

Herstelstrategie H3110: Zeer zwakgebufferde vennen

Arts, G.H.P., E. Brouwer & N.A.C. Smits

Leeswijzer

Dit document start met de kenschets uit het profieldocument (paragraaf 1) en geeft daarna een overzicht van de ecologische randvoorwaarden van het habitatype (paragraaf 2). Vervolgens wordt ingegaan op de effecten van atmosferische stikstofdepositie op het habitatype (paragraaf 3) en op andere processen die de kwaliteit beïnvloeden (paragraaf 4). Vervolgens komen in paragraaf 5 en 6 maatregelen aan bod om de achteruitgang te stoppen, dan wel de kwaliteit te verbeteren. Deze maatregelen dienen in aanvulling op het reguliere beheer (paragraaf 2) te worden uitgevoerd. In paragraaf 7 worden maatregelen voor uitbreiding besproken en in paragraaf 8 komt de effectiviteit en duurzaamheid van de maatregelen aan bod. In paragraaf 9 worden de maatregelen in een overzichtstabel samengevat en het document wordt afgesloten met literatuurreferenties in paragraaf 10.

1. Kenschets

De tekst in onderstaand kader betreft de kenschets van het profielendocument van het habitatype.

Dit habitatype heeft betrekking op zeer voedsel- en mineraalarme vennen. Het gaat om heideplassen met een zandbodem en soortenarme begroeiingen van een brede oeverzone waarin planten met een zogenaemde isoëtide groeivorm een belangrijke rol spelen. De isoëtide planten zijn gekenmerkt door een rozet van stevige, holle, lijn- of priemvormige bladeren. De meeste soorten zijn aangepast aan wisselende waterstanden op standplaatsen die een groot deel van het jaar onder water staan en zo nu en dan bijna droogvallen of droogvallen. Het zijn zeldzame soorten. Naar Oeverkruid (*Littorella uniflora*), de nog het meest voorkomende soort, noemt men deze vennen ook wel oeverkruidvennen.

De zeer zwak gebufferde vennen van habitatype H3110 groeien slechts langzaam dicht en er treedt nauwelijks of geen verlanding op. Een organische laag ontwikkelt zich nauwelijks. Een van de oorzaken is een gebrek aan koolstof. Andere oorzaken zijn sterk wisselende waterstanden en golfslag door windwerking. Sterke windwerking treedt vooral op in vennen met een grote omvang die in een open landschap liggen.

Naast zeer zwak gebufferde vennen bestaan er ook zwak gebufferde vennen van type H3130 en zure vennen van type H3160. De eerste twee typen onderscheiden zich van elkaar doordat ze een lager gehalte aan koolstof hebben. In de naamgeving komt dit helaas niet tot uitdrukking. Zeer zwak gebufferde vennen hebben doorgaans flauw aflopende oeverzones. Het centrale gedeelte valt maar heel zelden 's zomers droog. Bij degradatie door verzuring en atmosferische vermisting gaan soorten overheersen zoals Knolrus (*Juncus bulbosus*), Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) en/of veenmossen. Vennen met zulke begroeiingen maar zonder aanwezigheid van oeverkruid of andere isoëtiden worden niet tot het habitatype gerekend.

Het is niet nodig subtypen binnen het habitatype te onderscheiden. De vegetatie van goed

ontwikkelde zeer zwak gebufferde vennen wordt gerekend tot één enkele plantengemeenschap (de associatie Isoeto–Lobelietum die hoort bij het verbond Littorellion uniflorae). Bij het bepalen van het habitatype van een ven, is het belangrijk het gehele venlichaam in ogenschouw te nemen. Wanneer in een ven –naast deze ene associatie– ook een of meer andere plantengemeenschappen aanwezig zijn die kenmerkend zijn voor zwak gebufferde vennen, dan wordt het gehele ven als mozaïek van beide habitatypen beschouwd.

In de Zeer zwak gebufferde vennen komt een soort voor van Habitatrichtlijn waarvoor de stikstofgevoeligheid van het type een probleem kan vormen, namelijk Drijvende waterweegbree. Daarnaast zijn er twee typische soorten, waarvoor in dit habitatype mogelijke problemen als gevolg van stikstofdepositie worden verwacht. De specifieke effecten voor fauna worden beschreven in Deel I (paragraaf 2.4). Afhankelijk van het belang en de functie van dit habitatype voor de soorten, kunnen ook andere habitats noodzakelijke onderdelen van het leefgebied vormen. Voor een volledig overzicht van de deelhabitats, zie bijlage 1 en 2 van Deel II.

Soortgroep	VHR-soort/ Typische soort	belang en functie	N-gevoeligheid van leefgebied	Effecten van stikstofdepositie
Vaatplanten	Drijvende waterweegbree	Groot	Ja	Concurrentie door andere waterplanten en algenbloei
Amfibieën	Heikikker	Groot: foerageer- en voortplanting	Ja	Fysiologische problemen (5)
Amfibieën	Poelkikker	Groot: foerageer- en voortplanting	Ja	Fysiologische problemen (5)

Voor een goed begrip van de onderstaande paragrafen, is het essentieel om uit te gaan van de definitie van het habitatype en zijn kwaliteitseisen (abiotische randvoorwaarden, samenstellende vegetatietypen, typische soorten en overige kenmerken van goede structuur en functie). Zie daarvoor het profielendocument

(http://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/documenten/profielen/habitatypen/profiel_habitatype_3110.pdf).

Voorbeelden van goed ontwikkelde vennen van Habittatype H3110 vormen de Bergvennen bij Denekamp in Twente en de Ganzepoel bij Diever (Wateren) in Drenthe.

2. Ecologische randvoorwaarden

Voor de abiotische randvoorwaarden (Runhaar et al. 2009) wordt uitgegaan van vier subassociaties van de Associatie van Biesvaren en Waterlobelia (06Aa01ABCD; Schaminée et al. 1995), waarbij de subassociatie met Veenmos (06Aa01C) als minder kenmerkend wordt beschouwd.

2.1 Zuurgraad

Het kernbereik voor de zuurgraad ligt tussen pH (H₂O) 4,5 en 7. pH 4 tot 4,5 geldt als aanvullend bereik (Runhaar et al. 2009) en is gebaseerd op de iets zuurdere standplaatsen van met name de subassociatie met Veenmos (6Aa01C). Dit zijn pH waarden in het oppervlaktewater. Indien

dergelijke lage waarden voorkomen in het oppervlaktewater van zeer zwak gebufferde vennen met isoetiden, zullen deze lage waarden niet opgaan voor het poriewater en zal het poriewater zich in het gebufferde bereik bevinden. Voor het voorkomen van zowel Waterlobelia, Oeverkruid en Biesvarens in een zeer zwak gebufferd ven wordt de optimale zuurgraad in het oppervlaktewater nauwer begrensd tot een traject van 5.0 – 6.5 (Arts et al. 2001). Onder pH 5,5 in de waterlaag kan het Isoeto–Lobelietum voorkomen, maar dan is altijd sprake van een gebufferde bodem en van meetbare calcium- en bicarbonaatgehalten in het poriewater. Deze waarden liggen dan in het zwak gebufferde bereik. Onder de pH 5,5 komen subassociaties voor met Veelstengelige waterbies of Veenmossen. Deze worden wèl tot dit habitatype gerekend, maar vormen eigenlijk geen goede vertegenwoordiging van het habitatype, aangezien isoetiden ontbreken. Klasse 4,0–4,5 is aanvullend bereik omdat alleen de subassociatie met veenmossen nog kan voorkomen en de veenmossen dan de neiging hebben om het ven snel te laten dichtgroeien.

In het aanvullend bereik dienen de calciumgehalten en de bicarbonaatgehalten in het poriewater in het zwak gebufferde bereik te liggen. Ook dient de ammonium/nitraat ratio in het poriewater laag te zijn om gunstige voorwaarden voor groei van isoetide waterplanten te creëren. Bij een lage pH kunnen ammonium en aluminium makkelijk toxisch worden voor isoetiden en dit effect wordt deels verzacht door de aanwezigheid van nitraat, respectievelijk calcium. Optimale condities van het poriewater zijn een pH van 5–6, een bicarbonaatgehalte van 0,05–0,2 meq./l en een aluminium/calcium ratio en ammonium/nitraat ratio die beiden onder 1 liggen (Arts & Smolders 2008, Brouwer et al. 2009). Ongunstige condities in een van deze parameters kunnen deels worden gecompenseerd door een gunstige toestand voor de overige parameters.

2.2 Voedselrijkdom

Voor zeer zwak gebufferde vennen is het kernbereik voor de voedselrijkdom zeer voedselarm tot matig voedselarm (Runhaar et al. 2009). Ten aanzien van de voedselrijkdom dient onderscheid te worden gemaakt tussen de voedselrijkdom van het sediment en de voedselrijkdom van het water. Voor het Isoeto–Lobelietum is de zeer voedselarme toestand van zowel sediment als van de waterlaag de optimale conditie. Het matig voedselrijke bereik is onwaarschijnlijk.

2.3 Vochttoestand

Voor zeer zwak gebufferde vennen varieert het kernbereik voor de vochttoestand van ondiep droogvallen tot diep water (Runhaar et al. 2009). Ondiep droogvallen vormt de optimale conditie voor zeer zwak gebufferde vennen. In diep water en met de huidige atmosferische stikstofdepositie, die zich nog steeds boven de kritische depositieniveaus bevindt, zullen isoetide vegetaties zich nooit ondergedoken kunnen handhaven, maar worden zij teruggedrongen naar de littorale zone (=de zone die droog valt in de zomer) (Arts 2002).

2.4 Buffercapaciteit

Vennen met het Isoeto–Lobelietum kenmerken zich door een zeer lage buffercapaciteit. In hydrologisch opzicht ontvangen zij weinig aangereikt grondwater. Zij kunnen gebufferde lagen in de ondergrond bevatten waardoor enige buffering wordt aangereikt (bijv. Ganzepoel in Drenthe). Doordat vennen waren opgenomen in het kleinschalige, half–natuurlijke landschap van de 19^e en de eerste helft van de 20^e eeuw, werden zij extensief door de mens gebruikt (Arts et al. 1988). Dit kleinschalige menselijk gebruik droeg bij aan het genereren of in stand houden van een zeer geringe buffering. Van oorsprong worden zeer zwak gebufferde vennen gevoed door regenwater

en lokaal grondwater. Ook kan inwaaiend stuifzand mogelijk hebben bijgedragen tot een geringe buffering (NB. Dit is nooit bewezen). Voorgaande factoren maken dat dit type vennen na herstel zeer gevoelig blijft voor verzuring.

2.5 Beschikbaarheid van koolstofdioxide (CO₂)

Zeer zwak gebufferde vennen met het Isoeto–Lobelietum zijn zeer arm aan koolstof, zowel in de vorm van bicarbonaat als in de vorm van koolstofdioxide. De concentratie koolstofdioxide in de waterlaag is te gering voor gebruik door hogere waterplanten. In het sediment dient CO₂ daarom in voldoende mate beschikbaar te zijn.

2.6 Landschapsecologische processen

Zie de informatie uit de landschapsdoorsneden (Deel III).

2.7 Regulier beheer

Zeer zwak gebufferde vennen kennen geen regulier beheer.

3. Effecten van stikstofdepositie

De kritische depositiewaarde voor stikstof is vastgesteld op 429 mol N/ha/jaar (6 kg N/ha/jaar) (Van Dobben et al. 2012). Dit getal is gebaseerd op de gemiddelde modeluitkomst, passend binnen de empirische deelrange (5–10 kg N/ha/jr vanwege het Atlantisch karakter), volgens het model AquAcid voor vennen (Arts et al. 2002). De modeluitkomst is een precisering van de internationaal vastgestelde empirische range voor 'softwater lakes' van 3–10 kg N/ha/jaar (Bobbink & Hettelingh 2011). Depositieniveaus boven de kritische stikstof depositiewaarde kunnen leiden tot zowel verzuring als vermesting.

3.1 Verzuring

Onderzoek naar de effecten van verzuring in zeer zwak gebufferde en zwak gebufferde vennen dateert uit de jaren tachtig van de vorige eeuw. Zeer zwak gebufferde vennen hebben van oorsprong een zeer lage alkaliniteit tussen 0,1 en 0,3 meq/L (Arts et al. 1990a). Bij herstel van vennen en om mobilisatie van fosfaat uit de bodem te voorkomen, wordt vaak een lagere alkaliniteit van 0,1 meq/L als doel gesteld voor herstel. Vanwege deze geringe buffering, kan depositie van N en S resp. indirect en direct leiden tot verzuring. Extra ammonium zal worden genitrificeerd in deze wateren (bij pH > 4.0). Gedurende dit proces worden H⁺-ionen gevormd waardoor de pH daalt. Wanneer als gevolg van deze verzuringsprocessen de pH daalt beneden 5, kunnen de isoetide waterplanten die karakteristiek zijn voor dit habitatype, nog steeds aanwezig zijn (Arts et al. 1990b). Zij zijn immers zuur-tolerant, kunnen groeien bij een pH beneden 5 en blijven dan aanwezig. Een uitzondering hierop vormt de Kleine biesvaren (*Isoetes echinospora*), die niet zuurtolerant is (Arts et al. 1990b). In het traject beneden pH 5 zullen ondergedoken veenmossen verschijnen. Zij kunnen de langzaam groeiende isoetide waterplanten overwoekeren. Naast uitbundige groei van veenmossen treedt vaak ook (tijdelijke) woekering van knolrus op. In sterk verzuurde wateren zullen de isoetide waterplanten verdwijnen als gevolg van overwoekering door snel groeiende soorten, zoals Knolrus, Veenmossen en Sikkelmos (Roelofs et al. 1984). Deze soorten maken onder deze omstandigheden optimaal gebruik van de hoge ammonium-beschikbaarheid (Schuurkes et al. 1986) en de tijdelijk hoge koolstofbeschikbaarheid als gevolg

van de omzetting van bicarbonaat uit bodem en water in kooldioxide. Als de bicarbonaatvoorraad is uitgeput, daalt de koolstofbeschikbaarheid weer en verdwijnen vrijwel alle waterplanten (Arts et al. 1990a).

3.2 Vermesting

Zeer zwak gebufferde vennen worden gevoed door regenwater en lokaal grondwater (dit laatste is in feite oppervlakkig toestromend regenwater aangereikt met CO₂ uit de bodemlucht). Dit watertype is in het algemeen arm aan voedingsstoffen en bicarbonaat (Arts et al. 1990a). Koolstof, anorganisch stikstof (i.e. door planten vrij opneembaar stikstof) en fosfaat zijn in deze vennen limiterend voor de plantengroei. Anorganisch stikstof is lager dan 10 µmol/L en stikstof is vooral beschikbaar als nitraat en weinig als ammonium. Ammonium wordt in deze wateren zeer snel omgezet in nitraat (zie 3.1). Fosfaatconcentraties zijn zeer laag (Arts et al. 2001). Van oorsprong is de productie van deze systemen zeer gering, organisch materiaal hoopt zich nauwelijks op en de successie verloopt zeer langzaam. Atmosferische depositie van stikstof leidt tot een aanrijking van deze vennen met ammonium en/of nitraat. In niet verzuurde vennen met een overwegend minerale zandbodem en onder zuurstofrijke omstandigheden zal ammonium – afkomstig van atmosferische depositie – genitrificeerd worden tot nitraat. In verzuurde vennen zal ammonium niet omgezet worden in nitraat. Hierdoor ontstaan verhoogde niveaus van ammonium in deze wateren die leiden tot een hogere productiviteit van soorten die ammonium snel kunnen benutten en snel kunnen groeien (Brouwer et al. 1997; Roelofs et al. 1984; Schuurkes et al. 1986). Deze hogere productiviteit leidt tot ophoping van organisch materiaal en slib. Deze ophoping blijkt irreversibel te zijn: na afname van de depositie leidde dit in het geval van systemen die berekend waren met ammoniumsulfaat niet tot verdwijning van de sliblaag en niet tot herstel van de vegetatie (Brouwer et al. 1997). Soorten die ammonium snel kunnen benutten zijn in staat om zowel in het water als op de oever dichte vegetaties te vormen. In het water gaat het om veenmossen en sikkelmos (*Sphagnum* and *Drepanocladus*) en Knolrus (*Juncus bulbosus*). Op de oeverzones gaat het voornamelijk om Pijpestrootje (*Molinia caerulea*). Zodra deze planten overmatig gaan groeien, is er van een goed ontwikkeld habitatype geen sprake meer. Omdat de waterplanten van zeer zwak gebufferde vennen langzame groeiers zijn en overwegend nitraat gebruiken als stikstofbron, worden zij snel overwoekerd door voornoemde snelle groeiers (Brouwer et al. 1997; Schuurkes et al. 1986).

3.3 Fauna

Voor het leefgebied van de typische diersoorten geldt dat de effecten van stikstofdepositie via de volgende factoren doorwerken: fysiologische problemen. Een uitsplitsing van deze factoren naar de onderscheiden soorten is terug te vinden in de kenschets en een beschrijving van de specifieke factoren is terug te vinden in paragraaf 2.4 van Deel I.

Herstel van de buffercapaciteit (door afname van verzurende depositie en herstel van lokale hydrologie) en het verwijderen van organisch materiaal kan de fauna (deels) doen herstellen. Veel soorten kunnen baggerwerkzaamheden echter niet overleven indien hierbij in één keer het hele ven wordt opgeschoond (Van Kleef & Esselink 2004, Van Kleef et al. 2006). Het is niet vanzelfsprekend dat zij in staat zullen zijn terug te keren, als ze eenmaal zijn verdwenen.

4. Andere omstandigheden die de effecten van stikstofdepositie kunnen beïnvloeden

4.1 Omliggende vegetatie (heiden, graslanden en bossen)

De structuur van de vegetatie is van invloed op de hoeveelheid stikstof die vanuit de atmosfeer wordt ingevangen. Het inzigtgebied (lokale hydrologische voedingsgebied) van vele vennen is vooral in de periode 1850–1900 bebost met grove den (Arts et al. 1988). In sommige delen van Nederland vonden deze bebossingen plaats tot in de 20^e eeuw. Omdat dennenbossen verzurende stoffen uit de atmosfeer filteren, dragen zij bij aan waterverzuring en stikstofverrijking. Bebossing van het hydrologisch voedingsgebied van vennen heeft deze toevoer van stikstof verergerd. Via regenwater en toestromend, lokaal en jong grondwater wordt stikstof vanuit het inzigtgebied van een ven naar het ven getransporteerd. Het vrijstellen van vennen en het kappen van bos dragen bij aan een verminderde stikstofdepositie op veengebieden. Op deze wijze kan het beheer van omliggende gebieden bijdragen aan een vermindering van de invang van atmosferische depositie. Het lokale hydrologische voedingsgebied van een ven kan zich uitstrekken tot enkele honderden meters van de venoever. Ook kan het verwijderen van bos op de oever de bladinwaai verminderen en de windwerking herstellen. Hierdoor ontstaan soms spontaan weer kleine oppervlakten minerale bodems op geëxponerde plaatsen (Brouwer et al. 2009).

Vennen die alleen of in kleine groepjes in kleine heidegebieden geïsoleerd in het landschap gelegen zijn, staan het meest onder invloed van hun omgeving en daarmee het meest onder invloed van de eventuele extra invang van stikstof vanuit deze omgeving.

4.2 Verdroging

Het voornaamste effect van verdroging in zwak gebufferde vennen is de afname van de voeding met grondwater. In vennen betreft dit altijd lokaal grondwater. Dit kan leiden tot verzuring. Als gevolg van verminderde aanvoer van grondwater wordt ook minder ijzer en minder kooldioxide aangevoerd.

Zeer zwak gebufferde vennen worden van nature gekenmerkt door wisselende waterstanden. Grote delen van de oeverzone vallen in de zomer droog. Schotelvormige vennen kunnen zelfs geheel droog vallen. Deze mate van droogval is in algemene zin kortdurend en deze is in bepaalde opzichten gunstig voor het venecosysteem: mineralisatie van organisch materiaal dat op de bodem ligt wordt hierdoor bevorderd, organische laagjes drogen op en worden door de wind verspreid. Dit draagt bij aan een vermindering van de ophoping van organisch materiaal. Als gevolg van verdroging kan de mate waarin vennen droogvallen veranderen, bijv. vennen die eerst kortdurend gedeeltelijk droog vielen, vallen nu helemaal en ook langdurig droog. Hierdoor wordt het vochttekort groter, hetgeen leidt tot verschuiving in concurrentieverhoudingen en verschuivingen in soorten. Bovendien heeft volledige droogval negatieve effecten op de fauna. Ook wordt organisch materiaal in de hele wortelzone afgebroken en komen voedingsstoffen vrij. Hierdoor kan limitatie van voedingsstoffen in deze systemen worden opgeheven. Verdroging door ontwatering in het inzigtgebied van vennen kan ertoe leiden dat het peil in de winter niet meer maximaal wordt, waardoor de hogere oeverzone dichtgroeit en Waterlobelia en Oeverkruid overgroeid raken.

Als gevolg van droogval van vennen kunnen ook oxydatieprocessen optreden, zoals oxydatie van sulfiden tot sulfaat. In droge jaren of als gevolg van verdroging worden hierdoor sulfaat en H⁺ ionen gegenereerd waardoor de pH sterk daalt (Van Dam & Mertens 2004; 2008ab). Ook kunnen bij heftige regenval en bij afstroming over het verdroogde en verzuurde voedingsgebied van een ven incidenteel extreem lage pH-waarden optreden.

4.3 Afgenomen zwavel- en stikstofdepositie

Een groot deel van de achteruitgang van de levensgemeenschappen in zeer zwak gebufferde vennen is het gevolg van luchtverontreiniging: depositie van zwavel en stikstof. Na 1990 is de depositie van zwavel zeer sterk afgenomen en de depositie van stikstof in mindere mate. De verminderde depositie heeft tot gevolg gehad dat de concentraties van ammonium, nitraat, sulfaat en aluminium in deze vennen zijn afgenomen (Van Dam 1996, Brouwer et al. 1997, Van Kleef et al. 2010). Ook is de pH van zure vennen gemiddeld met bijna een halve eenheid gestegen. De stijging van de pH gaat gepaard met de stijging van de buffercapaciteit. Tussen de verschillende vennen bestaat echter een aanzienlijke variatie (Brouwer et al. 2009). De gehalten aan zwavel en stikstof zijn in de Noord-Nederlandse vennen aanzienlijk lager dan in Zuid-Nederland (Arts et al. 2002). De dikte van de sliblaag is echter in die periode nauwelijks veranderd. Kiezelwieren laten een aanzienlijk herstel zien als gevolg van de verbeterde waterkwaliteit. Echter venplanten herstellen zich nauwelijks, waarschijnlijk door de aanwezige sliblaag (Arts et al. 2001, Brouwer et al. 2009). Het opgang komen van afbraakprocessen in deze sliblaag (Van Kleef et al. 2010) heeft waarschijnlijk een negatieve invloed op bodembewonende fauna (Van Kleef 2010). Drijvende egelskop (*Sparganium angustifolium*) is in de periode 1991 – 2003 in drie vennen weer waargenomen (Bijkerk et al. 2004).

Herstelde zeer zwak gebufferde vennen waar in de negentiger jaren van de vorige eeuw kleine populaties van isoëtide waterplanten hebben overleefd, laten onder invloed van de afgenomen zuurdepositie weer een licht herstel van isoëtide waterplanten zien (Brouwer et al. 2009). Ook blijkt dat na verwijdering van organische sedimenten zeer zwak gebufferde vennen minder snel her-verzuren als gevolg van de afgenomen zuurdepositie. Volledig autonoom herstel ontbreekt echter nog, waardoor eenmalig ingrijpen ook voor zeer zwak gebufferde vennen nodig blijkt, te meer ook omdat het in het verleden opgehoopte stikstof en zwavel uit de sedimenten dient te worden verwijderd alvorens echt herstel kan optreden. Ook kunnen nog steeds tijdelijke maatregelen zoals de inlaat van gebufferd grondwater en eenmalige bekalking van de catchment noodzakelijk blijven.

De effecten van voormalige zwaveldepositie en andere sulfaatbelasting in dit habitattypen worden verder toegelicht in Intermezzo II van Deel I.

4.4 Klimaatverandering

Door stijging van de CO₂ concentratie kunnen concurrentieverhoudingen van isoëtiden verschuiven naar vederkruiden en bronmos (Spierenburg et al. 2009). Meer neerslag in de winter leidt tot een verhoogde aanvoer van stikstof. Door meer neerslag in de zomer vallen venoevers minder droog hetgeen mogelijk leidt tot mobilisatie van fosfaat en retentie van stikstof. Deze ontwikkelingen worden mogelijk tegengewerkt door een hogere frequentie van droogvallen.

5. Maatregelen tegen de effecten van stikstofdepositie

Voor meer gedetailleerde informatie over maatregelen tegen de effecten van stikstofdepositie wordt verwezen naar de Vennensleutel (onderdeel van de website www.natuurkennis.nl).

5.1 Hydrologisch herstel

Voor zeer zwak gebufferde vennen geldt dat herstel van de hydrologie een eerste vereiste is, daar waar deze niet meer de gewenste kwantiteit of kwaliteit heeft. Vennen zijn meestal onderdeel van de lokale hydrologie. Herstel van deze lokale hydrologie kan o.a. worden gerealiseerd door:

1. Omliggende dekzandruggen van bos te ontdoen, voor zover deze deel uitmaken van het inziggebied. Hierdoor kunnen de bomen geen water meer onttrekken en kunnen lokale grondwaterstromen zich herstellen. Ook wordt er minder stikstof aangevoerd naar het ven. Door omliggende dekzandruggen van bos te ontdoen, wordt tevens beschaduwing en bladinwaai verminderd.
2. Dempden of omleggen van ontwaterende, diepe leidingen in het inziggebied van het ven of het vennengebied. Ook ondiepe greppels in het voedingsgebied, die alleen in de winter af en toe water voeren, moeten zo veel mogelijk worden gedempt.
3. Aanvoer van oppervlaktewater met ongewenste waterkwaliteit stoppen. Echter, aanvoer van oppervlaktewater is soms juist vereist om bufferende stoffen toe te voeren naar het ven, mits dit oppervlaktewater van de juiste kwaliteit is, i.e. voedselarm en gebufferd (zie 5.3).

5.2 Afvoer van voedingsstoffen

5.2.1 Verwijdering organische sedimenten

In huidige zeer zwak gebufferde vennen verhinderen de veranderingen die in de toestand van vennen hebben plaats gevonden als gevolg van verzuring, zoals een lagere pH en de aanwezigheid van een sliblaag, de terugkeer van vegetaties van isoetide waterplanten. Actief beheer in de vorm van de verwijdering van organische sedimenten en eventuele aanvullende maatregelen tegen verzuring is momenteel de enige optie voor een spoedig herstel van de levensgemeenschap in verzuurde en vermeste vennen (Brouwer et al. 2009; Van Kleef 2010). De verwijdering van organische sedimenten is vaak ook gunstig voor herstel van de fauna (Van Kleef 2010), maar niet in alle gevallen (Ketelaar 2001).

Met de organische sedimenten worden opgehoopte nutriënten (stikstof, fosfaat, koolstof), zuur (gereduceerde zwavelverbindingen) en basische kationen (bufferstoffen) uit het systeem verwijderd. Belangrijk is dat afvoer van voedingsstoffen niet los kan worden gezien van herstel van de buffercapaciteit (5.3) en in combinatie dient te worden uitgevoerd. Zoals eerder aangegeven kunnen onder de huidige atmosferische depositie, waarin de zwaveldepositie sterk is afgenomen, de beoogde kwaliteiten in zeer zwak gebufferde vennen deels weer voorkomen, kunnen deze vennen langer in stand blijven, treedt herverzuring minder snel op en zijn herstelmaatregelen pas na meer dan 20 jaren weer nodig.

Een nadeel van de verwijdering van organische sedimenten is dat palaeoecologische waarden daarmee verloren kunnen gaan (Joosten et al. 1992; Hoek & Joosten 1995). Indien palaeoecologische waarden vooraf worden vermoed, dient vooronderzoek plaats te vinden.

In voorheen zeer zwak gebufferde en matig voedselarme vennen blijkt kleinschalige verwijdering van organisch materiaal ook voor Drijvende egelskop (*Sparganium angustifolium*) een effectieve maatregel te zijn om deze soort te doen terugkeren op plekken waar voldoende CO₂ via lokaal grondwater wordt aangevoerd (Van Dam & Arts 1993). Drijvende egelskop gebruikt namelijk CO₂ uit het poriewater als koolstofbron voor de fotosynthese (Lucassen et al. 2009).

Voor de fauna zou de verwijdering van organische sedimenten gefaseerd plaats moeten vinden om refugia te behouden ten behoeve van diersoorten die nog in de vennen voorkomen. (Brouwer et al. 2009; Ketelaar 2001; Van Kleef 2010; Van Kleef et al. 2001). Veel soorten macrofauna kunnen baggerwerkzaamheden niet overleven indien hierbij in één keer het hele ven wordt opgeschoond (Van Kleef & Esselink 2004; Van Kleef 2010). Voor de meeste planten van zeer zwak gebufferde vennen is dit niet erg aangezien zij langlevende zaden produceren. Echter veel nog aanwezige karakteristieke diersoorten verdwijnen en het is niet vanzelfsprekend dat zij in staat zullen zijn terug te keren (Brouwer et al. 2009, Van Kleef 2010). Bosman et al. (1999), Ketelaar (2001) en Van Kleef (2010) geven een aantal opties om te voorzien in de overleving van nog aanwezige soorten in geval van baggerwerkzaamheden:

- Fasering in de tijd en ruimte. Niet het hele ven en de oever in één keer opschonen, maar indien mogelijk een deel van het ven afscheiden en pas opschonen als het herstelde deel bevolkt is door dieren uit het niet-geschoonde deel. Ketelaar (2010) geeft als richtlijn om minimaal 10 % van de oever- en watervegetatie in stand te houden ten behoeve van de libellenpopulaties. Ook plaggen dient gefaseerd plaats te vinden, slechts 25 % per jaar wordt aanbevolen (Ketelaar 2010). Een richtlijn kan zijn dat verdere opschoning niet plaats vindt voordat in het herstelde vendeel een tijdspanne is verlopen van enkele malen de lengte van de levenscyclus van de belangrijkste aanwezige fauna taxa.
- Nat baggeren, het ven uit baggeren zonder het geheel droog te leggen; ook kan overwogen worden om niet over te gaan tot baggeren wanneer bijzondere libellensoorten aanwezig zijn (Ketelaar 2001);
- Werken met zo licht mogelijk materiaal;
- Tijdelijk opslaan van organisch materiaal op oevers, opdat grote en sterke dieren terug kunnen kruipen;
- Delen van de oorspronkelijke vegetatie sparen;
- Maatregelen uitvoeren op het moment dat een te sparen soort zich op het land bevindt;
- Zorgen voor herstel van de buffercapaciteit;
- In algemene zin kan gesteld worden dat gefaseerd te werk gaan, niet te rigoreus ingrijpen en enigszins 'slordig' werken – dat wil zeggen niet al het organisch materiaal verwijderen – richtlijnen zijn voor een faunavriendelijk venherstel (Brouwer et al. 2009; Van Kleef 2010; Ketelaar 2001).

Echter, om alle opgehoopte nutriënten en zuur te verwijderen is het juist niet aan te bevelen om gefaseerd organische sedimenten te verwijderen. Bij een gedeeltelijke verwijdering van deze sedimenten kan door herdistributie van achtergebleven organisch materiaal – vooral waar dit los slib betreft met een groot gehalte aan water – de water- en bodemkwaliteit ernstig te lijden hebben van zuur en voedingsstoffen die nageleverd worden vanuit deze restanten (Brouwer et al. 2009). Vanuit dit oogpunt wordt gefaseerd baggeren afgeraden in delen waar slib zich makkelijk kan herverdelen.

Het is ook belangrijk om organische sedimenten tot hoog op de oever te verwijderen teneinde een volledige zonering te kunnen herstellen van natte verlandingszones via vegetaties van natte heide naar vegetaties van droge heide. In natte en droge jaren kan de oeverzonering dan meeschuiven met de actuele vochtcondities en komt de bovenste oeverzone niet in de niet herstelde delen te liggen.

Alleen verwijdering van organische sedimenten is in sommige zeer zwak gebufferde vennen voldoende gebleken, maar niet in de sterkst verzuurde vennen (Brouwer et al. 2009). Er zijn voorbeelden van zeer zwak gebufferde vennen, waar na opschoning isoetiden (*Littorella uniflora* en/of *Lobelia dortmanna*) enkele jaren na herstel weer verdwenen en niet meer terug kwamen. Vòòr verwijdering van organische sedimenten dient te worden vastgesteld wat de mate van natuurlijke buffering is van het ven. De buffermechanismen van een ven vormen de belangrijkste sleutelfactor voor verzuring in zeer zwak gebufferde vennen. Wanneer deze onvoldoende zijn, of worden na maatregelen tegen eutrofiering, zullen aanvullende maatregelen dienen te worden genomen om (her)verzuring te voorkomen. Maatregelen die daarvoor in aanmerking komen zijn:

- bekalken van de catchment van vennen;
- aanvoer van gebufferd en voedingsstoffenarm grondwater;
- aanvoer van gebufferd en voedingsstoffenarm oppervlaktewater.

Deze maatregelen worden uitgebreid besproken door Brouwer et al. (2009). Deze auteurs hebben de effectiviteit van herstelmaatregelen in vennen onderzocht.

5.2.2 Maaien en plaggen

Met maaien en plaggen in vennen worden vooral de venoevers bedoeld. Dit beheer staat vooral ten dienste van een herstel van de oeverzone. Het gaat dan om herstel van vegetaties in natte heide op de venoever en om een herstel van de volledige zonering van natte verlandingszones via vegetaties van natte heide naar vegetaties van droge heide.

5.3 Herstel van de buffercapaciteit

In verzuurde vennen treedt herstel van de vegetatie na opschoning pas op als ook de buffercapaciteit wordt hersteld. Een klein deel van de zeer zwak gebufferde vennen blijkt na opschoning en onder de huidige atmosferische depositie voldoende buffercapaciteit te bezitten ($\pm 0,1$ meq/L). Veel vennen blijven echter zuur of verzuren na isolatie van gebufferd oppervlaktewater. Herstel van de waterhuishouding en herstel van lokale zwak gebufferde grondwatersystemen (lokale kwel) hebben de eerste prioriteit als het gaat om het herstel van de buffercapaciteit. Wanneer dit herstel van het hydrologisch systeem niet mogelijk is, kan worden uitgeweken naar deelmaatregelen die kunnen worden toegepast om herverzuring te voorkomen. Gedoseerde inlaat van gebufferd oppervlaktewater en bekalken van het inziggebied blijken effectieve maatregelen te zijn op de middellange termijn (Brouwer et al. 2010). Herstel van de buffering bevordert ook de stikstofverliezen naar de lucht en draagt zo in enige mate bij aan de bestrijding van de gevolgen van atmosferische stikstofdepositie.

Door Dorland et al. (2012) is gerekend aan de hoeveelheid extra kwel die nodig is om het verzurend effect van atmosferische stikstofdepositie te neutraliseren. Met behulp van de SWAP code zijn hierbij kwelfluxen over de onderrand van een 3m dik bodemprofiel (varierend van 0 tot 2 mm/d) en drie bodemtypen doorgerekend. In dit habitatype is kwel hydrologisch gedefinieerd als de grondwaterflux over de venbodem. De verhoging van de benodigde kwelflux bleek onder de gegeven modelrestricties lineair toe te nemen met de zuurdepositie, doordat de extra kwel

direct terechtkomt in het leefmilieu voor planten en dieren, de bodem of het venwater. Door deze lineaire relatie is de verhoging van de kwelflux niet afhankelijk van de huidige kwelflux (Dorland et al. 2012).

5.4 Vrijstellen inzigtgebied van bos

Naast afvoer van organische sedimenten uit de vennen zelf is het ook belangrijk organisch materiaal af te voeren van de oevers van de vennen en de oever weer mineraal te maken. Hierdoor wordt de gehele gradiënt in een zeer zwak gebufferd ven weer hersteld. Het vrijstellen van vennen en daarmee verwijderen van opslag en bos is hierbij tevens erg belangrijk. Het is altijd belangrijk om zeer zwak gebufferde vennen vrij te stellen door bos te kappen teneinde de invang van atmosferische depositie en de inwaai van blad te verminderen en de windwerking te vergroten.

6. Maatregelen gericht op functioneel herstel

In vennen zijn maatregelen die gericht zijn op functioneel herstel van deze systemen tevens maatregelen die de effecten van stikstofdepositie tegen gaan, omdat juist de atmosferische stikstofdepositie de grootste bedreiging vormt voor deze ecosystemen. Vandaar dat de maatregelen gericht op functioneel herstel al besproken zijn in paragraaf 5.

7. Maatregelen voor uitbreiding

Een maatregel die op verschillende plaatsen heeft geleid tot uitbreiding van het habitatype is het uitgraven van dichtgeschoven vennen of het uitgraven en herstellen van voormalige vennen op landbouwgrond. Een geschikt gebied hiervoor is de enclave tussen Bergvennen en Brecklenkamp. Ook het open maken van venlaagten die zijn dichtgegroeid of verland zijn, zou kunnen bijdragen aan uitbreiding van het habitatype. Dergelijke maatregelen zijn juist geschikt om uit te voeren in de verbindingzones tussen natuurresevaten met vennen.

Het vrijstellen van de oeverzone en het inzigtgebied van vennen, en het omvormen van bos naar stuifzand kan bijdragen aan herstel van de lokale hydrologie en daarmee aan uitbreiding van het habitatype. Dergelijke maatregelen zijn juist effectief in het inzigtgebied van zeer zwak gebufferde vennen die tot H3110 behoren.

Wanneer de juiste abiotische condities in vennen kunnen worden hersteld, maar de beschikbaarheid van levensvatbare diasporen de kritische factor vormen, kan ook overgegaan worden to het actief of passief inbrengen van zaden of planten en dieren.

8. Effectiviteit en duurzaamheid

Vennen kennen een herstelvaring van ongeveer 20–25 jaar. Vanuit dit gegeven blijkt dat er goede kansen zijn voor herstel gedurende die periode en mogelijk langer. Hoe frequent bij goed geslaagde herstelprojecten in vennen waar de depositie boven de kritische niveaus ligt, weer ingrepen noodzakelijk zijn, is nu nog niet te voorspellen. Door de opzet van een goed monitoringsprogramma zal daarin in de toekomst meer helderheid moeten worden geschapen (Brouwer et al. 2009). Door afnemende verzurende depositie heeft de waterchemie zich gedeeltelijk spontaan hersteld (Van Kleef 2010). Zo zijn stikstof, zwavel en aluminium concentraties afgenomen en is daarmee de toestand sterk verbeterd en zijn pH en alkaliniteit toegenomen (Brouwer et al. 2009; Van Kleef 2010; Van Dam & Mertens 2004; 2008ab). Troebelheid, opgelost organisch koolstof en fosfor nemen echter toe in zure vennen (Van Kleef 2010). Een toegenomen troebelheid van de waterlaag kan negatief uitwerken voor een optimale ontwikkeling van de vegetaties van waterplanten en de macrofauna, vooral in de wat diepere vennen.

Voor een effectief en duurzaam herstel van vennen, is zeer belangrijk om de maatregelen die onder paragraaf 5 zijn beschreven, in combinatie en als één pakket uit te voeren. De oever kan gefaseerd worden opgeschoond. Het aanbrengen van een dergelijke fasering is erg belangrijk voor de aanwezige fauna (Ketelaar 2001; Brouwer et al. 2009; Van Kleef 2010).

Jansen et al. (2010) vermelden dat de afvoer van nutriënten, al dan niet in combinatie met hydrologische herstelmaatregelen, zeer positief uitwerken op soorten als Oeverkruid, Drijvende waterweegbree, Vlottende bies, Moerashertshooi e.a. soorten. Ook de andere maatregelen die hier vermeld worden, worden voor de betreffende soorten bevestigd door Jansen et al. (2010).

Enkele mogelijke gevolgen voor vennen van de wijziging in milieu-omstandigheden die de afgelopen 20 jaar zijn opgetreden zijn stijging van de temperatuur, toename van de neerslag, toename van kooldioxide in de lucht, afname van de depositie van zwavel en stikstof en afname van de zuurdepositie. De afgenomen stikstof depositie heeft een duidelijk positief effect op de waterkwaliteit in vennen, maar nog altijd is er vooral in de winter en in het voorjaar sprake van verhoogde stikstofconcentraties als gevolg van atmosferische depositie en door uit- en afspoeling vanuit omliggende gronden (Brouwer et al. 2009).

In zeer zwak gebufferde vennen hebben herstelmaatregelen inmiddels een levensduur van 20 jaar en de verwachting is dat hier nog vele jaren bij zullen komen (Brouwer et al. 2009). De zaadbank blijft lang kiemkrachtig. Vanuit het oogpunt van de zaadbank en vanuit het oogpunt van de verminderde atmosferische depositie, zijn herstelmaatregelen in zeer zwak gebufferde vennen op de middellange termijn (10–25 jaar) zeer succesvol.

De samenvattende tabel voor zeer zwak gebufferde vennen zal vooral de maatregelen bespreken die zijn geëvalueerd door Brouwer et al. (2009). De maatregelen die in dit rapport zijn geëvalueerd, zijn verwijderen van sliblagen, plaggen en vrijstellen van oevers, bekalken van inziggebied van vennen en gecontroleerde inlaat van kalkrijk, voedselarm grond- of oppervlaktewater. Door de verminderde zuurdepositie en doordat de bodem van de verzuurde

vennen weer opgeladen raakt met calcium, zijn op de middellange termijn veel minder bufferstoffen nodig.

Als het voortbestaan van specifieke locaties met het voorkomen van de zeldzame typische (zogenaamde “urgente”) soorten Grote biesvaren (*Isoetes lacustris*) en Waterlobelia (*Lobelia dortmanna*) in hun voortbestaan bedreigd worden, kan het noodzakelijk zijn om aanvullend op de hierboven genoemde maatregelen specifieke maatregelen te treffen (Klimkowska et al. 2011).

9. Overzichtstabel

Deze overzichtstabel is bedoeld als ondersteuning bij de te nemen maatregelen uit paragraaf 5 en 6 en dient slechts samen met de tekst te worden toegepast.

maatregel	type	doel	potentiële effectiviteit	randvoorwaarden / succesfactoren	vooronderzoek	herhaalbaarheid	responstijd	mate van bewijs
Hydrologisch herstel	H/U	Herstel waterkwaliteit en waterkwantiteit	Groot	Eisen aan kwaliteit van het grondwater	LESA	Eenmalig	Even geduld	B
Verwijderen van organische sedimenten	H/U	Verwijdering voedingsstoffen en zuur	Groot	Rekening houdend met bodemreliëf en -opbouw en fauna; 1 x > 20 jr	Op standplaats	Eenmalig/ Beperkte duur	Direct (abiotisch), even geduld (biotisch)	B
Maaien, plaggen	H/U	Verwijdering voedingsstoffen	Groot	Rekening houdend met bodemreliëf, morfologie van het ven en fauna; 1 x > 20 jr	Op standplaats	Beperkte duur	Direct (abiotisch), even geduld (biotisch)	B
Vrijzetten venoevers	H/U	Verwijdering voedingsstoffen; Verminderen bladinwaai; vergroten windwerking; verlaging van invang atmosferische depositie	Groot	Rekening houdend met bodemreliëf, morfologie van het ven en fauna; 1 x > 20 jr	Op standplaats	Zo lang als nodig	Direct	B
Bekalken van inzigtgebied	H/U	Buffercapaciteit grondwaterstroom herstellen	Matig	Werkt alleen na opschoning en na bekalking van voldoende groot deel van het inzigtgebied; 1x10 jr	LESA	Eenmalig	Even geduld	B

Gedoseerde inlaat van gebufferd water	H/U	Herstel van gradienten in buffercapaciteit	Groot	Werkt alleen na opschoning	Op standplaats	Zo lang als nodig	Direct	B

Verklaring kolommen:

Maatregel: soort maatregel, corresponderend met informatie uit paragraaf 5 en 6

Type: H = herstelmaatregel, U = uitbreidingsmaatregel

Doel: beoogde effect van de maatregel (ten behoeve van behoud, herstel en/of uitbreiding)

Potentiële effectiviteit: klein/matig/groot. Effectiviteit van de maatregel (als regime) ten opzichte van andere maatregelen en gerelateerd aan het beoogde effect

Randvoorwaarden / succesfactoren: de belangrijkste randvoorwaarden en succesfactoren van de maatregel

Vooronderzoek: niet noodzakelijk, op standplaats (in het HT zelf of in de directe omgeving), LESA (LandschapsEcologische SysteemAnalyse: Van der Molen 2010).

Herhaalbaarheid: eenmalig (kan maar eenmalig worden uitgevoerd, bijv. dempen sloten); beperkte duur (bij intensivering gaan nadelen opwegen tegen voordelen) of zo lang als nodig (geen negatieve trade-off tussen intensiteit en effectiviteit. Kun je altijd mee doorgaan, geen negatieve gevolgen).

Responstijd: dit betreft het effect van de maatregel (regime): Direct (< 1 jr); Even geduld (1 tot 5 jr); Vertraagd (5 tot 10 jr); Lang (meer dan 10 jr).

Mate van bewijs:

B – Bewezen: de maatregel heeft onder de in de tekst gegeven voorwaarden (gebiedssituatie + manier van uitvoeren) met zekerheid het in de tekst beschreven positieve effect als hij in de praktijk wordt uitgevoerd. In de regel zal dat onderbouwd moeten zijn met (OBN-)literatuur, maar het kan eventueel ook met (nog niet eerder gepubliceerde) goed gedocumenteerde waarnemingen en o.a. OBN handleidingen.

V – Vuistregel: de maatregel kan onder de in de tekst gegeven voorwaarden (gebiedssituatie + manier van uitvoeren) in veel gevallen het in de tekst beschreven positieve effect hebben als hij in de praktijk wordt uitgevoerd, maar dat is niet zeker. Redenen voor de onzekerheid kunnen zijn dat uit monitoring is gebleken dat er ook (onverklaarde) mislukkingen zijn of dat de voorwaarden voor succesvol herstel nog niet goed bekend zijn.

H – Hypothese: door logisch nadenken is een maatregel geformuleerd die in de praktijk nog niet of nauwelijks is uitgetoetst, maar die in theorie effectief zou kunnen zijn. De aanleiding van de hypothese kan gelegen zijn in analogieën (de maatregel is een vuistregel of bewezen maatregel in een sterk verwant habitatype) of in processen waarvan we denken dat we ze goed begrijpen, maar die echter nog niet op praktijkschaal zijn getoetst.

10. Literatuur

- Arts, G.H.P. & A.J.P. Smolders 2008. Selectie van referentiepunten voor aquatische vegetatietypen voor het Staatsbosbeheer–project terreincondities. Alterra rapport 1803. Wageningen. In opdracht van Staatsbosbeheer.
- Arts, G.H.P. 2002. Deterioration of Atlantic soft–water macrophyte communities by acidification, eutrophication and alkalinisation. *Aquatic Botany* 1566: 1–21.
- Arts, G.H.P., G. van der Velde, J.G.M. Roelofs & C.A.M. van Swaay 1990a. Successional changes in the soft–water macrophyte vegetation of (sub)atlantic, sandy, lowland regions during this century. *Freshwater Biology* 24: 287–294.
- Arts, G.H.P., H. van Dam, F.G. Wortelboer, P.W.M. van Beers & J.D.M. Belgers 2002. De toestand van het Nederlandse ven. Alterra–rapport 542, AquaSense–rapport 02.1715. Alterra, Wageningen / AquaSense, Amsterdam / RIVM, Bilthoven. 123p.
- Arts, G.H.P., J.G.M. Roelofs & M.J.H. de Lyon 1990b. Differential tolerances among soft–water macrophyte species to acidification. *Can. J. Bot.* 68: 2127–2134.
- Arts, G.H.P., J.H.J. Schaminée & P.J.J. van den Munckhof 1988. Human impact on origin, deterioration and maintenance of *Littorelletalia*–communities. In: Proc 5th Symposium on Synanthropic Flora and Vegetation (Chief Ed. M. Zaliberová), Martin, Czechoslovakia, 22–27 August 1988, p. 11–18.
- Arts, G.H.P., P.W.M. van Beers, J.D.M. Belgers & F.G. Wortelboer 2001. Gedifferentieerde normstelling voor nutriënten in vennen: onderbouwing en toetsing van kritische depositieniveaus en effecten van herstelmaatregelen op het voorkomen van isoetiden. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Alterra–rapport 262. 88 pp.
- Bijkerk, R., G.J. Berg & A.M.T. Joosten 2004 Drentse vennen door de jaren heen. Onderzoek naar de ecologische veranderingen in Drentse vennen tot 2003. Rapport KENB2004032. In opdracht van de Provincie Drenthe.
- Bobbink, R. & J.P. Hettelingh (eds) 2011. Review and revision of empirical critical loads and dose–response relationships. Proceedings of an expert workshop, Noordwijkerhout, 23–25 June 2010. RIVM rapport 680359002, 244p.
- Bosman, W., C. van Turnhout & H. Esselink 1999. Effecten van herstelmaatregelen op diersoorten: "Eerste versie van Standaard Meetprotocol Fauna (SMPF) en Richtlijnenprogramma Uitvoering Herstelmaatregelen Fauna (RUHF)". Rapport stichting Bargerveen, Nijmegen.
- Brouwer, E., Bobbink, R., Meeuwsen, F. & J.G.M. Roelofs 1997. Recovery from acidification in aquatic mesocosms after reducing ammonium– and sulphate deposition. *Aquatic Botany* 56: 119–130.
- Brouwer, E., H. van Kleef, H. van Dam, J. Loermans, G. Arts & D. Belgers 2009. Effectiviteit van herstelbeheer in vennen en duinplassen op de middellange termijn. Directie Kennis en Innovatie nr. 2009/DKI 126–O.
- Dorland, E., A. van Loon, Y. Fujita, M. Jalink & G. Cirkel 2012. Kwantificering processen ten behoeve van herstelstrategieen Programmatische Aanpak Stikstof – Deel II. KWR 2012.020.
- Hoek, W.Z. & J.H.J. Joosten 1995. Pingo–ruines en kalkgyttja in het Weerterbos. *Natuurhistorisch Maandblad* 84: 234–241.
- Jansen, A.J.M., R.M. Bekker, R. Bobbink, J.H. Bouwman, R. Loeb, H. van Dobben, G.A. van Duinen & M.F. Wallis de Vries 2010. De effectiviteit van de regeling Effectgerichte Maatregelen (EGM) voor Rode–lijstsoorten. *De tweede Rode Lijst met Groene Stip voor vaatplanten en enkele*

- diergroepen in Nederland*. Rapport Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Rapport DKI nr. 2010/dk137-O, Ede. 222 pp.
- Joosten, J.H.J., J.A.A. Bos & H. van Dam 1992. Palaeo-ecologisch onderzoek aan oude en recente afzettingen in het ven "De Banen" (gemeente Nederweert). Laboratorium voor Palaeobotanie en Palynologie, Utrecht, 28 p. + bijlagen.
- Ketelaar, R. 2010. Recovery and further protection of rheophilic Odonata in the Netherlands and North Rhine- Westphalia 12: 38-49.
- Ketelaar, R. 2001. Verspreidingsgegevens van libellen als instrument bij het herstel van vennen. *De Levende Natuur* 102: 166-170.
- Klimkowska, A., H. Keizer-Vlek, M. Wallis de Vries, R.J. Bijlsma, A. Schotman & H. van Dobben 2011, in prep.. Urgente maatregelen tot behoud van bedreigde typische soorten en vegetatietypen van de Habitatrictlijn. Alterra-rapport.
- Lucassen, C.H.E.T., P. Spierenburg, R.G.A. Fraaije, A.J.P. Smolders & J.G.M. Roelofs 2009. Alkalinity generation and sediment CO₂ uptake influence establishment of *Sparganium angustifolium* in softwater lakes. *Freshwater Biology* 54: 2300-2314.
- Roelofs, J.G.M., Schuurkes, J.A.A.R. & A.J.M. Smits 1984. Impact of acidification and eutrophication on macrophyte communities in soft waters. II Experimental studies. *Aquatic Botany* 18: 389-411.
- Runhaar, H., M.H. Jalink, H. Hunneman, J.P.M. Witte & S.M. Hennekens 2009. Ecologische vereisten habitattypen. KWR 09-018, 45 pp.
- Schaminée, J.H.J., E.J. Weeda & V. Westhoff. 1995. *De Vegetatie van Nederland deel 2. Wateren, moerassen en natte heiden*. Opulus press, Uppsala/Leiden.
- Schuurkes, J.A.A.R., C.J. Kok & C. Den Hartog 1986. Ammonium and nitrate uptake by aquatic plants from poorly buffered and acidified waters. *Aquatic Botany* 24: 131-146.
- Spierenburg, P., E.C.H.E.T. Lucassen & A.F. Lotter 2009. Could rising aquatic carbon dioxide concentrations favour the invasion of elodeids in isoetid-dominated softwater lakes? *Freshwater Biology* 54: 1819-1831.
- Van Dam, H. & G.H.P. Arts 1993. Ecologische veranderingen in Drentse vennen sinds 1900 door menselijke beïnvloeding en beheer. Rapport IBN-DLO, Grontmij en Zuiveringschap Drenthe in opdracht van Provincie Drenthe. 68 pp + Bijlagen.
- Van Dam, H. 1996. Partial recovery of moorland pools from acidification: indications by chemistry and diatoms. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 30: 203-218.
- Van Dam, H. & A. Mertens 2004. Vennen in weer en wind: lange-termijneffecten van verzuring en klimaatsverandering op chemie en kiezelwieren. *De Levende Natuur* 105: 13-18.
- Van Dam, H. & A. Mertens 2008a. Monitoring van vennen 1978-2006: effecten van klimaatverandering en vermindering van verzuring. Rapport 202542, Grontmij | AquaSense / Rapport 606, Herman van Dam, Adviseur Water en Natuur, Amsterdam. 100p. + bijl.
- Van Dam, H. & A. Mertens 2008b. Vennen minder zuur maar warmer. *H2O* 41: 36-39.
- Van Dobben, H.F., R. Bobbink, A. van Hinsberg & D. Bal 2012. Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura 2000. Alterra-rapport, Wageningen.
- Van Kleef, H. & H. Esselink 2004. Analyse van de effecten van herstelmaatregelen op watermacrofauna in zwakgebufferde oppervlaktewateren. Een vergelijkend onderzoek in vier vennen waar herstelmaatregelen zijn uitgevoerd. Rapport EC-LNV, Ede.
- Van Kleef, H. 2010. Identifying and crossing thresholds in managing moorland pool macro-invertebrates. Proefschrift RU, Nijmegen. 147 pp.

- Van Kleef, H.H., E. Brouwer, R.S.E.W. Leuven, H. van Dam, A. De Vries-Brock, G. van der Velde & H. Esselink 2010. Effects of reduced nitrogen and sulphur deposition on the water chemistry of moorland pools. *Environmental Pollution* 158: 2679–2685.
- Van Kleef, H.H. G.A. van Duinen, W.C.E.P. Verberk, H. Esselink, R.S.E.W. Leuven & G. van der Velde 2006. Biological traits successfully predict the effects of restoration management on macroinvertebrates in shallow softwater lakes. *Hydrobiologia* 565: 201–216.
- Van Kleef, H.H., R.S.E.W. Leuven & H. Esselink 2001. Herstelbeheer in vennen: macrofauna in gevaar? *De Levende Natuur* 102: 171–172.
- www.natuurkennis.nl. Website Ontwikkeling + Beheer Natuurkwaliteit. Vennensleutel, 17-05-06.