betekenis van waterkwaliteit en verschillende biogeochemische condities (invloed van ijzer, alkaliniteit, calcium en sulfaat). Het onderzoek kan bestaan uit een aantal componenten: (1) analyse van de lokale hydrologische situatie(s) aan de hand van watermonsters uit de wortelzone en het nabije oppervlaktewater, het gedrag van de veenbodem, en het verloop van EC en temperatuur in het veenprofiel, (2) beschrijving van de huidige vegetatie inclusief moslaag, effecten van verdroging of vernatting op deze vegetatie, en het meten van nutriëntenconcentraties en N:P ratio's in de vegetatie, en (3) bodemopbouw, effecten van verandering van de vochtconcentraties in de bodem, en analyse van verschillende P-fracties in de bodem (totaal, organisch, mineraal, ijzergebonden, calciumgebonden en plantbeschikbaar) en regulerende factoren als ijzer (mineraal en organisch), calcium en zwavel.
- Mesocosmos- en laboratoriumexperimenten met peilfluctuaties onder zowel relatief schone als eutrofe condities. Te denken valt aan een proef met bodems uit relatief schone, eutrofe en sulfaatrijke gebieden, die onderworpen worden aan experimenteel peilregime met verschillende waterstanden en waterkwaliteiten.

# 14 Management summary

## 14.1 Can fluctuating water levels serve as an ecological restoration measure?

Current water levels in Natura 2000 fen and sea clay landscapes in the Netherlands are constricted within very narrow limits. This is because water levels in the surrounding polders must be accurately regulated and important nature reserves are, in fact, part of the water bodies deployed for this regulation. In winter, rain water is drained and removed, and in summer, surface water is supplied to prevent drought stress to crops in these surrounding polders. This is only possible if large bodies of surface water are maintained to receive surpluses in winter and to provide supply water in summer.

Water authorities are reconsidering the applicable water level regimes in order to optimize the service provide to their specific 'service clients', on the one hand agriculture, inland navigation and safety of constructions, and on the other the generic ecological quality and associated management costs.

However, the regimes involved also determine the biogeochemical processes, plant succession and functioning of fen and sea clay landscapes. It is therefore imperative that requirements for the conservation and restoration of wetlands within the relevant bodies of water, or otherwise hydrologically linked to them, are taken into account. This is not only important as a 'defence' mechanism, but it also presents opportunities to improve the environment.

### 14.1.1 Summary of possible advantages and disadvantages

#### ***Possible advantages of lowering the water table in the growing season***

In many areas, allowing a lower water level in the summer means that less water needs to be conducted through the system, which may lead to improved water quality if the quality of the supply water is poorer. However, this only applies if the water quality within the nature reserve is good.

Lowering the water level may lead to increased groundwater inflow, unless the flow of base-rich groundwater to the root zone in an area is strongly decreased due to drainage of surrounding polders. An increase of fresh, calcium-rich and/or iron-rich seepage water will promote the natural phosphate removal processes, as well as buffering in aquatic habitats. Increased brackish seepage inflows will slow down the decomposition of organic matter which in turn will generate less mud. As a result of higher salinity, flocculation and sedimentation can occur in areas with brackish seepage, which can lead to a decrease in the availability of phosphates.

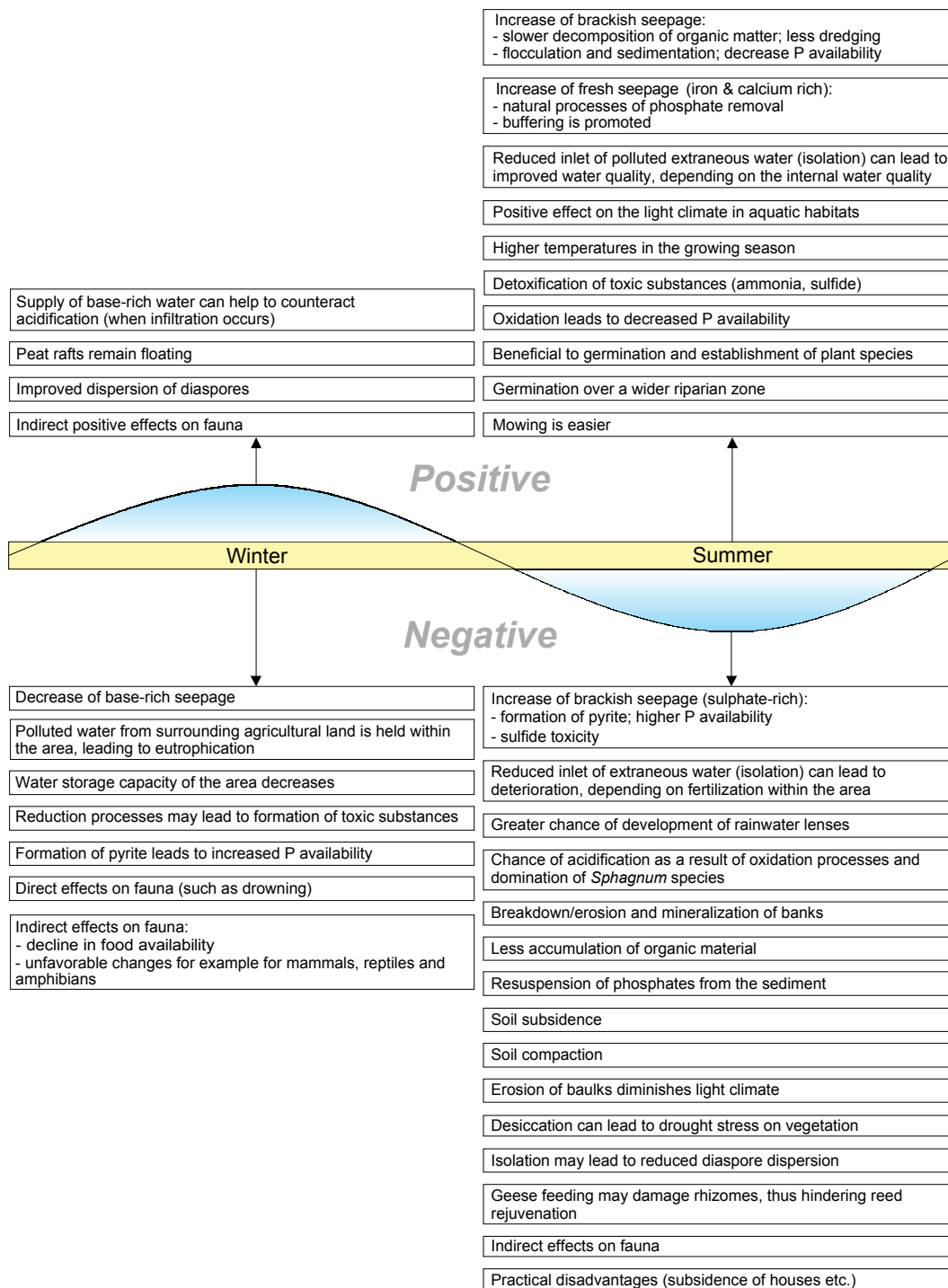


Figure 14.1: A summary of possible advantages and disadvantages of fluctuating water levels.

Furthermore, allowing a lower water level in the summer can have a positive effect on the light climate in aquatic habitats and can lead to higher temperatures in the growing season. However, in eutrophic water this increase in temperature will promote (blue) algae growth. Incidental and temporary dehydration of banks and streambeds may be beneficial for germination and establishment of many fen plant species. Additionally, if lower water levels are permitted in the summer, germination can occur over a

wider riparian zone. Consideration should also be given to preventing vegetation from suffering drought stress. A practical advantage is that mowing is easier when water levels are low.

In areas of temporary dryness, iron oxidation leads to increased binding of phosphates in the soil, which persists after the water level rises again. This process may also result in detoxification of toxic substances (ammonia, sulfide, organic acids).

### ***Possible disadvantages of lowering the water table in the growing season***

When the water quality within an area is poor, for example due to fertilization in the area and when the quality of the surface water that is supplied is relatively good, lowering the water level in the summer may lead to deterioration. There is also a greater chance of acidification as a result of development of so-called rainwater lenses, oxidation processes and domination of *Sphagnum*-species. Furthermore, there is also probably more widespread degradation and increased mineralization of the banks. As breakdown of the fields (the so-called 'legakkers') increases, the transparency of the water column decreases. Other disadvantages include possible compacting and subsidence. Further, the chance of erosion of the legakkers increases and this has negative consequences for the transparency. Moreover, in semi-aquatic and terrestrial habitat types, desiccation can lead to drought stress on vegetation.

Besides possible positive effects on P availability, an increase in seepage inflow due to lowering the water level may also have negative consequences. Where this concerns an increase of brackish seepage, formation of pyrite may lead to a considerable increase in phosphate availability. Also, sulfide toxicity may arise in the absence of iron compounds in the soil.

Isolation of an area may lead to reduced diaspore dispersion due to reduced inlet of water from outside the area. It should also be noted that where water levels are lower, geese feeding may damage the rhizomes, thus hindering reed rejuvenation. Furthermore, there are indirect negative effects on fauna, for example, desiccation of habitats for macro fauna and fish. There are also several practical drawbacks, including subsidence of houses and reduced recreational opportunities.

### ***Possible advantages of a higher water level in the winter***

Irrigation with base-rich surface water in the winter can help to counteract acidification. A precondition here is that this surface water actually penetrates the peat rafts which are attached to the subsoil, which is highly dependent on soil type and hydrology. A fluctuating water level is possibly crucial to keep floating peat rafts afloat. Furthermore, higher levels in the winter lead to improved dispersion of diaspores. There are also indirect beneficial effects on wildlife such as increased foraging opportunities for breeding birds, elimination of competition for the root vole and spawning places for fish.

### ***Possible disadvantages of a higher water level in the winter***

When a higher water level in the winter is allowed within a nature reserve, polluted water from surrounding agricultural land is more firmly retained and this can lead to eutrophication. The risk of surface runoff of phosphate from fertilized pastures inside the area is also greater.

A higher water level can lead to a decrease of seepage pressure in an area, whereby ground water is pushed away and any positive effects of ground water supply, such as supply of Ca and Fe, hence binding of P, are lost. It should also be noted that the water storage capacity of an area decreases when high water levels are allowed.

Although biogeochemical processes are much slower in winter, phosphate availability may be increased by reduction processes as a result of a high water levels. These reduction processes may lead to the further formation of toxic substances.

In addition, there are direct and indirect effects on wildlife, such as drowning and decline in food availability for mammals, reptiles and amphibians.

**Advantages of alternating higher and lower water levels**

Biogeochemical processes such as nitrification/denitrification and phosphate sorption can be influenced by water level fluctuations. Level changes may contribute to reduction of nitrogen and phosphorus concentrations in surface water and, as such, cause a net reduction in nutrient availability. Retaining water in the area for longer in the winter could also help eliminate water shortages in the growing season, provided that it is good quality water. An alternating dry and wet marsh zone may constitute a sink for nutrients, which will have a positive influence on the water quality. Another aspect is that due to fluctuating water levels the degradation of helophyte vegetation by wave action does not always occur in the same zone. Furthermore, habitat variation due to fluctuating water levels leads to greater biodiversity of fauna.

**14.1.2 When should we apply fluctuating water levels?**

In general, a more naturally fluctuating water level regime only has a positive effect if the water quality is good enough. This applies to all Natura 2000 areas with opportunities for well-developed underwater vegetation, but also for areas with opportunities for terrestrialization. The possible advantages and disadvantages mentioned in the previous section should also be taken into account. The question that emerges from a management perspective is: when is the water quality good enough and how can potential positive and negative effects be weighed against each other for a certain area?

The report of the Research into the restoration and management of low-lying peat lakes in the Netherlands; phase 2 (Lamers et al., 2010) specifies a number of constraints with a view to developing target vegetation.

Also, any positive effect of fluctuating water levels highly depends on the desired nature with regard to Natura 2000 habitat types and fauna. For oligotrophic nature, good water quality is more important than for nature areas rich in nutrients. For bogs and forests, water level fluctuations may be more detrimental than for quaking bogs.

*Table 14.1 : A summary of the possible effects of water level fluctuation on the priority habitat types.*

<b>H3140 (hard oligotrophic waters with benethic vegetation of Chara spp.</b>	Water quality is important and determines choices with respect to supply/isolation. Water level fluctuations are not necessarily beneficial and, in the case of desiccation and/or degradation of legakkers even very negative.
<b>H3150 (natural eutrophic lakes with</b>	Water quality is important and determines choices with respect to supply/isolation. Water level fluctuations are not necessarily beneficial and, in



<b>Magnopotamion or Hydrocharition type vegetation</b>	the case of desiccation and/or degradation of legakkers even very negative.
<b>H7210 (Calcareous fens with <i>Cladium mariscus</i> and species of the <i>Caricion davallianae</i>)</b>	Water level fluctuations are probably not essential.
<b>H7140 (A&amp;B) (transition mires and quacking bogs)</b>	Inundation with base-rich surface water as a result of a (seasonally) fluctuating water level is essential because of increase of the buffering capacity at sites without a supply of buffered groundwater. This is only beneficial when the supplied water is able to infiltrate. Also, external eutrophication or mobilization of iron bound P by reduction processes are limited.
<b>H6410 (<i>Molinia</i> meadows on calcareous, peaty or clayey-silt-laden soils (<i>Molinion caeruleae</i>))</b>	Inundation with base-rich surface water as a result of a (seasonally) fluctuating water level is essential because of increase of the buffering capacity at sites without a supply of buffered groundwater in the winter. In summer, the water level has to be low enough, so ammonium accumulation, external eutrophication or mobilization of iron bound P by reduction processes are limited.
<b>H4010B (northern Atlantic wet heaths with <i>Erica tetralix</i>)</b>	Lowering of the water level has negative effects. And high water levels lead to deterioration.
<b>H1330B (Atlantic salt meadows (<i>Glaucopuccinellietalia maritimae</i>))</b>	Water level fluctuations are probably not essential.
<b>H6430B (hydrophilous tall herb fringe communities of plains)</b>	Temporary inundations with river water or brackish outlet water are essential.
<b>H91D0 (bog woodland)</b>	Water level fluctuations are not desirable.

For the aquatic habitat types (labeled in the table as H3140, H3150 and to a certain extent, H7210) the water quality is particularly important and water level fluctuations are less relevant, unless the water level drops so far that dehydration occurs. However, this is rare in the low-lying peat areas.

For the semi-terrestrial habitat types and quacking bogs, grasslands, moors and peat forests, (labeled in the table as H7140, H6410, H4010B and H91D0) water level fluctuations may be important, in combination with good water quality. Relevant questions for further research are: do higher water levels indeed lead to infiltration of base-rich surface water and which positive and negative consequences will this have? For quacking bogs an increase of the buffering capacity as a result of a high water level can be favourable, but bog forests may be adversely affected by inundation with base-rich water. Also, high water levels may lead to mobilization of P if there is sufficient P and Fe or SO<sub>4</sub> present in the soil. There is also the question as to whether the water can penetrate the peat rafts at all, and also significant is whether the peat raft is floating or anchored to the substrate. On the other hand, reduction of the water level is relevant in all habitat types as this may lead dehydration of the vegetation and increased mineralization and nutrient availability.

When considering the influence of water level fluctuations on seepage intensity, it is important to distinguish between the effects on aquatic sites and effects on terrestrial sites and their interaction. Low water levels will especially lead to increased seepage towards ditches, and reduce the seepage influence on terrestrial habitats.

The necessity of water level fluctuations to initiate the terrestrialization process, the development of quacking bogs from lakes with Magnopotamion or Hydrocharition type vegetation is still not fully understood. Reed growth seems to be promoted by temporarily lower water levels, especially in clay soils. Terrestrialization processes took place more than 60 years ago, when there were no fluctuations of the water level. The water quality was considerably better at that time (Lamers et al, 2010), but for terrestrialization, water level fluctuations apparently were not absolutely necessary.

However, for the terrestrialization of land habitat types bordering ditches it is very important to consider the thickness and permeability of the adjacent bottom and/or peat raft of the specific area.

A regional approach is needed to weigh up the positive and negative effects. From a management perspective, it is therefore important to know which factors play a role in one area and should be taken into account when making assessments for specific areas. The decision to implement a (seasonally) fluctuating water level regime should be taken based on the specific nature conservation goals, water quality and discharge of water in each area separately. In areas with a good internal water quality, high water levels in the winter can be beneficial, because there is less water that needs to be let in during the growing season. In areas where lowering the water level will lead to internal deterioration associated with oxidation, peat decomposition, mineralization and sulphate accumulation, it is better not to lower the water level and to allow water to enter the area.

## Referenties

- Almendinger, J.E.; Leete, J.H., 1998. 'Peat characteristics and groundwater geochemistry of calcareous fens in the Minnesota River Basin, U.S.A.', *Biogeochemistry* 43: pp. 17-41.
- Alonso, A.; Camargo, J.A., 2009. 'Long-Term Effects of Ammonia on the Behavioral Activity of the Aquatic Snail *Potamopyrgus antipodarum* (Hydrobiidae, Mollusca)', *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 56: pp. 796-802.
- Antheunisse, A.M.; Verberk, W.C.E.P.; Verhoeven, J.T.A.; Schouwenaars, J.M.; Limpens, J., 2008. 'Preadvies Laagveen- en Zeekleilandschap – een systeemanalyse op landschapsniveau', Rapport DK nr. 2008/dk099-O, Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, 139 pp.
- Appelo, C.A.J.; Postma, D., 2006. 'Geochemistry, groundwater and pollution', A.A. Balkema Publishers, Leiden, 649 pp.
- Arcadis, 2004. 'Boezem in Noordwest Overijssel: trends in fosfaatbalansen en effectiviteit van maatregelen', in opdracht van Waterschap Reest & Wieden, 110 pp.
- Armstrong, J.; Afreen-Zobayed, F.; Armstrong, W., 1996. 'Phragmites die-back: sulphide- and acetic acid-induced bud and root death, lignifications, and blockages within aeration and vascular systems', *New Phytologist* 134: pp. 601-614.
- Armstrong, J.; Armstrong, W., 1999. 'Phragmites die-back: toxic effects of propionic, butyric and caproic acids in relation to pH', *New Phytologist* 142: pp. 201-217.
- Arts, G.H.P.; Smolders, A.J.P.; Belgers, J.D.M., 2007. 'Kwaliteit van oppervlaktewater, poriewater en sediment in relatie tot de vegetatiekundige samenstelling van 60 aquatische referentiepunten: een statistische analyse', Alterra/Onderzoekscentrum B-Ware, Alterra-rapport 1479, 78 pp.
- Aten, D., 2010. 'Drijven of drooghouden?', *Tijdschrift voor Waterstaatsgeschiedenis* 19: pp. 1-14.
- Baas, W.J., 2001. 'Bodemdaling in veengebieden', *Landschap* 18: pp. 109-117.
- Bakker, E.S., 2010. 'Effect van zomerbegrazing door Grauwe ganzen op de uitbreiding van waterriet', *De Levende Natuur* 111: pp. 57-59.
- Baldwin, D.S.; Rees, G.N.; Mitchell, A.M.; Watson, G.; Williams, J., 2006. 'The short-term effects of salinization on anaerobic nutrient cycling and microbial

- community structure in sediment from a freshwater wetland', *Wetlands* 26: pp. 455-464.
- Barendregt, A.; Wassen, M.J.; Van Leerdam, A., 1990. 'Nivellering van verlanding. Een gevolg van veranderingen in hydrologie en beheer', *Landschap '90* (1): pp. 17-32.
- Barendregt, A., 1993. 'Hydro-ecology of the Dutch polder landscape', proefschrift Universiteit van Utrecht, Drukkerij Elinkwijk b.v., Utrecht, 200 pp.
- Barendregt, A.; Wassen, M.J.; Schot, P.P., 1995. 'Hydrological systems beyond a nature reserve; the major problem in wetland conservation of Naardermeer (The Netherlands)', *Biological Conservation* 72(3): pp. 393-405.
- Bartholomeus, R.P., 2010. 'Moisture matters; Climate-proof and process-based relationships between water, oxygen and vegetation', PhD thesis Institute of Ecological Science, Vrije Universiteit Amsterdam.
- Belgers, J.D.M.; Arts, G.H.P., 2003. 'Moerasvogels op peil. Deelrapport 1: Peilen op Riet. Literatuurstudie naar de sturende processen en factoren voor de achteruitgang en herstel van jonge verlandingspopulaties van Riet (*Phragmites australis*) in laagveenmoerassen en rivierkleigebieden', Alterra-rapport 828.1, Alterra, Wageningen.
- Beltman, B.; Weijs, W.; Sarneel, J., 2008. 'Werken de KRW- en Natura 2000-criteria voor sloten en veenplassen?', *H<sub>2</sub>O* 8: pp. 25-27.
- Berendse, F.; Oomes, M.J.M.; Altena, H.J.; De Visser, W., 1994. 'A comparative study of nitrogen flows in two similar meadows affected by different groundwater levels', *Journal of Applied Ecology* 31: pp. 40-48.
- Berendsen, H.J.A., 2005. 'Landschappelijk Nederland, de fysisch geografische regio's', Van Gorcum, Assen, 249 pp.
- Bloemendaal F.H.J.L.; Roelofs J.G.M., 1988. 'Schadelijke stoffen. In: Waterplanten en waterkwaliteit' (eds. F.H.J.L. Bloemendaal & J.G.M. Roelofs), Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Utrecht.
- Blokland, K.A.; Kleijberg, R.J.M., 1997. 'De gewenste grondwatersituatie voor terrestrische natuurdoelen. Holoceen Nederland.' Stowa rapport 97-16, 210 pp.
- Blom, C.W.P.M.; Voeselek, L.A.C.J., 1996 'Flooding: the survival strategies of plants', *Trends in Ecology and Evolution* 11(7): pp. 290-295.
- Boers, P.C.M., 1986. 'Studying the phosphorus release from the Loosdrecht Lakes sediments, using a continuous flow system', *Hydrobiological Bulletin* 20(1/2): pp. 51-60.
- Borger, G.J., 1992. 'Draining-digging-dredging; the creation of a new landscape in the peat areas of the low countries', In: Verhoeven, J.T.A. (red.), 'Fens and bogs in the Netherlands: vegetation, history, nutrient dynamics and conservation', Kluwer, Dordrecht, 491 pp.
- Bos, I.J., 2010. 'Distal delta-plain succession – Architecture and lithofacies of organics and lake fills in the Holocene Rhine-Meuse delta, The Netherlands', proefschrift Universiteit van Utrecht, Utrecht.

- Boström, B.; Jansson, M.; Forsberg, C., 1982. 'Phosphorus release from lake sediments', *Archiv für Hydrobiologie* 18: pp. 5-59.
- Both, C.; Visser, M.E., 2001. 'Adjustment to climate change is constrained by arrival date in a long-distance migrant bird', *Nature* 411: pp. 296-298.
- Brock, T.C.M.; Boon, J.J.; Paffen, B.G.P., 1985. 'The effects of the season and of water chemistry on the decomposition of *nymphaea alba* L.; weight loss and pyrolysis mass spectrometry of the particulate matter', *Aquatic Botany* 22: pp. 197-229.
- Brouwer, E.; Soontjens, J.; Bobbink, R.; Roelofs, J.G.M., 1999. 'Sulphate and bicarbonate as key factors in sediment degradation and restoration of lake Banen', *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 9: pp. 121-132.
- Buro bakker, 2008. 'Haalbaarheid van de instandhoudingsdoelstellingen voor Natura 2000 gebied Nieuwkoopse Plassen & de Haeck', Buro Bakker adviesburo voor ecologie B.V. te Assen, in opdracht van de gemeente Nieuwkoop.
- Caraco, N.F.; Cole, J.J.; Likens, G.E., 1993. 'Sulphate control of phosphorus availability in lakes', *Hydrobiologia* 253: pp. 275-280.
- Cavanaugh, J.C.; Richardson, W.B.; Strauss, E.A.; Bartsch, L.A., 2006. 'Nitrogen dynamics in sediment during water level manipulation on the upper Mississippi river', *River Research and Applications* 22: pp. 651-666.
- Claassen, T.H.L., 2008. 'Peilbeheer van de Friese Boezem in relatie tot ecosysteem- en waterkwaliteit in historisch perspectief', *Wetterskip Fryslân, Leeuwarden*.
- Clevering, O.A., 1995. 'Germination and seedling emergence of *Scirpus lacustris* L. and *Scirpus maritimus* L. with special reference to the restoration of wetlands', *Aquatic Botany* 50: pp. 63-78.
- Clevering, O.A.; van der Toorn, J., 2000. 'Observations on the colonization of a young polder area in the Netherlands with special reference to the clonal expansion of *Phragmites australis*', *Folia Geobotanica* 35: pp. 375-387.
- Connel, W.E.; Patrick, W.H., 1969. 'Reduction of sulfate to sulfide in waterlogged soils', *Soil Science Society of America Proceedings* 33(5): pp. 711-715.
- Coops, H., 1996. 'Helophyte zonation: impact of water depth and wave exposure', PhD thesis, Nijmegen University.
- Coops, H.; Van den berg, M.S.; Broersen, K.W.; Gotjé, W.; Graveland, J.; Haas, H.A.; Noordhuis, R.; Portielje, R.; Soesbergen, M.; Vermaat, J.E.; Van Vliet, K.; Wessels, Y.; Zwarts, L., 2002. 'Ecologische effecten van peilbeheer: een kennisoverzicht', Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA), RIZA rapport 2002.040.
- Coops, H.; Hopper, S.H., 2002. 'Water-level management as a tool for the restoration of shallow lakes in the Netherlands', *Lake and Reservoir Management* 18(4): pp. 293-298.

- Cusell, C.; Kooijman, A.M.; Lamers, L.P.M.; Van Wirdum, G., 2012. 'Pilot-studie naar de voor- en nadelen van peilfluctuatie voor het behoud en herstel van trilvenen', Bosschap; bedrijfschap voor bos en natuur, Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Directie Kennis en Innovatie, 131 pp.
- De Smet, L.A.H., 1954. 'Enkele opmerkingen over kalkarme zeeakleiazettingen', Boor en Spade 7: 169-173.
- De Vries, F., 2008. 'Nationaal Hydrologisch Instrumentarium – NHI, Modelrapportage, Deelrapport Bodem, 20 pp.
- Deller, A.S.; Baldassarre, G.A., 1998. 'Effects of flooding on the forest community in a green tree reservoir 18 years after flood cessation', Wetlands 18(1): pp. 90-99.
- Den Held, A.J.; Schmitz, M.; van Wirdum, G., 1992. 'Types of terrestrializing fens in the Netherlands', In: J.T.A.Verhoeven (red.), Fens and bogs in the Netherlands. Kluwer, Dordrecht.
- Didderen, K., 2009. 'Dispersie van macrofauna door duikers; resultaten van een veldmeting', Alterra-rapport 1834, Alterra, Wageningen.
- Dunfield, P., Knowles, R., Dumont, R., Moore, T.R., 1993. 'Methane production and consumption in temperate and subarctic peat soils: response to temperature and pH'. Soil Biology and Biochemistry 25: pp. 321-326.
- Eisma, D., 1968 'Composition, origin and distribution of Dutch coastal sands between Hoek van Holland and the island of Vlieland', Netherland Journal of Sea Research 4(2): pp. 123-267.
- Engelen, G.N.; Gieske, J.M.J.; Los, S.O., 1989. 'Grondwaterstromingsstelsels in Nederland', Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, 's-Gravenhage, 130 pp.
- Etherington, J.R., 1982. 'Environment and Plant Ecology', John Wiley & Sons, New York, 2<sup>nd</sup> edition, 487 pp.
- Fogli, S.; Marchesini, R.; Gerdol, R., 2002. 'Reed (Phragmites australis) decline in a brackish wetland in Italy', Marine Environmental Research 53: pp. 465-479.
- Forsgren, G.; Jansson, M.; Nilsson, P., 1996 'Aggregation and sedimentation of iron, phosphorus and organic carbon in experimental mixtures of freshwater and estuarine water', Estuarine Coastal and Shelf Science 43: pp. 259-268.
- Fraser, C.J.D.; Roulet, N.T.; Lafleur, M., 2001. 'Groundwater flow patterns in a large peatland', Journal of Hydrology 246: pp. 142-154.
- Fürtig, K.; Rügsegger, A.; Brunold, C.; Brandle, R., 1996. 'Sulphide utilization and injuries in hypoxic roots and rhizomes of common reed (Phragmites australis)', Folia Geobot. Phytotax. 31: pp. 143-151.
- Gedeputeerde Staten van Zuid-Holland, 2008. 'Beleidskader Peilbeheer Zuid-Holland', Den Haag, 23 pp.

- Geurts, J.J.M.; Van der Welle, M.E.W.; Lamers, L.P.M.; Roelofs, J.G.M., 2004. 'Helder water in Waterland door tijdelijke peilverlaging', Rapport in opdracht van Vereniging Agrarisch Natuurbeheer Waterland, Afdeling Aquatische Ecologie & Milieubiologie, Radboud Universiteit Nijmegen.
- Geurts, J.J.M.; Smolders, A.J.P.; Verhoeven, J.T.A.; Roelofs, J.G.M.; Lamers, L.P.M., 2008. 'Sediment Fe:PO<sub>4</sub> ratio as a diagnostic and prognostic tool for the restoration of macrophyte biodiversity in fen waters', *Freshwater Biology* 53: 2101-2116.
- Glaser, P.H.; Janssens, J.A.; Siegel, D.I., 1990. 'The response of vegetation to chemical and hydrological gradients in the lost river peatland, northern Minnesota', *Journal of Ecology* 78: pp. 1021-1048.
- Golterman, H.L., 1998. 'The distribution of phosphate over iron-bound and calcium-bound phosphate in stratified sediments', *Hydrobiologia* 364: pp. 75-81.
- Gotjé, W.; Van Dam, H.; Letswaart, T.; Knobben, R.A.E.; Franken, R.J.M.; Peeters, E.T.H.M.; Gardeniers, J.J.P., 2002. 'Ecologische beoordeling van brakke binnenwateren', STOWA-rapport nr. 2002-01, 103 pp.
- Graveland, J.; Coops, H., 1997. 'Achteruitgang van rietgordels in Nederland', *Landschap* 15: pp. 67-86.
- Graveland, J.; Hoesper, S.H., 1999. 'Een dynamisch waterpeil voor rietkragen in meren en moerassen', *De Levende Natuur* 100: pp. 71-74.
- Gries, C.; Kappen, L.; Löscher, R., 1990. 'Mechanism of flood tolerance in reed, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steudel', *New Phytology* 114: pp. 589-593.
- Griffioen, J.; Broers, H.P., 1999. 'Bemesting van het grondwater; het lot van nutriënten in de ondergrond', *Landschap* 16(3): pp. 169-178.
- Griffioen, J.; Notenboom, J.; Schraa, G.; Stuurman, R.J.; Runhaar, H.; Van Wirdum, G., 2003. 'Systeemgericht grondwaterbeheer – de natuurwetenschappelijke werking van grondwatersystemen in relatie tot ecosystemen en grondwaterbeheer', Wolters-Noordhoff, Groningen/Houten, 189 pp.
- Grontmij Nederland bv, 2006. 'Bouwstenen voor strategieën voor Polder Groot Mijdrecht Noord', Grontmij Nederland bv, Houten, 28 pp.
- Grootjans, A.P., 1985. 'Changes of groundwater regime in wet meadows', PhD Thesis, Universiteit Groningen.
- Grootjans, A.P.; Schipper, H.J.; Van der Windt, H.J., 1986. 'Influence of drainage on N-mineralization and vegetation response in wet meadows. II. *Cirsio-molinietum* stands', *Acta oecologia* 6(4).
- Grootjans, A.P.; Verbeek, S.K.; Adema, E.B.; Boerwinkel, A.C.J.; Vrieling, P.; Baaijens, G.J.; Bakker, M.; Beltman, B.; Zuidhoff, A.C.; Kemmers, R.H., 2001. 'Bevloeiing als beheersmaatregel: mogelijkheden voor herstel van verzuurde en verdroogde graslanden: eindrapportage fase 2', Ministerie van LNV, Directie Kennis, Rapport EC-LNV nr. 2001?052 OBN.

- Grootjans, A.P.; Adema, E.B.; Everts, F.H., 2004. 'Effectgerichte maatregelen tegen verdroging, verzuring en stikstofdepositie in boezemlanden en beekdalen (Friesland en Drenthe)', Rapport EC-LNV nr. 2004/284-O, Expertisecentrum LNV, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Ede, 54 pp.
- Gulati, R.D.; Van Donk, E., 2002. 'Lakes in the Netherlands, their origin, eutrophication and restoration: state-of-the-art review', *Hydrobiologia* 478: pp. 73-106.
- Haans, J.C.F.M.; Hamming, C., 1962. 'Over de bodemgesteldheid van het veengebied in het land van Vollenhove', Intern rapport van de Stichting voor Bodemkartering, Wageningen, 583 pp.
- Hahn, S.; Bauer, S.; Klaassen, M., 2007. 'Estimating the contribution of carnivorous waterbirds to nutrient loading in freshwater habitats', *Freshwater Biology* 52: pp. 2421-2433.
- Hedin, L.O.; Granat, L.; Likens, G.E.; Buishand, T.A.; Galloway, J.N.; Butler, T.J.; Rodhe, H., 1994. 'Steep declines in atmospheric base cations in regions of Europe and North America', *Nature* 367: pp. 351-354.
- Hultgren, A.B.C., 1989. 'Growth in length of *Carex rostrata* stokes shoots in relation to water level', *Aquatic Botany* 34: pp. 353-365.
- Ingram, H.A.P., 1983. 'Hydrology', – In: Gore, A.J.P. (ed.), *Mires: Swamp, bog, fen and moor, general studies, Ecosystems of the World 4A*, Elsevier, Amsterdam.
- IWACO Adviesbureau voor Water en Milieu, 1994. 'Ecohydrologisch onderzoek de Ronde Venen', samenvattend hoofdrapport + basisdocumenten, IWACO, Rotterdam.
- Jaarsma N.G.; Klinge, M.; Lamers, L., 2008. 'Van helder naar troebel... en weer terug – Een ecologische systeemanalyse en diagnose van ondiepe meren en plassen voor de Kaderrichtlijn Water', STOWA, Utrecht.
- Jansen, P.C.; Runhaar, J.; Witte, J.P.M.; van Dam, J.C., 2000. 'Vochtindicatie van grasvegetaties in relatie tot de vochttoestand van de bodem', Alterra-rapport 57, Alterra, Wageningen.
- Jansen, P.C.; Runhaar, J., 2001. 'Droogtestress als functie van grondwaterstand en bodemtype', Alterra-rapport 367, Alterra, Wageningen.
- Jansen, P.C.; Runhaar, J.; Hoogland, T.; de Vries, F., 2002. 'Optimalisatie van de waterhuishouding voor natuur in het gebied Lochem-Vorden', Alterra-rapport 479, Alterra, Wageningen.
- Jansen, P.C.; Runhaar, J., 2002. 'Droogtestress als ecologische maat voor de vochttoestand', *Stromingen* 8, nr.3: pp. 31-39.
- Jansen, P.C.; Sival, F.P.; Kwakernaak, C.; Clevering, O.; Westein, E., 2008. 'Ruimtelijke maatregelen voor wetlands in het veenweidegebied; Bufferzone voor het Natura 2000 gebied De Haeck', Alterra-rapport 1599, Alterra, Wageningen.



- Jansen, P.C.; Querner, E.P.; van den Akker, J.J.H., 2009. 'Onderwaterdrains in het veenweidegebied en de gevolgen voor de inlaatbehoefte, de afvoer van oppervlaktewater en voor de maaiveldaling', Alterra-rapport 1872, Alterra, Wageningen.
- Jensen, H.S.; Kristensen, P.; Jeppesen, E.; Skytthe, A., 1992. 'Iron:phosphorus ratio in surface sediment as an indicator of phosphate release from aerobic sediments in shallow lakes', *Hydrobiologia* 235/236: pp. 731-743.
- Kadlec, J.A., 1962. 'Effects of a drawdown on a waterfowl impoundment', *Ecology* 34(2): pp. 267-281.
- Kashem, M.A.; Singh, B.R., 'Metal availability in contaminated soils: I. Effects of flooding and organic matter on changes in Eh, pH and solubility of Cd, Ni and Zn', *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61: pp. 247-255.
- Keddy, P.; Fraser, L.H., 2000. 'Four general principles for the management and conservation of wetlands in large lakes: The role of water levels, nutrients, competitive hierarchies and centrifugal organization', *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 5: pp. 177-185.
- Kemmers, R.H.; Van Delft, S.P.J., 2004. 'Evaluatie van Basen- en voedingstoestand na 10 jaar herstelmaatregelen in enkele OBN-referentieprojecten van natte schraallanden', Rapport EC-LNV nr. 2004/278-O, Expertisecentrum LNV, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Ede, 74 pp.
- Kemmers, R.H.; Koopmans, G.F., 2009. 'Het effect van toepassing van onderwaterdrains op interne eutrofiering en veenafbraak; literatuuronderzoek', Wageningen, Alterra, Alterra-Rapport 1980, 76 pp.
- Kiwa Water Research (KWR) & EGG, 2007. 'Knelpunten- en kansanalyse Natura 2000-gebieden', Kiwa Water Research, Nieuwegein/EGG, Groningen.
- Knotters, M.; Janssen, P.C. 'Honderd jaar verdroging in kaart', *Stromingen: vakblad voor hydrologen* 11: pp. 19-32.
- Koerselman, W.; Bakker, S.A.; Blom, M., 1990. 'Nitrogen, phosphorus and potassium budgets for two small fens surrounded by heavily fertilized pastures', *Journal of Ecology* 78: pp. 428-442.
- Koerselman, W.; Verhoeven, J.T.A., 1992. 'Nutrient dynamics in mires of various trophic status: nutrient inputs and outputs and the internal nutrient cycle', - In: Verhoeven, J. T. A. (ed.), *Fens and bogs in the Netherlands: vegetation, history, nutrient dynamics and conservation*. Kluwer, pp. 323-360.
- Koerselman, W.; Van Kerkhoven, M.B.; Verhoeven, J.T.A., 1993. 'Release of inorganic N, P and K in peat soil; effect of temperature, water chemistry and water level', *Biogeochemistry* 20: pp. 63-81.
- Koerselman, W.; Meuleman, A.F.M., 1996. 'The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation', *Journal of Applied Ecology* 33: pp. 1441-1450.

- Komor, S.C., 1994. 'Geochemistry and hydrology of calcareous fen within the Savage Fen wetlands complex, Minnesota, USA', *Geochimica et Cosmochimica Acta* 58: pp. 3353-3367.
- Kooijman, A.M., 1992. 'The decrease of rich fen bryophytes in the Netherlands', *Biological Conservation* 59: pp. 139-143.
- Kooijman, A.M., 1993. 'Changes in the bryophyte layer of rich fens as controlled by acidification and eutrophication. Poor rich fen mosses', *PdH-thesis, Utrecht University, Utrecht*, 159 pp.
- Kooijman, A.M.; Bakker, C., 1994. 'The acidification capacity of wetland bryophytes as influenced by simulated clean and polluted rain', *Aquatic Botany* 48: pp. 133-144.
- Kooijman, A.M.; Dopheide, J.C.R.; Sevink, J.; Takken, I.; Verstraten, J.M., 1998. 'Nutrient limitations and their implications on the effects of atmospheric deposition in coastal dunes; lime-poor and lime-rich sites in the Netherlands', *Journal of Ecology* 86: pp. 511-526.
- Kooijman, A.M.; Paulissen, M., 2006. 'Higher acidification rates in fens with phosphorus enrichment', *Applied Vegetation Science* 9: pp. 205-212.
- Kooijman, G.; Vulink, T., 2008. 'De Oostvaardersplassen natuurlijk! – evaluatie van ontwikkeling & beheer van het ecosysteem', Deel A: samenvatting, Staatsbosbeheer.
- Kooijman, A.M.; Hedenäs, L., 2009. 'Changes in nutrient availability from calcareous to acid wetland habitats with closely related brown moss species: increase instead of decrease in N and P', *Plant Soil* 324: pp. 267-278.
- Kooijman, A.M.; Lubbers, I.; Van Til, M., 2009. 'Iron-rich dune grasslands: Relations between soil organic matter and sorption of Fe and P', *Environmental Pollution* 157: pp. 3158-3165.
- Koster, E.A., 1978. 'De stuifzanden van de Veluwe, een fysisch geografische studie', *Publicatie van het Fysisch-Geografisch en Bodemkundig Laboratorium van de Universiteit van Amsterdam* 27, 198 pp.
- Kozerski, H.P.; Behrendt, H.; Köhler, J., 1999. 'The N and P budget of the shallow, flushed lake Müggelsee: retention, external and internal load', *Hydrobiologia* 408/409: pp. 159-166.
- Kranenborg, J.; Coops, H.; Platteeuw, M., 2006. 'Ecologische effecten van seizoensgebonden peilbeheer in het IJsselmeergebied; kennis, lacunes en prioritering van uit te voeren onderzoek', RIZA werkdokument 2002.055x, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA), Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Lelystad, 34 pp.
- Kristensen, P.; Søndergaard, M.; Jeppesen, E., 1992. 'Resuspension in a shallow eutrophic lake', *Hydrobiologia* 228: pp. 101-109.
- La Haye, M.; Drees, J.M., 2004. 'Beschermingsplan noordse woelmuis', Rapport EC-LNV nr.270, Ministerie van LNV, 74 pp.

- Lahr, J., 2004. 'Ecologische risico's van diergeneesmiddelengebruik in de landbouw en het natuurbeheer; een oriëntatie op het terrestrische milieu', Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 976, 60 pp.
- Lamers, L.P.M.; Smolders, A.J.P.; Brouwer, E.; Roelofs, J.G.M., 1996. 'Sulfaatverrijkt water als inlaatwater? – De rol van de waterkwaliteit bij maatregelen tegen verdroging', *Landschap* 13(3): pp. 169-180.
- Lamers, L.P.M.; De Graaf, M.C.C.; Bobbink, R.; Roelofs, J.G.M., 1997. 'Verzuring en eutrofiëring van blauwgraslanden', *De Levende Natuur* 98: pp. 246-252.
- Lamers, L.P.M.; Tomassen, H.B.M.; Roelofs, J.G.M., 1998a. 'Sulfate-induced eutrophication and phytotoxicity in freshwater wetlands', *Environmental Science & Technology* 32: pp. 199-205.
- Lamers, L.P.M.; Roozendaal, S.M.E.; Roelofs, J.G.M., 1998b. 'Acidification of freshwater wetlands: combined effects of non-airborne sulphur pollution and desiccation', *Water, Air, and Soil Pollution* 105: pp. 95-106.
- Lamers, L.P.M.; Farhoush, C.; Van Groenendael, J.M.; Roelofs, J.G.M., 1999. 'Calcareous groundwater raises bogs; the concept of ombrotrophy revisited', *Journal of Ecology* 87: pp. 639-648.
- Lamers, L.P.M., 2001. 'Tackling biogeochemical questions in peatlands', Proefschrift Katholieke Universiteit Nijmegen, ISBN 90-9014-850-7, 161 pp.
- Lamers, L.P.M.; Klinge, M.; Verhoeven, J.T.A., 2001. 'OBN Pre-advies Laagveenwateren', Expertisecentrum LNV, Wageningen, 132 pp.
- Lamers, L.P.M.; Smolders, A.J.P.; Roelofs, J.G.M., 2002. 'The restoration of fens in the Netherlands', *Hydrobiologia* 478: pp. 107-130.
- Lamers, L.P.M.; Van den Munckhof, P.J.J.; Klinge, M.; Verhoeven, J.T.A., 2004. 'Verdroomd, vermest, verstarde en versnipperd; hoe moet dat nu met onze laagveenwateren? – Een onderzoeksplan voor systeemherstel', In: *Duurzaam Natuurherstel voor behoud van biodiversiteit; 15 jaar herstelmaatregelen in het kader van het Overlevingsplan Bos en Natuur*, Expertisecentrum LNV, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, ISBN 90-75789-14-9, 240 pp.
- Lamers, L.P.M.; Geurts, J.; Bontes, B.; Sarneel, J.; Pijnappel, H.; Boonstra, H.; Schouwenaars, J.; Klinge, M.; Verhoeven, J.; Ibelings, B.; van Donk, E.; Verberk, W.; Kuijper, B.; Esselink, H.; Roelofs, J., 2006. 'Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren', eindrapportage 2003-2006 (Fase 1)', Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, 286 pp.
- Lamers, L.P.M.; Sarneel, J.; Geurts, J.; Dionisio Pires, M.; Remke, E.; van Kleef, H.; Christianen, M.; Bakker, L.; Mulderij, G.; Schouwenaars, J.; Klinge, M.; Jaarsma, N.; van der Wielen, S.; Verhoeven, J.; Verberk, W.; Esselink, H.; Ibelings, B.; van Donk, E.; Roelofs, J., 2010. 'Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren, eindrapportage 2006-2009 (Fase 2)', Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, 192 pp.

- Lenssen, J.P.M.; Menting, F.B.J.; Van der Putten, W.H., 1999. 'Soortenrijk rietmoeras vereist een natuurlijk fluctuerend waterpeil', *De Levende Natuur* 100(4): pp. 131-135.
- Lijklema, L., 1980. 'Eutrophication: the role of sediments', *Aquatic Ecology* 14: pp. 98-105.
- Lijklema, L., 1990. 'Mass balances and cycling of nitrogen and phosphorus in flooded soils', *The Utrecht Plant Ecology News Report* 11: pp. 44-51.
- Loeb, R.; Van Daalen, E.; Lamers, L.P.M.; Roelofs, J.G.M., 2007. 'How soil characteristics and water quality influence the biogeochemical response to flooding in riverine wetlands', *Biogeochemistry* 85: pp. 289-302.
- Loeb, R.; Lamers, L.P.M.; Roelofs, J.G.M., 2008. 'Effects of winter versus summer flooding and subsequent desiccation on soil chemistry in a riverine hay meadow', *Geoderma* 145: pp. 84-90.
- Loeb, R., 2008. 'On biogeochemical processes influencing eutrophication and toxicity in riverine wetlands', proefschrift Radboud Universiteit Nijmegen, 173 pp.
- Löfgren, S.; Boström, B., 1989. 'Interstitial water concentrations of phosphorus, iron and manganese in a shallow, eutrophic Swedish lake – implications for phosphorus cycling', *Water Research* 23(9): pp. 1115-1125.
- Londo, G., 1997. 'Bos- en natuurbeheer in Nederland deel 6: natuurontwikkeling', Backhuys Publishers, Leiden, ISBN 90-73348-77-3, 658 pp.
- Lucassen, E.C.H.E.T., 2004. 'Biogeochemical constraints for restoration of sulphate-rich fens', Proefschrift, Katholieke Universiteit Nijmegen, 150 pp.
- Lucassen, E.C.H.E.T.; Smolders, A.J.P.; Roelofs, J.G.M., 2005(a). 'Effects of temporary desiccation on the mobility of phosphorus and metals in sulphur-rich fens: differential responses of sediments and consequences for water table management', *Wetland Ecology & Management* 13: pp. 135-148.
- Lucassen, E.C.H.E.T.; Smolders, A.J.P.; Lamers, L.P.M.; Roelofs, J.G.M., 2005(b). 'Water table fluctuations and groundwater supply are important in preventing phosphate eutrophication in sulphate-rich fens: consequences for wetland restoration', *Plant and Soil* 269: pp. 109-115.
- Maarleveld, G.C., 1956. 'Grindhoudende midden-Pleistocene sedimenten. Het onderzoek van deze afzettingen in Nederland en aangrenzende gebieden', Diss. Utrecht, Meded. Geol. Stichting, serie C-VI-No. 6: 105 pp.
- Madigan, M.T.; Martinko, J.M.; Parker, J., 2003. 'Brock Biology of Microorganisms', Pearson Education, Prentice Hall International Editions, 1019 pp. (excl. appendices)
- Madsen, J.D.; Chambers, P.A.; James, W.F.; Koch, E.W.; Westlake, D.F., 2001. 'The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes', *Hydrobiologia* 444: pp. 71-84.
- Marsman, D.J.; Van Bakel, P.J.T., 1994. 'Waterconservering in Friesland: een verkenning van mogelijkheden', *Landinrichting* 34 (6): pp. 13-18.

- Martynova, M.V., 2008. 'Impact of the chemical composition of bottom sediments on internal phosphorus load', *Water Resources* 35(3): pp. 339-345.
- McNamara, J.P.; Siegel, D.I.; Glaser, P.H.; Beck, R.M., 1992. 'Hydrogeologic controls on peatland development in the Malloryville Wetland, New York (USA)', *Journal of Hydrology* 140: pp. 279-296.
- Meeks, R.L., 1969. 'The effect of drawdown date on wetland plant succession', *Journal of Wildlife Management* 33(4): pp. 817-821.
- Megonigal, J.P.; Day, F.P., 1992. 'Effects of flooding on root and shoot production of bald cypress in large experimental enclosures', *Ecology* 73(4): pp. 1182-1193.
- Mietta, F.; Chassagne, C.; Manning, A.J.; Winterwerp, J.C., 2009. 'Influence of shear rate, organic matter content, pH and salinity on mud flocculation', *Ocean Dynamics* 59: pp. 751-763.
- Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit, 2006. 'Natura 2000 doelendocument – Duidelijkheid bieden, richting geven en ruimte laten', Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit, Den Haag, 228 pp.
- Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, 2011. 'Ontwerp Beheerplan Natura 2000 Deelen', Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Den Haag, 175 pp.
- Mitsch, W.J.; Gosselink, J.G., 1993. 'Wetlands', Van Nostrand Reinhold, New York, 722 pp.
- Natura 2000, 2006. 'Natura 2000 gebied 78-Oostvaardersplassen', gebiedendocument, [www.natura2000.nl](http://www.natura2000.nl).
- Natura 2000, 2006. 'Natura 2000 gebied 79-Lepelaarplassen', gebiedendocument, [www.natura2000.nl](http://www.natura2000.nl).
- Natura 2000, 2008. 'Kalkhoudende oligo-mesotrofe wateren met benthische Chara spp. Vegetaties (H3140)', versie 1, [www.natura2000.nl](http://www.natura2000.nl).
- Natura 2000, 2008. 'Van nature eutrofe meren met vegetatie van het type Magnopotamion of hydrocharition (H3150)', versie 1, [www.natura2000.nl](http://www.natura2000.nl).
- Natura 2000, 2008. 'Noord-Atlantische vochtige heide met Erica tetralix (H4010)', versie 1, [www.natura2000.nl](http://www.natura2000.nl).
- Natura 2000, 2008. 'Grasland met Molinia op kalkhoudende, venige of lemige kleibodem (Molinion caeruleae) (H6410)', versie 1, [www.natura2000.nl](http://www.natura2000.nl).
- Natura 2000, 2008. 'Atlantische schorren (Glauco-Puccinellietalia maritimae) (H1330)', versie 1, [www.natura2000.nl](http://www.natura2000.nl).
- Natura 2000, 2008. 'Voedselrijke zoomvormende ruigten van het laagland, en van de montane en alpiene zones (H6430)', versie 1, [www.natura2000.nl](http://www.natura2000.nl).
- Natura 2000, 2008. 'Overgangs- en trilveen (H7140)', versie 1, [www.natura2000.nl](http://www.natura2000.nl).

- Natura 2000, 2008. 'Kalkhoudende moerassen met *Cladium mariscus* en soorten van het Caricion davallianae (H7210)', versie 1, [www.natura2000.nl](http://www.natura2000.nl).
- Natura 2000, 2008. 'Veenbossen (H91D0)', versie 1, [www.natura2000.nl](http://www.natura2000.nl).
- Natura 2000, 2010. 'Besluit Natura 2000-gebied Lauwersmeer', Programmadirectie Natura 2000, PDN/2010-008, [www.natura2000.nl](http://www.natura2000.nl).
- Nicholls, C.N.; Pullin, A.S., 2003. 'The effects of flooding on survivorship in overwintering larvae of the large copper butterfly *Lycaena dispar batavus* (Lepidoptera: Lycaenidae), and its possible implications for restoration management', *Eur. J. Entomol.* 100: pp. 65-72.
- Olaveson, M.M.; C. Nalewajko, 2000. 'Effects of acidity on the growth of two *Euglena* species', *Hydrobiologia* 433: pp. 39-56.
- Oomes, M.J.M.; Kuikman, P.J.; Jacobs, F.H.H., 1997. 'Nitrogen availability and uptake by grassland in mesocosms at two water levels and two water qualities', *Plant and Soil* 192: pp. 249-259.
- Ostendorp, W., 1989. 'Die-back' of reeds in Europe – a critical review of literature', *Aquatic Botany* 35: pp. 5-26.
- Patrick, W.H.; Khalid R.H., 1974. 'Phosphate release and sorption by soils and sediments – effect of aerobic and anaerobic conditions', *Science* 186: pp. 53-55.
- Patrick, W.H.; Yusuf, A.; Jugsujinda, A., 1987. 'Effects of Soil pH and Eh on growth and nutrient uptake by rice in a flooded oxisol of Sitiung area of Sumatra, Indonesia', Center for Soil Research, Bogor, Indonesia.
- Paulissen, M.P.C.P.; van der Ven, P.J.M.; Dees, A.J.; Bobbink, R., 2004. 'Differential effects of nitrate and ammonium on three fen bryophyte species in relation to pollutant nitrogen input', *New Phytologist* 164: pp. 451-458.
- Paulissen, M.P.C.P.; Nijboer, R.C.; Verdonshot, P.F.M., 2007. 'Grondwater in perspectief; een overzicht van hydrochemische watertypen in Nederland', Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1447, 71 pp.
- Paulissen, M.P.C.P.; Schouwenberg, E.P.A.G., 2007. 'Zouttolerantie van zoetwaterafhankelijke natuurdoeltypen: verkenning en kennislacunes', Wageningen, Alterra.
- Pons, L.J., 1992. 'Holocene peat formation in the lower parts of the Netherlands', In: Verhoeven, J.T.A. (red.), 'Fens and bogs in the Netherlands: vegetation, history, nutrient dynamics and conservation', Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 7-79.
- Portielje, R; Van Ballegooijen, L.; Griffioen, A., 2004. 'Eutrofiëring van landbouwbeïnvloede wateren en meren in Nederland - toestanden en trends', Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA), RIZA-rapport 2004.009.
- Portnoy, J.W.; Giblin, A.E., 1997. 'Biogeochemical effects of seawater restoration to diked salt marshes', *Ecological Applications* 7: pp. 1054-1063.

- Pot, R., 2010. 'Toestand en trends in de waterkwaliteit van Nederlandse meren en plassen', Onderzoeksrapport voor Rijkswaterstaat Waterdienst, Roelf Pot, Oosterhesselen.
- Provincie Fryslân, 2010. 'Beheerplan Natura 2000 Alde Faenen', Provincie Fryslân.
- Provincie Utrecht, 2009. 'Concept-beheerplan Natura 2000 Botshol', Provincie Utrecht.
- Provincie Utrecht, 2011. 'Conceptplan herstelstrategieën Natura 2000 Botshol', Provincie Utrecht.
- Reddy, K.R.; Delaune, R.D.; Debusk, W.F.; Koch, M.S., 1993. 'Long-term nutrient accumulation rates in the Everglades', *Soil Science Society of America Journal* 57: pp. 1147-1155.
- Reeve, A.S.; Evensen, R.; Glaser, P.H.; Siegel, D.I.; Rosenberry, D.O., 2006. 'Flow path oscillations in transient ground-water simulations of large peatland systems', *Journal of Hydrology* 316: pp. 313-324.
- Riegman, R., 2004. 'De waterkwaliteit en de ecologische toestand van de boezem van Noordwest Overijssel in de periode 2000-2003', Waterschap Reest en Wieden, 39 pp.
- Rienks, W.A.; Gerritsen, A.L.; Meulenkamp, W.J.H., 2002. 'Behoud veenweidegebied; een ruimtelijke verkenning', Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Alterra-rapport 563, 118 pp.
- Rienks, W.A.; Gerritsen, A.L.; Meulenkamp, W.J.H.; Ottburg, F.G.W.A.; Schouwenberg, E.P.A.G.; Van den Akker, J.J.H.; Hendriks, R.F.A., 2004. 'Veenweidegebied in Fryslan – de effecten van vier peilstrategieën', Alterra-rapport 989, Alterra, Wageningen, 56 pp.
- Rijkens, B.G.A., 2008. 'Evaluatie van de waterkwaliteit en herstelmaatregelen in De Deelen', Radboud universiteit Nijmegen, 177 pp.
- Rip, W.J., 2007. 'Cyclic state shifts in a restored shallow lake', Proefschrift, Wageningen Universiteit.
- Rip, W.J.; Ouboter, M.; Los, H.J., 2007. 'Impact of climatic fluctuations on Characeae biomass in a shallow, restored lake in the Netherlands', *Hydrobiologia* 584: pp. 415-424.
- Roden, E.E.; Edmonds, J.W., 1997. 'Phosphate mobilization in iron-rich anaerobic sediments: microbial Fe(III) oxide reduction versus iron-sulfide formation', *Archiv für Hydrobiologie* 139: pp. 347-378.
- Roelofs, J.G.M.; Torenbeek, T., 1989. 'Aanvoer van gebiedsvreemd water: oplossing of probleem?' In: *Verdroging in Nederland: oorzaken, omvang en oplossingen*, Stichting Natuur en Milieu, Utrecht, pp. 53-73.
- Roelofs, J.G.M., 1991. 'Inlet of alkaline river water into peaty lowlands effects on water quality and stratiotes-aloides L. Stands', *Aquatic Botany* 39: pp. 267-294.

- Roelofs, J.G.M.; de Graaf, M.C.C.; Verbeek, P.J.M.; Cals, M.J.R., 1993. 'Methodieken voor herstel van verzuurde en geëutrofiëerde heiden en schraallanden', In: Cals, M.; de Graaf, M.; Roelofs, J., 'Effectgerichte maatregelen tegen verzuring en eutrofiëring in natuurterreinen', Katholieke Universiteit Nijmegen, Werkgroep Milieubiologie.
- Runhaar, J.; Maas, C.; Meuleman, A.F.M.; Zonneveld, L.M.L., 2000. 'Herstel van natte en vochtige ecosystemen', Nationaal Onderzoekprogramma Verdroging rapport 9-2, RIZA, Lelystad.
- Runhaar, J.; Arts, G.; Knol, W.; van den Brink, N., 2004. 'Waterberging en natuur. Kennisoverzicht ten behoeve van regionale waterbeheerders', Rapport nummer 2004-16, ISBN 90.5773.252.1, STOWA, Utrecht, 144 pp.
- Runhaar, J.; Jalink, M.H.; Hunneman, H.; Witte, J.P.M.; Hennekens, S.M., 2009. 'Ecologische vereisten habitattypen', KWR 09.018, incl. webapplicatie.
- Sanders, M.E.; Prins, A.H.; Schouwenberg, E.P.A.G.; Wegman, R.M.A., 2004. 'Identificatie van geschikt leefgebied voor de Grote vuurvlieder; Een ecohydrologisch effectvoorspellingsmodel', Alterra-rapport 1073, Alterra, Wageningen, 72 pp.
- Sarneel, J.M., 2010. 'Colonisation processes in riparian fen vegetation', PhD thesis, Utrecht University, Faculty of Science, 160 pp.
- Savant, N.K.; Ellis, R., 1964 'Changes in redoxpotential and phosphorus availability in submerged soil', Soil Science 98: pp. 388-394.
- Schaminée, J.H.J.; Weeda, E.J. & Westhoff, V., 1995. 'De vegetatie van Nederland, Plantengemeenschappen van wateren, moerassen en natte heiden', Vol. 2. Opulus Press, Uppsala, 358 pp.
- Schaminée, J.; Dirkx, J.; Janssen, J., 2010. 'Grenzeloze natuur, De internationale betekenis van Nederland voor soorten, ecosystemen en landschappen', KNNV Uitgeverij, Zeist, 144 pp.
- Scheffer, R.A.; Logtestijn, R.S.P.; Verhoeven, J.T.A., 2001. 'Decomposition of Carex and Sphagnum litter in two mesotrophic fens differing in dominant plant species', Oikos 92: pp. 44-54.
- Schep, S.A., 2011. 'Watersysteemanalyse Noorderpark ten behoeve van Watergebiedsplan en Beheerplan Natura 2000', Witteveen+Bos/Waternet.
- Schipper, A.M.; Zeefat, R.; Tanneberger, F.; Van Zuidam, J.P.; Hahne, W.; Schep, S.A.; Loos, S.; Bleuten, W.; Joosten, H.; Lapshina, E.D.; Wassen, M.J., 2007. 'Vegetation characteristics and eco-hydrological processes in a pristine mire in the Ob River valley (Western Siberia)', Plant Ecology 193: pp. 131-145.
- Schot, P.P.; Barendregt, A.; Wassen, M.J., 1988. 'Hydrology of the wetland Naardermeer: influence of the surrounding area and impact on vegetation', Agricultural Water Management 14: pp. 459-470.
- Schot, P.P., 1991. 'Solute transport by groundwater flow to wetland ecosystems: the environmental impact of human activities', Academisch proefschrift, Rijksuniversiteit Utrecht, Drukkerij Elinkwijk, Utrecht, 134 pp.



- Schot, P.P.; Van der Wal, J., 1992. 'Human impact on regional groundwater composition through intervention in natural flow patterns and changes in land use', *Journal of Hydrology* 134: pp. 297-313.
- Schot, P.P.; Molenaar, A., 1992. 'Regional changes in groundwater flow patterns and effects on groundwater composition', *Journal of Hydrology* 130: pp. 151-170.
- Schot, P.P.; Dekker, S.C.; Poot, A., 2004. 'The dynamic form of rainwater lenses in drained fens', *Journal of Hydrology* 293: pp. 74-84.
- Schothorst, C.J., 1977. 'Subsidence of low moor peat soils in the Western Netherlands', *Geoderma* 17: pp. 265-291.
- Schotman, A.G.M.; Kwak, R.G.M., 2003. 'Moerasvogels op peil Deelrapport 2. Successie versus succes van moerasvogels. Aanbevelingen voor beheerders op basis van de relatie tussen moerasvogels en vegetatiesuccessie', *Alterra-rapport 323.2*, Alterra, Wageningen, 54 pp.
- Schouwenberg, E.P.A.G.; Van Mierlo, J.E.M.; Van der Hoek, D., 1991. 'Is vernatting een effectieve maatregel voor het herstel van natte, schrale graslanden?', *De Levende Natuur* 92(4): pp. 128-132.
- Schouwenberg, E., 1992. 'Onderzoek naar de basenverzadiging van een trilveencomplex in 'De Weerribben'', Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN-DLO).
- Schouwenberg, E.P.A.G.; Van Wirdum, G., 1998. 'Basenverzadiging van natte schraallanden; deterministisch onderzoek naar de relatie tussen hydrologie, bodem en vegetatie', *DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, NOV-rapport 8*: 103 pp.
- Segers, R., 1998. 'Methane production and methane consumption: a review of processes underlying wetland methane fluxes'. *Biogeochemistry* 41: pp. 187-202.
- Simons, J.; Ohm, M.; Daalder, R., 1992. 'Restoration of Botshol (the Netherlands) by reduction of external nutrient load: recovery of the characean community', *Aquatic Ecology* 25(3): pp. 287-294.
- Sjölberg, K.; Danell, K., 1983. 'Effects of permanent flooding on *Carex-Equisitum* wetlands in northern Sweden', *Aquatic Botany* 15: pp. 275-286.
- Smolders, A.J.P.; Roelofs, J.G.M., 1993. 'Sulphate-mediated iron limitation and eutrophication in aquatic ecosystems', *Aquatic Botany* 46: pp. 247-253.
- Smolders, A.J.P.; Roelofs, J.G.M., 1996. 'The roles of internal iron hydroxide precipitation, sulphide toxicity and oxidizing ability in the survival of *Stratiotes aloides* roots at different iron concentrations in sediment pore water', *New Phytologist* 133: pp. 253-260.
- Smolders, A.J.P.; Roelofs, J.G.M.; Den Hartog, C., 1996. 'Possible causes for the decline of the water soldier (*Stratiotes aloides* L.) in the Netherlands', *Arch.Hydrobiol.* 136: pp. 327-342.
- Smolders, A.J.P.; Lamers, L.P.M.; Den Hartog C.; Roelofs, J.G.M., 2003(a). 'Mechanisms involved in the decline of *Stratiotes aloides* L. in the

- Netherlands: sulphate as a key variable', *Hydrobiologia* 506-509: pp. 603-610.
- Smolders, A.J.P.; Lucassen, E.C.H.E.T.; Roelofs, J.G.M., 2003(b). 'Waterpeilregulatie in broekbossen: bron van aanhoudende zorg', *H<sub>2</sub>O* 36(24): pp. 17-19.
- Smolders, A.J.P.; Lamers, L.P.M.; Lucassen, E.C.H.E.T.; Van der Velde, G.; Roelofs, J.G.M., 2006. 'Internal eutrophication: How it works and what to do about it – a review', *Chemistry and Ecology* 22: pp. 93-111.
- Sollie, S.; Coops, H.; Verhoeven, J., 2006. 'Oeverzones langs ondiepe meren; peilbeheer en nutriënten', Ministerie van Verkeer en Waterstaat
- Sollie, S., 2007. 'Littoral zones in shallow lakes. Contribution to water quality in relation to water level regime', Proefschrift, Universiteit Utrecht, ISBN 978-90-393-4608-2, 137 pp.
- Sollie, S.; Janse, J.H.; Mooij, W.M.; Coops, H.; Verhoeven, J.T.A., 2008. 'The contribution of marsch zones to water quality in dutch shallow lakes: a modeling study', *Environmental Management* 42: pp. 1002-1016.
- Søndergaard, M.; Kristensen, P.; Jeppesen, E., 1992. 'Phosphorus release from resuspended sediment in the shallow and windexposed Lake Arreso, Denmark', *Hydrobiologia* 228: pp. 91-99.
- Stortelder, A.H.F.; De Waal, R.W.; Schaminée, J.H.J., 2005. 'Streekeigen natuur; identiteit en diversiteit van Nederlandse landschappen', Alterra-rapport 1111, Alterra, Wageningen, 212 pp.
- Strategiegroep Krimpenerwaard, 2005. 'Veenweidepact Krimpenerwaard', Bergambacht, 25 pp.
- Stumm, W.; Morgan, J.J., 1996. 'Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters', 3<sup>rd</sup> ed., John Wiley & Sons Inc., New York, 1022 pp.
- Tallis, J.H., 1983. Changes in wetland communities. In: Gore, A.J.P (Ed.), *Mires: swamp, bog, fen and moor, General studies, Ecosystems of the world 4A*, Elsevier, Amsterdam, pp. 311-347.
- Terwan, P.; Guldmond, A.; Menkveld, W., 2000. 'Water in Waterland; feiten en meningen over waterpeilen en waterberging en voorstellen voor toekomstig beleid', Samenwerkingsverband Waterland, Purmerend, 34 pp.
- Tomassen, H.B.M.; Smolders, A.J.P.; Lamers, L.P.M.; Roelofs, J.G.M., 2004. 'Development of floating rafts after rewetting of cut-over bogs: the importance of peat quality', *Biogeochemistry* 71: pp. 69-87.
- Torenbeek, R., 2008. 'Fosfaat in de boezem van Noordwest-Overijssel: belasting, verspreiding en maatregelen voor reductie', Torenbeek Consultant, 71 pp.
- Uran, O.; Duenk, F.; Reitsma, J.J., 2007. 'Gebiedsdocument Aar & Meije; Basisdocument Implementatie Kader Richtlijn Water', Hoogheemraadschap Rijnland, Leiden, 87 pp.

- Van Belle, J.; Barendregt, A.; Schot, P.P.; Wassen, M.J., 2006. 'The effects of groundwater discharge, mowing and eutrophication on fen vegetation evaluated over half a century', *Applied Vegetation Science* 9: pp. 195-204.
- Van Beusekom, R.; De Bonte, A.; Van den Hoek, W., 2003. 'Moerasvogels en peilbeheer', *Vakblad Natuurbeheer* 6: pp. 90-94.
- Van Boheemen, P.M.J.; Kusse, P.J.; Maas, C.; Wesseling, J.W., 1983. 'Effect of fresh water supply on agriculture in the southwest of the Netherlands', *Neth. J. Agric. Sci.* 31: pp. 269-278.
- Van de Riet, B.P.; Barendrecht, A.; Verhoeven, J.T.A., 2006. 'Quick scan natuur in de Westelijke veenweidegebieden', Projectgroep Waarheen met het veen, Utrecht, 16 pp.
- Van Tooren B.; Bouman, A.; Spruyt, Th.; De Wijs, R., 1994. 'Het Naardermeer op weg naar het jaar 2000', *De Levende natuur* 95(3): pp. 75-80.
- Van Delft, S.P.J.; Kemmers, R.H.; Jongmans, A.G., 2005. 'Pyrietvorming in relatie tot interne eutrofiëring en verzuring', *Alterra-rapport 1161*, Alterra, Wageningen, 88 pp.
- Van den Akker, J.J.H., 'Maaiveldvaling en verdwijnende veengronden', In: Rienks, W.A.; Gerritsen, A.L., 'Veenweide 25x belicht. Een bloemlezing van het onderzoek van Wageningen', Wageningen Universiteit en Researchcentrum, 64 pp.
- Van den Akker, J.J.H.; Hendriks, R.F.A.; Mulder, J.R., 2007. 'Invloed van infiltratiewater via onderwaterdrains op de afbraak van veengrond', *Alterra-rapport 1597*, Alterra, Wageningen, 48 pp.
- Van der Hut, R.M.G., 1992. 'Biologie en bescherming van de Lepelaar Platealea leucorodia, aanzet tot beschermingsplan', *Technisch rapport Vogelbescherming* 6, Zeist.
- Van der Linden, M.; Blokland, K.A.; Zonneveld, L.M.L.; van Ek, R.; Runhaar, J., 1996. 'Herstel van natte en vochtige ecosystemen', *Nationaal Onderzoekprogramma Verdroging (NOV)-rapport 9.1*, ISBN 9036950155, RIZA, 208pp. (excl. bijlagen).
- Van der Molen, D.T.; Boers, P.C.M., 1994. 'Influence of internal loading on phosphorus concentration in shallow lakes before and after reduction of the external loading', *Hydrobiologia* 275/276: pp. 379-389.
- Van der Putten, W.H., 1997. 'Die-back of phragmites australis in European wetlands: an overview of the European Programme on Reed Die-back and Progression (1993-1994)', *Aquatic Botany* 59: pp. 263-275.
- Van der Welle, M.E.W.; Cuppens, M.L.C.; Lamers, L.P.M.; Roelofs, J.G.M., 2006. 'Detoxifying toxicants: Interactions between sulphide and iron toxicity', *Environmental Toxicology & Chemistry* 25: pp. 1592-1597.
- Van der Winden, L.; Van der Hut, R.M.G., 2004. 'Bepaling van streefwaarden en oppervlaktes moeras voor prioritaire soorten', *Vogelbescherming Nederland*, Koninklijke Drukkerij C.C. Callenbach BV, Nijkerk.

- Van Diggelen, R.; Grootjans, A.P.; Wierda, A.; Burkunk, R.; Hoogendoorn, J., 1991. 'Prediction of vegetation changes under different hydrological scenarios', IAHS Publication no 202: pp. 71-80.
- Van Diggelen, R.; Molenaar, W.J.; Kooijman, A.M., 1996. 'Vegetation succession in a floating mire in relation to management and hydrology', *Journal of Vegetation Science* 7: pp. 809-820.
- Van Eerden, M.R.; Vulink, J.T.; Polman, G.K.R.; Drost, H.J.; Lenselink, G.; Oosterberg, W., 1995. 'Oostvaardersplassen. 25 jaar pionieren op weke bodem'. *Landschap* 12: pp. 23- 39.
- Van Geel, B.; Buurman, J.; Waterbolk, H.T., 1996. 'Archaeological and palaeoecological indications for an abrupt climate change in The Netherlands and evidence for climatological teleconnections around 2650 BP', *Journal of Quaternary Science* 11: pp. 451-460.
- Van Geest, G.J.; Wolters, H.; Roozen, F.; Coops, H.; Roijackers, R.M.M.; Buijse, A.D.; Scheffer, M., 2005. 'Water-level fluctuations affect macrophyte richness in floodplain lakes', *Hydrobiologia* 539: pp. 239-248.
- Van Geest, G.; De Niet, A.; Teurlincx, S., 2011. 'Waterplanten langs de Nederlandse Rijntakken', *Deltares-rapport*, 62 pp.
- Van Leerdam, A.; Vermeer, J.G., 1992. 'Natuur uit het moeras! – Naar een duurzame ontwikkeling in laagveenmoerassen', *Rijksuniversiteit Utrecht, Utrecht*, 217 pp.
- Van Loon, A.H., 2010. 'Unravelling hydrological mechanisms behind fen deterioration in order to design restoration strategies', *Proefschrift Universiteit Utrecht*, 139 pp.
- Van Rooij, S.A.M.; Drost, H.J., 1996. 'Het Lauwersmeergebied, 25 jaar onderzoek ten dienste van natuurontwikkeling en beheer', *Flevobericht nr. 387, Ministerie van Verkeer en Waterstaat*, 131 pp.
- Van Steenis, W., 2003. 'Natuurvisie Nieuwkoopse Plassen 2003-2020; van Baggerbeugels en Kraggenvreterers', *Uitgave van de Vereniging Natuurmonumenten*.
- Van Swaay, C.A.M.; Van Strien, A.J., 2008. 'Monitoring van Natura 2000 soorten; advies voor een landelijk meetprogramma', *Alterra-rapport 1644, Alterra, Wageningen*.
- Van Tooren B.; Bouman, A.; Spruyt, Th.; De Wijs, R., 1994. 'Het Naardermeer op weg naar het jaar 2000', *De Levende natuur* 95(3): pp. 75-80.
- Van Turnhout, C.A.M.; Hagemeijer, E.J.M.; Foppen R.P.B., 2010. 'Long-term population developments in typical marshland birds in The Netherlands', *Ardea* 98: pp. 283-299.
- Van 't Veer, R.; Witteveldt, M., 2002. 'Pitrusontwikkeling in enkele Noord-Hollandse weidevogelgraslanden', *Agens Raadgevend Buro, Stichting het Noord-Hollands Landschap, Hoorn/Castricum*, 42 pp.
- Van 't Veer, R.; Hoogeboom, D., 2008. 'Atlas Natura 2000 Naardermeer en Oostelijke Vechtpassen', 26 pp.

- Van Tweel, M.; Van Swaay, C.; Van der made, J., 1995. 'Zijn er nog perspectieven voor de Grote vuurvlieder?', *De Levende natuur* 96(6): pp. 228-232.
- Van Wallenburg, C., 1975. 'Kattekleigronden en potentiële kattekleigronden in droogmakerijen in het westen van Nederland', *Boor en Spade*: 116-133.
- Van Wijck, C.; De Groot, C.,J.; Grillas, P., 1992. 'The effect of anaerobic sediment on the growth of *Potamogeton pectinatus* L.: the role of organic matter, sulphide and ferrous iron', *Aquatic Botany* 44: pp. 31-49.
- Van Wirdum, G., 1991. 'Vegetation and hydrology of floating rich-fens', *Academisch proefschrift, Universiteit van Amsterdam, Datawysse, Maastricht*, 310 pp.
- Van Wirdum, G.; Den Held, A.J.; Schmitz, M., 1992. 'Terrestrializing fen vegetation in former turbaries in the Netherlands', In: Verhoeven, J.T.A., 'Fens and bogs in the Netherlands: vegetation, history, nutrient dynamics and conservation', *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht*, pp. 323-360.
- Van Wirdum, G., 1993. 'Basenverzadiging in soortenrijke trilvenen', In: Cals, M.; De Graaf, M.; Roelofs, J., 'Effectgerichte maatregelen tegen verzuring en eutrofiëring in natuurterreinen', *Nijmegen, Katholieke Universiteit Nijmegen*, 188 pp.
- Vera, F., 2008. 'Ontwikkelingsvisie Oostvaardersplassen; voorbij de horizon van het vertrouwde', *Staatsbosbeheer, Driebergen*.
- Verdonschot, R.C.M.; De Lange, H.J., Verdonschot, P.F.M., Besse, A., 2007. 'Klimaatverandering en aquatische biodiversiteit 1; literatuurstudie naar temperatuur', *Alterra-rapport 1451, Alterra, Wageningen*.
- Verhoeven, J.T.A., 2009. *Wetland biogeochemical cycles and their interactions*. In: Maltby, E., Barker, T. (Ed.), *The Wetlands Handbook*, Blackwell Publishing: 266-281.
- Vermeer, J.G.; Joosten, J.H.J., 1992. 'Conservation and management of bog and fen reserves in the Netherlands', – In: Verhoeven, J. T. A. (ed.), *Fens and bogs in the Netherlands: vegetation, history, nutrient dynamics and conservation*. Kluwer, pp. 433–478.
- Vogelzang, T., 2006. 'Landbouw in het veenweidegebied', *Themabrochure Quickscan, BSIK Kennisprogramma Leven met Water*.
- Vuori, K.M., 1995. 'Direct and indirect effects of iron on river ecosystems', *Annales Zoologici Fennici* 32: pp. 317-329.
- Wassen, M.J., 1990. 'Water flow as a major landscape ecological factor in fen development', *PhD Thesis, Universiteit Utrecht*, 199 pp.
- Wassen, M.J.; Joosten, J.H.J., 1996. 'In search for a hydrological explanation for vegetation changes along a fen gradient in the Biebrza Upper Basin (Poland)', *Vegetatio* 124: pp. 191-209.
- Waterschap Groot Salland, 2006. 'Jaarverslag oppervlaktewaterkwaliteit 2005', *Waterschap Groot Salland, Afdeling Ecologie & kwaliteit*.

- Webb, M.R.; Pullin, A.S., 2000. 'Egg distribution in the large copper butterfly *Lycaena dispar batavus* (Lepidoptera: Lycaenidae): Host plant versus habitat mediated effects', *Eur. J. Entomol.* 97: pp. 363-367.
- Weeda, E.J., Schaminée, J.H.J.; Van Duuren, L., 2000. 'Atlas van Plantengemeenschappen in Nederland, Deel 1; Wateren, moerassen en natte heiden', KNNV Uitgeverij, Utrecht, 334 pp.
- Weeda, E.J., Schaminée, J.H.J.; Van Duuren, L., 2002. 'Atlas van Plantengemeenschappen in Nederland, Deel 2; graslanden, zomen en droge heiden', KNNV Uitgeverij, Utrecht, 224 pp.
- Westendorp, P.J.; Loeb, R.; van Dijk, G.; Lamers, L.P.M.; Smolders, A.J.P.; Klinge, M.; van Kleef, H., 2010. 'Rapport fase 1 OBN-onderzoek Verbrakking in het laagveen- en zeekleilandschap en OBN-onderzoek Kansen voor zeekleimeren', Witteveen & Bos/ B-ware.
- Westhoff, V.; Den Held, A.J., 1969. 'Plantengemeenschappen in Nederland', Thieme, Zultphen, 324 pp.
- Westhoff, V.; Bakker, P.A.; van Leeuwen, C.G.; van der Voo, E.E., 1981. 'Wilde planten: flora en vegetatie in onze natuurgebieden (deel 2: het lage land)', Vereniging tot behoud van natuurmonumenten in Nederland, 's Graveland.
- Williams, B.L., 1974. 'Effect of water-table level on nitrogen mineralization in peat', *Forestry* 47(2): pp. 195-202.
- Williams, R.T.; Crawford, R.L., 1984. 'Methane production in Minnesota peatlands', *Applied and Environmental Microbiology* 47: pp. 1266-1271.
- Wienk, L.D.; Verhoeven, J.T.A.; Coops, H.; Portielje, R., 2000. 'Peilbeheer en nutriënten - Literatuurstudie naar de effecten van peildynamiek op de nutriëntenhuishouding van watersystemen', Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA), RIZA-rapport 2000.012.
- Wijmer, S., 1990. 'Grondwater beneden peil: verdroging in Nederland', Sdu Uitgeverij, Den Haag.
- Witmer, M.C.H., 1989. 'Integral water management at regional level; an environmental study of the Gooi and the Vechtstreek', PhD Thesis, Universiteit Utrecht, 174 pp.
- Witte, J.P.M.; Aggenbach, C.J.S.; Runhaar, J., 2007. 'Grondwater voor natuur', Deel II van RIVM rapport 607300003: pp. 34-102, KIWA Water Research, Nieuwegein.
- Witteveen & Bos, 2004(a). 'Functie vissenwater boezemwateren: definitieve streefbeeld en maatregelen', Rapport nr. EDM18-8, 45 pp.
- Witteveen & Bos, 2004(b). 'Kwalitatieve en kwantitatieve relaties tussen het habitat en het voorkomen van snoek in stilstaande en stromende wateren, conceptversie, Project nr. Bel352-1.
- Witteveen & Bos, 2005. 'Onderzoek en advies voor verbetering van de waterkwaliteit en natuurwaarden van het IJperveld', Rapport nr. EDM51-1, 103 pp.

Witteveen & Bos, 2009. 'Effecten peilbeheer en waterberging Oldambtmeer', Rapport nr. VDM53-1-1.

Witteveen & Bos, 2010. 'OBN onderzoeken: Verbrakking in het laagveen en zeekeilandschap: van bedreiging naar kans?', Natuurherstel in ondiepe plassen in het zeelei- en laagveenlandschap: kansen voor kleimeren, Fase 1', Rapport nr. ED158-1., 58 pp.

Zaadnoordijk, W.J.; Velstra, J.; Vergroesen, A.J.J.; Mankor, J., 2009. 'Groot Mijdrecht: inzicht in functioneren wellen', Stromingen: vakblad voor hydrologen 15(2): pp. 31-40.

Zagwijn, W.H., 1974. 'The paleogeographic evolution of the Netherlands during the quaternary', Geologie en Mijnbouw 5: pp. 369-385.

---

*Digitale referenties:*

<http://www.natuurkennis.nl/>

<http://www.natura2000.nl>

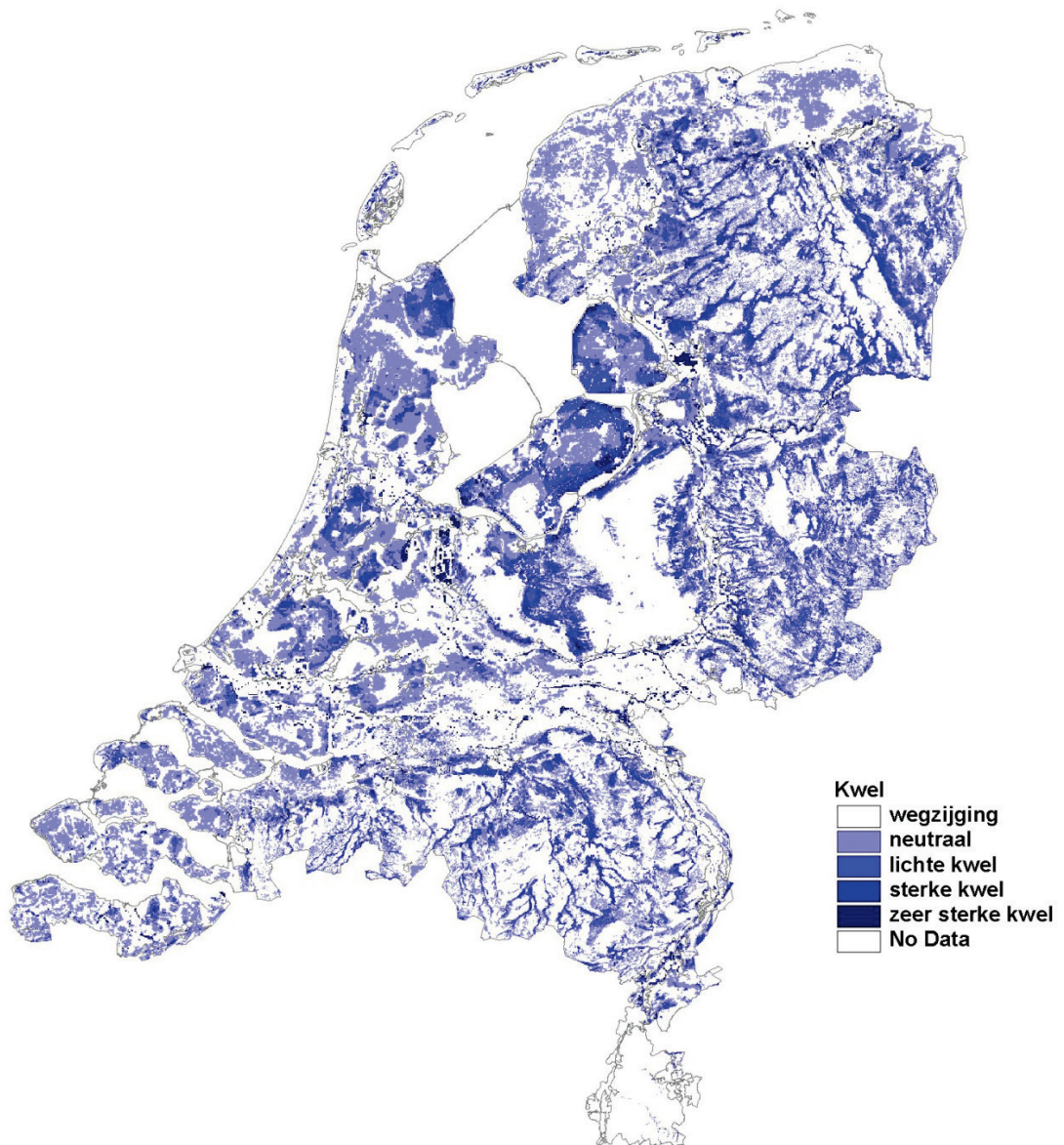
<http://www.waarheenmethetveen.nl>





# Bijlage 1

Bijlage 1; De kwelkaart van Nederland



## Bijlage 2

*Bijlage 2; Overzicht van eenheden op basis van bodemopbouw (De Vries, 2008)*

<b>Code</b>	<b>PAWN Code</b>	<b>bodemopbouw</b>	<b>Omschrijving</b>	<b>Opeenvolgende bodemfysische bouwstenen Staringreeks</b>
1	1	Veraarde bovengrond op diep veen		B18,017
2	2	Veraarde bovengrond op veen op zand	Combinatie van veengronden en moerige gronden met zandondergrond. Associaties van moerige gronden en zandgronden vertaald naar zandgronden	B16,017,02
3	3	Kleidek op veen		B11,017
4	4	Kleidek op veen op zand	Combinatie van veengronden en moerige gronden met kleidek en zandondergrond. Associaties van moerige gronden en zandgronden vertaald naar klei op zand	B11,017,02
5	5	Zanddek op veen op zand	Combinatie van veengronden en moerige gronden met zanddek en zandondergrond. Associaties moerig en zand vertaald naar zand	B2,016.02
6	6	Veen op ongerijpte klei	Combinatie van veengronden en moerige gronden met een kleiondergrond. Bij deze gronden kan het veen zowel als toplaag (Wo, Vk) en als tussenlaag (kVk, pVk) voorkomen. Associaties van moerige gronden met kleigronden zijn vertaald naar een kleigrond	B18.012
7	15	Zavel met homogeen profiel		B8,09
8	16	Lichte klei met homogeen profiel		B10,010
9	17	Klei met zware tussenlaag of ondergrond		B12,013
10	18	Klei op veen	Begin diepte veenondergrond 40 – 120 cm-mv	B12,013,017
11	19	Klei op zand	Begin diepte zandondergrond 25 – 80 cm-mv.	B8,010,,02
12	20	Klei op grof zand	Begin diepte grofzandige ondergrond 25 – 120cm-mv	B8,010,05

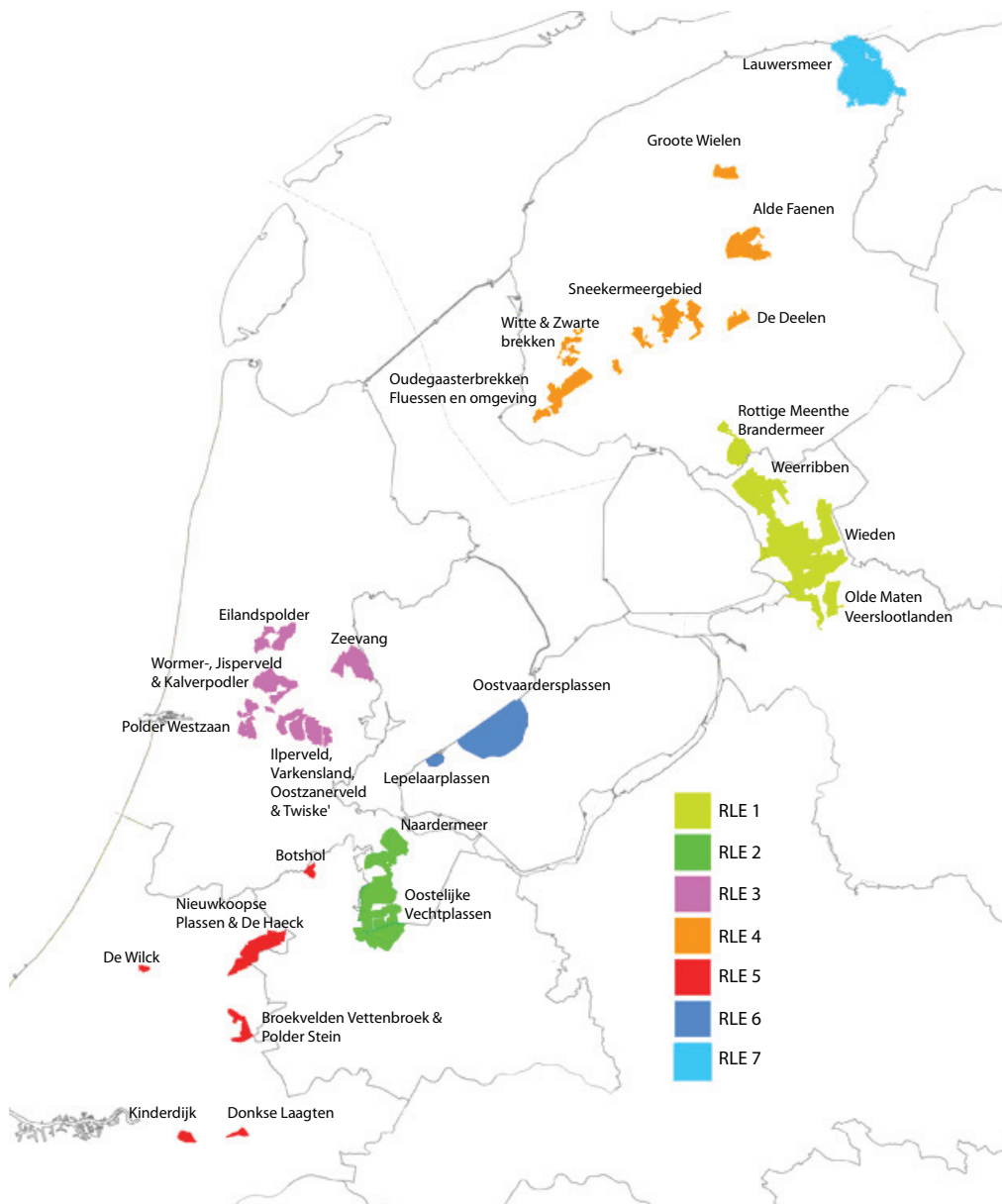
## Bijlage 3

Bijlage 3; Geografische ligging van PAWN Code gebieden (De Vries, 2008).



# Bijlage 4

Bijlage 4; Geografische ligging van regionale landschapseenheden zoals gehanteerd in dit rapport met daarin de Natura 2000-gebieden.



# Bijlage 5

Bijlage 5; Een overzicht van de aanwezige prioritaire habitattypen in de verschillende Natura 2000-gebieden in het Nederlands laagveen- en zeekleigebied.

Code	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
H3140; kranwierwateren	X	X			X	X								
H3150; Meren met krabbenscheer en fonteinkruiden	X	X	X	X	X						X			X
H4010B; Moerasheiden	X	X	X		X	X	X		X					X
H6410; Blauwgraslanden	X	X	X	X	X									X
H7140A; Trilvenen	X	X	X		X									
H7140B; Veenmosrietlanden	X	X	X	X	X	X	X		X	X				X
H7210; Galigaanmoerassen	X	X	X		X									X
H1330B; Schorren en zilte graslanden (binnendijs)							X							
H6430A; Ruigten en zomen (moerasspirea)											X			
H6430B; Ruigten en zomen (Harig wilgenroosje)						X	X		X	X	X			
H91D0; Hoogveenbossen	X	X	X		X	X								X
Vogelr.l.	X	X			X	X		X	X	X	X	X	X	X

Code	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
H3140; kranwierwateren				X	X		X						
H3150; Meren met krabbenscheer en fonteinkruiden	X			X	X		X						
H4010B; Moerasheiden				X			X						
H6410; Blauwgraslanden	X			X	X		X						
H7140A; Trilvenen				X			X						
H7140B; Veenmosrietlanden					X		X						
H7210; Galigaanmoerassen					X		X						
H1330B; Schorren en zilte graslanden (binnendijs)													
H6430A; Ruigten en zomen (moerasspirea)					X				X				
H6430B; Ruigten en zomen (Harig wilgenroosje)													
H91D0; Hoogveenbossen				X			X						
Vogelr.l.	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X

1 Wieden	10 Eilandspolder	19 Botshol
2 Weerribben	11 Oudegaasterbrekken, Fluessen e.o.	20 Deelen
3 Rottige Meenthe & Brandemeer	12 Witte en Zwarte Brekken	21 Nieuwkoopse Plassen & de Haeck
4 Olde Maeten & Veerslootlanden	13 Sneekermeergebied	22 Donkse Laagten
5 Oostelijke Vechtplassen	14 Alde Faenen	23 Broekvelden, Vettenbroek & Polder Stein
6 Ilperveld, Varkensland, Oostzanerveld & Twiske	15 Groote Wielen	24 De Wilck
7 Polder Westzaan	16 Leekstermeergebied	25 Oostvaardersplassen
8 Polder Zeevang	17 Boezems Kinderdijk	26 Lepelaarplassen
9 Wormer- en Jisperveld & Kalverpolder	18 Naardermeer	27 Lauwersmeer

