

# Herstelstrategie H21 90C: Vochtige duinvalleien (ontkalkt)

Grootjans, A.P., A.S. Adams, H.P.J. Huiskes & 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 hele habitatype. Weggelaten zijn alinea's die specifiek over andere subtypen gaan dan het subtype van deze herstelstrategie.

Het habitatype vochtige duinvalleien is veelomvattend: het betreft open water, vochtige graslanden, lage moerasvegetaties en rietlanden, alle voorzover voorkomend in (min of meer natuurlijke) laagten in de duinen. Buiten de duinen worden alleen de in het overige kustgebied voorkomende min of meer grazige vormen tot het habitatype gerekend<sup>1</sup>. Mede door de grote ecologische variatie is het aantal kenmerkende soorten zeer groot.

Het gaat om relatief jonge successiestadia. Begroeiingen van oudere (al of niet verdroogde) successiestadia in duinvalleien behoren tot andere habitatypen, bijvoorbeeld vochtige duinheide met Kraahei (H2140), duinstruwelen (H2160 of H2170), duinbossen (H2180) en vochtige heischrale graslanden (H6230). Ook in cultuur gebrachte valleien (bijvoorbeeld begroeid met blauwgraslanden, H6410) worden niet tot het habitatype gerekend.

Vochtige duinvalleien kunnen van nature op twee manieren ontstaan. Primaire duinvalleien ontstaan doordat strandvlakten door duinen worden afgesnoerd van zee. Secundaire duinvalleien ontstaan in het kielzog van mobiele duinen, maar tegenwoordig alleen nog doordat stuifkuilen uitstuiven tot op het grondwaterniveau. Daarnaast kunnen vochtige duinvalleien worden ontwikkeld door inrichtingsmaatregelen<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Reden hiervoor is dat de levensgemeenschappen van het open water en van hogere moerasvegetaties (subtype A en D) weinig specifiek zijn. De door grassen en schijngrassen gedomineerde vormen (subtype B en C) zijn echter wel heel specifiek: begroeiingen elders in het kustgebied worden daarom tot dit habitatype gerekend. Ze hebben zich tot dit habitatype ontwikkeld na bedijking van zeearmen.

Door de vertraagde reactie van de zoetwaterbel op de neerslag wijkt de grondwaterdynamiek in duinen nogal af van die in het binnenland. Er kunnen jaren achtereenvolgend optreden waarin (grond)waterstanden ver boven, of juist onder het gemiddelde niveau liggen. Deze dynamiek is op zich gunstig voor de instandhouding van open vegetaties waarin ook ruimte is voor concurrentiegevoelige pioniersoorten. Het vormt echter een risico voor het voortbestaan van soorten die slechts in een kleine populatie voorkomen. Voorwaarde voor de instandhouding van de soortenrijkdom is daarom dat er voldoende ruimte is voor soorten om te 'pendelen'. Daarvoor moet binnen de valleien zelf en binnen het duingebied als geheel voldoende variatie aanwezig zijn, met gradiënten die idealiter lopen van open water tot droog duin.

Binnen vochtige duinvalleien bestaat een grote variatie aan standplaatscondities, afhankelijk van ontstaansgeschiedenis, leeftijd, waterregime en kalkgehalte van de bodem of het kwelwater. Om die reden zijn de vochtige duinvalleien in een aantal subtypen opgesplitst. Waterdiepte, vegetatiestructuur en kalkgehalte zijn bepalend voor de verschillen tussen de subtypen.

Subtypen:

#### **H2190\_C Vochtige duinvalleien (ontkalkt)**

Net als bij de kalkrijke vochtige valleien worden de kalkarme vochtige valleien gekenmerkt door natte omstandigheden met waterstanden boven maaiveld in winter en voorjaar. Anders dan bij het kalkrijke subtype lijken permanent natte omstandigheden minder een probleem te vormen, waarschijnlijk doordat onder zuurdere omstandigheden minder snel hoogproductieve moerasvegetaties ontstaan. Een soort als de Moerasgamander is echter juist gebaat bij permanent natte omstandigheden. Onderscheidend ten opzichte van kalkrijke vochtige duinvalleien is de geringere basenrijkdom en de lagere pH.

De vegetatie van dit type duinvalleien wordt gekenmerkt door een dominantie van kleine zeggen (Zwarte zegge en Drienerfzegge, niet zelden met hybriden tussen beide soorten). Deze vegetaties verdragen langdurige inundaties met zoet oppervlaktewater. Ze ontwikkelen zich uit pioniervegetaties met Oeverkruid (*Littorella uniflora*) en soms ook uit het bovengenoemde kalkrijke type met Knopbiezen. De bodem van het ontkalkte type bevat veel organische stof en omdat in dit zure type de aanvoer van baserijk grondwater niet voldoende is om de pH te bufferen, is de pH altijd lager dan 6 (meestal tussen 4 en 5 (Sival & Grootjans 1996)).

In de Vochtige duinvalleien (kalkarm) komen tien soorten voor van de Vogelrichtlijn waarvoor de stikstofgevoeligheid van het type een probleem kan vormen voor de kwaliteit van het leefgebied. Daarnaast is er één typische diersoort (tevens Vogelrichtlijnsoort) 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	status	belang en functie	N-gevoeligheid van leefgebied	effecten van stikstofdepositie
Vogels	Blauwe kiekendief	VR	Groot: foerageer- en voortplantingsgebied	Ja	Afname van prooibeschikbaarheid (6)

Soortgroep	VHR-soort	status	belang en functie	N-gevoeligheid van leefgebied	effecten van stikstofdepositie
Vogels	Bontbekplevier	VR	Klein: foerageer- en voortplantingsgebied	Mogelijk	Afname nestgelegenheid (2) en afname prooibesikbaarheid (6)
Vogels	Bruine kiekendief	VR	Klein: foerageergebied	Ja	Afname prooibesikbaarheid (6)
Vogels	Grauwe kiekendief	VR	Groot: foerageer- en voortplantingsgebied	Ja	Afname prooibesikbaarheid (6)
Vogels	Grauwe klauwier	VR	Klein: foerageer- en voortplantingsgebied	Ja	Afname prooibesikbaarheid (6)
Vogels	Paapje	VR	Groot: foerageer- en voortplantingsgebied	Ja	Afname prooibesikbaarheid (6)
Vogels	Tureluur	VR	Klein: foerageergebied	Mogelijk	Koeler en vochtiger microklimaat (1) + afname prooibesikbaarheid (6)
Vogels	Velduil	VR	Groot: foerageer- en voortplantingsgebied	Ja	Afname prooibesikbaarheid (6)
Vogels	Visdief	VR	Klein: foerageergebied	Mogelijk	Afname prooibesikbaarheid (6)
Vogels	Watersnip	VR	Klein: foerageer- en voortplantingsgebied	ja	Afname prooibesikbaarheid (6)

Soortgroep	Typische soort	Belang en functie	N-gevoeligheid van leefgebied	effecten van stikstofdepositie
Vogels	Paapje	Groot: foerageer- en voortplantingsgebied	ja	Afname prooibesikbaarheid (6)

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/habitattypen/profiel\\_habitatype\\_2190.pdf](http://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/documenten/profielen/habitattypen/profiel_habitatype_2190.pdf)).

De herstelstrategieën zijn gericht op de subtypen A tot en met C. Het vierde subtype, vochtige duinvalleien met hoge moerasplanten, wordt niet tot nauwelijks gevoelig geacht voor stikstofdepositie (een KDW > 2400 mol N/ha/jr) (Van Dobben & Van Hinsberg 2008).

## 2. Ecologische randvoorwaarden

Voor de abiotische randvoorwaarden (Runhaar et al. 2009) wordt uitgegaan van de omstandigheden van de Associatie van Drienvrige en Zwarte zegge (09Aa01) aangevuld met zes minder kenmerkende gemeenschappen, te weten de typische subassociatie van de Associatie van

Moerasstruisgras en Zompzegge (09Aa03A), twee subassociaties van de Associatie van Kraaihei en Gewone dophei (subassociatie met Riet en subassociatie met Broedkelkje (11Aa03AB; [Schaminee et al. 1995](#)) en drie SBB typen (Associatie van Kraaihei en Gewone dophei, RG Snavelzegge –Wateraardbei en RG Waterdrieblad (SBB–11A3c, SBB–09–f en SBB–09B–b)).

## 2.1 Zuurgraad

De ontkalkte duinvalleien (subtype C) komen optimaal voor op matig tot zwak zure bodems met een pH (H<sub>2</sub>O) van 4,5 tot 6,5, met een aanvullend bereik van 0,5 eenheid naar zowel de zure als de basische kant met minder goed ontwikkelde vormen. De vegetaties met Kraaihei en Gewone dophei zitten aan de matig zure kant, de vegetaties behorende tot het Zwarte zeggeverbond komen voor over de hele breedte ([Runhaar et al. 2009](#)).

## 2.2 Voedselrijkdom

Standplaatsen van ontkalkte duinvalleien van subtype C zijn matig voedselarm tot matig voedselrijk, met minder goed ontwikkelde vormen in zeer voedselarme milieus. De vegetaties van het Zwarte zeggeverbond zijn iets voedselrijker dan de vegetaties met Kraaihei en Dophei ([Runhaar et al. 2009](#)).

## 2.3 Vochttoestand

De ontkalkte duinvalleien behorend tot subtype C komen voor in situaties die 's winters onder water staan tot vochtige omstandigheden (gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand dieper dan 40 cm onder maaiveld en minder dan 14 dagen droogtestress), met minder goed ontwikkeld voorkomen op matig droge standplaatsen (14–32 dagen droogtestress) en in droogvallend ondiep water (max. 50 cm). De vegetaties behorend tot het zwarte zeggeverbond komen voor aan de natste kant en kunnen 's winters meer of minder ver onder water staan. In vegetaties met Kraaihei en Dophei komt het water ook in de winter niet boven het maaiveld ([Runhaar et al. 2009](#)).

De ontkalkte duinvalleien komen optimaal voor als ze niet overstroomd worden door zeewater, alleen de vegetaties van het zwarte zeggeverbond kunnen er tegen, maar die zijn dan niet optimaal ontwikkeld ([Runhaar et al. 2009](#)).

## 2.4 Landschapsecologische processen

De soortenrijkdom van een typische duinvallei die nog in een pionierstadium verkeert is zeer groot. Dit komt vooral door de grote variatie in habitattypen die in de duinvalleigradiënten voorkomen. Niet alleen is er een gradiënt van nat naar droog, maar ook een, deels overlappende, gradiënt van basisch naar zuur. Tenslotte is er ook vaak een gradiënt in de tijd aanwezig binnen een vallei. Verschillende successiestadia kunnen lang naast elkaar blijven bestaan omdat in sommige delen van de gradiënt de stapeling van organisch materiaal snel verloopt en in andere delen heel langzaam. Valleien kunnen in een reeks van jaren met veel neerslag, niet droogvallen, hetgeen voor veel soorten wel een noodzaak is om te overleven. Met name als in de winter er veel neerslag is gevallen, kan intensieve neerslag in de zomer er toe leiden dat de vallei een paar jaar achtereen niet droogvalt. Voor bedreigde populaties is het dan noodzakelijk dat ze uit kunnen wijken naar hogere delen; ze moeten als het ware kunnen pendelen langs de gradiënt.

Zie ook de informatie uit de landschapsdoorsneden in het Natte duinlandschap (Deel III).

## 2.5 Regulier beheer

Duinvalleien maken onderdeel uit van een lange successiereeks in de duinen. Vooral de vroege successiestadia kunnen zeer lang stand houden zonder beheer. Voor ontstaan en voortbestaan op lange termijn is het habitatype afhankelijk van klein- of grootschalige duindynamiek vooral in de vorm van verstuing. Ook als de hydrologie in de vallei op orde is verloopt de successie zeer langzaam. In min of meer gefixeerde situaties kan maaien of begrazing de successie naar duinbos vertragen. Hetzelfde kan uiteraard ook worden bewerkstelligd door het kappen van bomen en struiken zodra die het lichtbehoefte habitatype bedreigen.

Veel duinvalleien worden in de begrazing van de rest van het duingebied meegenomen. Van oorsprong wordt echter op veel plekken geen specifiek beheer gevoerd ten behoeve van dit habitatype en vormt zij integraal onderdeel van min of meer natuurlijke duinsystemen. De begrazing door konijnen was van oorsprong vaak al voldoende.

## 3. Effecten van stikstofdepositie

Modelmatig is de kritische depositiewaarde op 1071 N/ha/jaar (15 N/ha/jaar) vastgesteld. Bij de berekening is alleen gebruik gemaakt van de Associatie van Drienervege zeggen en Zwarte zegge. Het hier gepresenteerde getal is gebaseerd op de bovenkant van de empirische deeltree, gelet op de gemiddelde modeluitkomst. De empirische range loopt van 10 tot 25 kg N/ha/jaar voor moist to wet dune slacks (B1.8) Deze empirische waarde is ingeschat met expert kennis (Van Dobben et al. 2012; Bobbink et al. 2003; Bobbink & Hettelingh 2011).

### 3.1 Verzuring

De hogere atmosferische depositie van zuur en N in de afgelopen decennia heeft in de hoger gelegen infiltratiegebieden geleid tot een aantal (soms irreversibele) veranderingen in de bodem, zoals versnelde ontkalking, verzuring, en oplossing van calciumfosfaat (Kooijman et al. 2009; Stuyfzand 2010). In valleien heeft de hogere depositie vooral geleid tot een versnelde ophoping van organische stof in en op de bodem. Vooral in het kalkarme Wadden District heeft dit laatste ertoe geleid dat in de opgehoogde bodem buffering van baserijk grondwater minder effectief is geworden (Sival & Grootjans 1996) en dat zwakgebufferde kalkarme duinvalleivegetaties nog sneller verzuren dan voorheen.

In kalkarme systemen met een matig sterke voeding van matig baserijk grondwater is een laag organisch stofgehalte noodzakelijk voor het handhaven van zwak zure omstandigheden. Een toename van het organisch stofgehalte leidt tot verdere verzuring en een verminderde afbraak van organisch materiaal. In tegenstelling tot veenvormende systemen die gevonden zijn bij het type van kalkrijke valleien neemt de hoeveelheid organische stof niet toe tot hele hoge waarden, maar stabiliseert in de bodem tot een niveau, waarbij opbouw en afbraak in evenwicht zijn. Zure valleien vallen namelijk regelmatig droog, waarbij een deel van de organische stof weer wordt afgebroken.

### 3.2 Vermesting

In zure valleien die vooral door neerslag gevoed worden, verloopt de afbraak van organisch materiaal minder goed, zodat al snel een laag organische stof in de bodem ontstaat. Wanneer zo'n vallei droogvalt en er zuurstof in de bodem dringt, zijn er meer voedingsstoffen beschikbaar

en verliezen de laagproductieve pioniersoorten de competitie van soorten van latere successiestadia. Behalve dat de successie ter plaatse van de duinvallei wordt versneld door verrijking door verhoogde atmosferische N-depositie, is een ander effect van N-depositie dat de vegetatie van de omliggende infiltratiegebieden wordt bemest en daardoor harder gaat groeien (Nijssen et al. 2001). Door deze vergrassing en verbossing wordt er in de infiltratiegebieden meer water verdampt (Bakker et al. 1979), waardoor de aanvoer van grondwater naar de valleien afneemt. Dit effect speelt vooral in de kalkarme duinen van het wadden District die gevoeliger zijn voor verzurende en vermestende effecten van atmosferische N-depositie (Kooijman & Besse 2002).

Zure stadia met relatief veel organische stof in en op de bodem zijn meestal stikstof gelimiteerd (Lammerts et al. 1999). Indien in zo'n vallei struiken, zoals Kruiwilg (*Salix repens*) gaan overheersen of andere houtachtige gewassen, wordt de vegetatiegroei niet langer door de beschikbaarheid van voedingsstoffen maar door licht gelimiteerd. Lammerts et al. (1999) troffen in oudere zure stadia gedomineerd door Kruiwilg en Grote veenbes (*Vaccinium macrocarpon*) een hoge beschikbaarheid van mineraal fosfaat. Bij organische stofgehalten boven de 3% is een steeds groter deel van het ijzer geïncorporeerd in Fe-organische stof complexen, wat zorgt voor een veel lossere binding met P, en een hogere P-beschikbaarheid voor de vegetatie (Kooijman et al. 2009). Daarnaast wordt fosfaat dat door mineralisatie van het organisch materiaal vrijkomt in oudere en zuurdere successiestadia ook niet meer vastgelegd als calciumfosfaat. Het resultaat is dan ook dat veel van het beschikbare fosfaat niet meer door de vegetatie wordt opgenomen. Iets jongere stadia met duinriet lijken wel te kunnen profiteren van een hogere fosfaatbeschikbaarheid na verzuring. Vegetaties gedomineerd door Duinriet kunnen daarom een hoge productie aan biomassa realiseren.

Door een verhoogde atmosferische N-depositie kunnen veel typische duinvalleisoorten zich minder lang handhaven in door duinriet gedomineerde stadia en moeten om deze soorten toch te behouden eerder herstelmaatregelen worden uitgevoerd.

### 3.3 Fauna

Voor het leefgebied van de VHR en/of typische diersoorten geldt dat de effecten van stikstofdepositie via de volgende factoren doorwerkt: koeler en vochtiger microklimaat, afname nestgelegenheid en afname prooibeschikbaarheid. 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.

## 4. Andere omstandigheden die de effecten van stikstof-depositie beïnvloeden

### 4.1 Dynamiek van het kuststelsysteem

Als gevolg van het dynamische karakter van duinsystemen (zoals bijvoorbeeld de afsnoering van een nieuwe primaire duinvallei) kan de hydrologie van een duinsysteem dusdanig veranderen dat oorspronkelijk brakke duinvalleien verzoeten of dat door kustuitbreiding de grondwaterstand in de achterliggende duinen wordt verhoogd (Bakker et al. 1979; Stuyfzand 1993; Stuyfzand et al. 2010a). Ook door de verminderde mogelijkheid om neerslagwater af te voeren, kunnen vooral in het Renodunale district duinvalleivegetaties 'verdrinken' (Westhoff & Van Oosten 1991) en

overgaan in een duinmeertje (H2190A). Ook kan, vooral in het Waddendistrict, een ontkalkte vochtige duinvallei (H2190C) ontstaan uit een kalkrijke duinvallei. Omgekeerd kunnen kalkrijke duinvegetaties door kustafslag verdrogen en versneld verzuigen. Dergelijke processen kunnen gezien worden als de natuurlijke successie, na optreden van veranderingen op systeemniveau als gevolg van het dynamische karakter van het kuststelsel. Wanneer deze processen gepaard gaan met de vorming van nieuwe pioniergemeenschappen is het voortbestaan van (kalkrijke) vochtige duinvalleien niet bedreigd.

Zandsuppleties kunnen bijdragen aan verrijking van ontkalkte duinvalleien met kalk en nutriënten, zodat het risico op eutrofiëringsverschijnselen toeneemt. Gesuppleerd zand blijkt doorgaans onder andere meer kalk en P en een lagere C/N-verhouding te hebben (Stuyfzand et al. 2010b).

#### 4.2 Spontane successie

Aan de binnenduinrand zijn duinvalleien onderhevig aan natuurlijke veroudering. Door een lagere kweldruk treedt droogvallen frequenter op. In perioden van droogvallen leidt inzijging van regenwater tot het uitspoelen van basen en treedt onder natuurlijke omstandigheden verzuring op. De hoogte van de basenverzadiging van het lokale grondwater is van invloed op de snelheid waarop deze verzuring optreedt. In dit type treedt een snelle stapeling van organisch materiaal op. In het verleden is successie in deze valleien vaak vertraagd door het agrarisch gebruik. Door te maaien werd de strooiselopbouw beperkt, bovendien werden ze verjongd door het periodiek afplaggen van het opgestapelde organisch materiaal. Verzuring leidt uiteindelijk tot een ontwikkeling naar wilgenbroekbos. Wanneer voldoende basenrijkdom aanwezig is, leidt het tot ontwikkeling naar elzenbroekbos.

#### 4.3 Hydrodynamiek

Zwak gebufferde systemen zijn ook gevoelig voor meteorologische fluctuaties. In extreme jaren slaat de verzuring toe en in jaren met een meer dan normaal neerslagoverschot blijft herstel van de basenrijkdom uit (Grootjans et al. 1991). Afhankelijk van het type hydrologisch proces zijn extreem natte jaren of juist extreem droge jaren aldus de start van verdere degradatie van de basenrijke toestand. Hoe en wanneer perioden met afwijkend neerslagpatroon doorwerken is afhankelijk van de lokale hydrologische processen die voor buffering van de zuurgraad zorgen (Aggenbach & Jansen 2004).

Bij een laag organisch stofgehalte kan de pH onder gunstige hydrologische condities zich beter herstellen dan bij een hoog organisch stofgehalte. Dit geldt voor duinvalleien die in de zomer langere tijd droogvallen. Een dikke organische laag (>10cm) gaat dan mineraliseren en voorziet snelgroeiende planten dan van voldoende voedingsstoffen. Natte jaren met hoge grondwaterstanden in de omliggende duinen zijn gunstig voor de buffering van de zuurgraad in jonge (of geplagde) valleien. Door de hoge grondwaterstanden kan dan meer basenrijk grondwater worden aangevoerd. De pH neemt dan toe in de toplaag van de bodem. In oudere stadia met veel organisch materiaal treedt een pH stijging in natte jaren niet op (Aggenbach & Jansen 2004).

#### 4.4 Ontoereikend regulier beheer

Wanneer het organische stofgehalte te hoog wordt, gaan grassen als Duinriet overheersen, evenals houtige wilgenstruikjes die later tot struwelen kunnen uitgroeien. Ontoereikend regulier beheer wordt niet apart onder paragraaf 5 of 6 behandeld.

#### 4.5 Voormalige zwaveldepositie en andere sulfaatbelasting

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

## 5. Maatregelen tegen de effecten van stikstofdepositie

De belangrijkste aanbeveling is om de mechanismen voor P-fixatie in de bodem zoveel mogelijk te benutten. Als er aanvoer van basenrijk (grond)water aanwezig is, moet dat behouden blijven. Als de duinen ijzerrijk zijn, is het belangrijk ervoor te zorgen dat er zo min mogelijk organische stof in de bodem zit, door te plaggen en verstuiving toe te staan (Kooijman et al. 2009).

### 5.1 Extra maaien en begrazing

Door het wegvallen van zoals uitstuiving, aangroei en dergelijk is beheer ten behoeve van behoud noodzakelijk geworden, behalve in vroegste successiestadia. Om verbossing en struweelvorming te voorkomen kan worden gemaaid (met afvoeren) of kunnen de valleien worden begraasd.

Maaien en afvoeren van de vegetatie van vochtige duinvalleien is een noodzakelijke maatregel, die de stapeling van organisch materiaal wel kan remmen, maar niet volledig tegenhouden.

Begrazing kan ook ingezet worden, dit heeft echter een geringere invloed op de strooiselophoping in het systeem dan maaien en afvoeren. Kooijman et al. (2000) vonden dat de N-mineralisatie bij begrazing alleen significant afnam in zure bodems en verlaging van biomassa-productie trad alleen op in de droge duinen van het Wadden district, wel nam de lichtbeschikbaarheid overal toe. De situatie waarin een duinvallei zich bevindt (pionier, verzurend, verouderd) zijn uiteindelijk bepalend voor de beheermogelijkheden. De biomassatoename als gevolg van de toename van de atmosferische N-depositie, de afname van het konijnenbestand en het stoppen van het extensieve agrarische gebruik is in ontkalkte duinen, met name die van het Wadden District in het algemeen groter dan in kalkrijke duinen (Kooiman et al. 2004).

Een aandachtspunt bij begrazing in de duinen is de voorkeur van de grazers voor niet verruigde natte duinvalleien. Dit leidt vaak tot vertrapping en bemesting van kwetsbare pioniervegetaties. In gebieden met een grote oppervlakte aan vochtige duinvalleien zal extensieve begrazing echter niet zo snel tot grootschalige vertapping aanleiding geven en kunnen de meest kwetsbare vegetaties uitgerasterd worden (Bruin 2001). Waar nodig kan het beheer worden aangevuld met maaien, waarmee ook de successie van pioniervegetaties naar oudere stadia van basenrijke duinvalleien uitgesteld kan worden (Sykora et al. 2004). Als de extensieve begrazing niet afdoende blijkt kan intensiever of gericht (alleen in de verruigde delen van de vallei) begraasd worden. Als begrazing niet voldoende zorgt voor het terugzetten van de successie, dan kan ook overgegaan worden op maaien en afvoeren.

Bij maaien dient rekening gehouden te worden met het voorkomen van vogelsoorten die hier hun leefgebied hebben. Voor Bontbekplevier en Tureluur geldt dat niet gemaaid mag worden vóór 15 juni, in verband met late (mogelijke 2e) legsels van de Watersnip mag pas na 15 juli gemaaid worden. Voor soorten als Grauwe kiekendief, Grauwe klauwier, Paapje en Visdief die hier hun leefgebied hebben lijkt gefaseerd maaien gunstig voor een groter voedselaanbod (hypothese).



Voor het behoud van de urgent bedreigde typische soort Moerasgamander (*Teucrium scordium*) is maaien noodzakelijk, inclusief (af en toe) verwijderen van struweel, eventueel handmatig jaarlijks maaien in het najaar met uitsluiting van volwassen planten (Klimkowska et al. 2011).

In de duinvallei voorkomende vogelsoorten als Blauwe kiekendief en Velduil kunnen last hebben van nestverstoring door grote grazers. Als nestplaatsen bekend zijn kunnen die delen bij begrazing onbegraasd gelaten worden (hypothese), bijvoorbeeld door uitrasteren van die terreindelen.

## 5.2 Plaggen

Bestaande vochtige duinvalleien met lage kweldruk kunnen periodiek verjongd worden met behulp van plagbeheer. Onder de huidige hoge stikstof belasting dient dergelijk beheer zeer intensief uitgevoerd te worden: plagbeheer leidt in dergelijke gevallen tot een initiële toename van Rode Lijst-soorten; dit neemt na ca. 10 jaar weer sterk af als gevolg van daling van de pH, hernieuwde stapeling van organische stof en toename van de beschikbaarheid aan nutriënten (Lammerts et al. 1999). Ook moeten de bronpopulaties van kenmerkende soorten worden ontzien, door het plaggen in de tijd te verspreiden (over meerdere jaren). Voor de overleving van de fauna kan het beste over de tijd gespreid geplagd worden in een patroon van stroken die haaks op de vochtgradiënt liggen (Van den Burg 2009). In doorstroomvalleien en valleien met lokale kwel is de duurzaamheid hoger (Grootjans et al. 2002). Op den duur kan plaggen leiden tot definitieve verzuring van het systeem, doordat bufferstoffen met organisch materiaal worden afgevoerd. Plaggen als maatregel heeft ook een effect op de morfologie (Arens & Geelen 2001). Bij herhaaldelijk plaggen zal het oppervlak van de vallei substantieel verlaagd worden en zal het grondwater relatief steeds hoger komen te staan. Bovendien worden door het plaggen van de vallei de hellingen steeds steiler. Op den duur kunnen daardoor duinmeren ontstaan. Het is dus een maatregel die niet eindeloos uitgevoerd kan worden.

Ook de zwak gebufferde Associatie van Drienervige zegge en Zwarte zegge (behorend tot subtype C) herstelt zich na plaggen, mits er nog toestroming van zwak gebufferd grondwater optreedt. Voor de instandhouding is wel vrij intensieve begrazing als vervolgbeheer noodzakelijk (Aggenbach & Jansen 2004) of de vegetatie moet na verloop van tijd opnieuw geplagd worden. De frequentie van dit plagbeheer hangt sterk af van de lokale situatie en het optreden van meteorologische extreme jaren of perioden. Omdat het weer op termijn van jaren niet voorspelbaar is, kan alleen met monitoring van de basenchemie en vegetatie vastgesteld worden wanneer ingrijpen met plaggen wenselijk is. Door de grote hydrologische gevoeligheid van zulke zwak gebufferde systemen dienen hydrologische maatregelen zorgvuldig met kennis van de bufferende processen worden gepland en uitgevoerd (Aggenbach & Jansen 2004).

In hydrologisch gedegradeerde systemen dienen plag- en graafwerkzaamheden pas worden uitgevoerd nadat de hydrologische herstelmaatregelen zijn uitgevoerd (Van den Burg 2009). In ontkalkte duingebieden heeft plaggen zonder hydrologisch herstel heeft maar beperkt succes. Na korte tijd (5–10 jaar) verdwijnen de pionierstadia weer, als gevolg van de snelle stapeling van organische stof, de afname van de pH en de hogere nutriënten beschikbaarheid (Lammerts 1999). In gevallen waarbij tevens de grondwaterstanden in de omgeving worden verhoogd lijkt de levensduur van de pionierstadia verlengd te worden.

### 5.3 Chopperen

Indien er een dunne organische laag aanwezig is (strooisellaag dunner dan 2 cm), is chopperen in zuurdere natte duinvalleien met heideachtige vegetaties ook een effectieve maatregel. Bij chopperen wordt meer plantaardig materiaal en daarmee nutriënten afgevoerd dan met maaien en afvoeren, maar een minder diepe laag grond en daarmee een kleiner deel van de zaadbank. Als de organische laag dikker is dient het chopperen gecombineerd te worden met plaggen. Ook voor chopperen geldt dat de maatregel alleen effectief is als de hydrologische toestand op orde (is gebracht) of de kalkrijkdom nog hoog is. Ook hier geldt dat het voor fauna en bijzondere flora belangrijk dat de plagwerkzaamheden kleinschalig plaatsvinden en dat restpopulaties van bijzondere soorten gespaard worden (Ommering & Hendriks 2004).

## 6. Maatregelen gericht op functioneel herstel

Bij de maatregelen gericht op functioneel herstel moet opgemerkt worden dat voor de keuze van de maatregelen steeds bepaald moet worden of de waargenomen ontwikkelingen het gevolg zijn van natuurlijke processen, of dat deze door menselijk ingrijpen zijn veroorzaakt. Het aanpassen van de hydrologie van een systeem is alleen zinvol als de hydrologie door menselijk handelen verslechterd is. Wanneer de hydrologie als gevolg van natuurlijke nieuwe duinvorming aan de zeereep is veranderd, is ingrijpen niet wenselijk. Hetzelfde geldt voor natuurlijke verouderingsprocessen: verouderde duinvalleien aan de binnenduinrand kunnen slechts zeer moeizaam in een jonger successiestadium gehouden worden, ontwikkeling naar broekbos kan hier een voor de hand liggende keuze zijn. Het tegengaan van versnelde verzuring van bestaande kalkarme duinvalleien in het middenduin verdient meer aandacht, aangezien deze als gevolg van stikstofdepositie versnelde successie vertonen.

### 6.1 Maatregelen gericht op herstel waterhuishouding

Hydrologische herstelmaatregelen dienen gefundeerd te worden op hydro-ecologisch onderzoek op lokale en regionale schaal. In systemen waar de toevoer van basenhoudend grondwater de zuurgraad buffert is inzicht in de lokale hydrologie noodzakelijk om de juiste maatregelen te nemen (Aggenbach & Jansen 2004). In systemen waar het basenrijke grondwater toestroomt vanuit aangrenzende opwelvingen gedurende winter- en voorjaarsperiode is inundatie in de laagten noodzakelijk voor het oppersen van dit water. De mate en duur van oppersing worden hier bepaald door de (1) de regionale drainagebasis (c.q. de zomergrondwaterstanden), (2) de mate van opbolling van het freatisch grondwater in winter en voorjaar en (3) de inundatieduur van de laagte. Wanneer de regionale drainagebasis (zomergrondwaterstanden) te laag zijn neemt in het winterseizoen de toevoer van basenrijk grondwater af en verzuren basenrijke standplaatsen op den duur (Aggenbach & Jansen 2004).

Bij maatregelen voor herstel van de waterhuishouding (o.a. Van den Burg, 2009) kan gedacht worden aan:

- Herstel van verdroogde valleien door uitgraven tot op het grondwaterniveau of verwijderen van organische stoflaag in de gehele vallei. Hiermee worden ook voedingsstoffen afgevoerd (zie voor effecten en aandachtspunten paragraaf 5.2 Plaggen).
- In hogere delen in de omgeving verdamping verminderen en inzijging vergroten door:
  - o verwijderen van bos en struweel

- omvorming van naaldbos naar loofbos of andere duinvegetaties, inclusief kaal zand
- verminderen begroeiing door intensivering van de begrazing of herstel kleinschalige verstuing (zie ook 6.2 herstel dynamiek)
- Saneren grootschalige cultuurgronden, landbouwenclaves, recreatieve voorzieningen en drinkwatervoorzieningen in de duinen die ertoe leiden dat de algemene grondwaterstand in de duinen daalt.
- Peilverhoging in de binnenduinrand en de aangrenzende polders (hydrologische bufferzone creëren).

Als het voortbestaan van specifieke locaties met het voorkomen van bijzondere soorten zoals de zeldzame typische soort Moerasgamander (*Teucrium scordium*) bedreigd worden, is het ook noodzakelijk om ook aan de randen en in overgangszones van nat naar droog bomen en struiken te verwijderen om de successie tegen te gaan en de ophoping van strooisel en verdamping te verminderen. Dit dient met mate te gebeuren: niet te grote vlakken maken en volwassen planten laten staan (Klimkowska et al. 2011).

## 6.2 Maatregelen gericht op herstel dynamiek

Pioniervegetaties kunnen met behulp van menselijke ingrepen hersteld en in stand gehouden worden, maar een betere oplossing is het heractiveren van duinvormende processen (Sykora et al. 2004). Op deze manier komen er steeds nieuwe ‘jonge’ valleien bij, wat voor het behoud van het scala aan duinvalleien op lange termijn noodzakelijk is. Het gaat daarbij om valleien met kale grond of water zonder vegetatie. Bij aangroeiende kusten ontstaan van nature zogenoemde primaire duinvalleien door afsnoering van strandvlakten. Door kustontwikkeling kunnen zo ook nieuwe duinvalleien ontstaan. In het duingebied zelf kunnen zogenoemde secundaire duinvalleien ontstaan door uitstuiving van zand tot op de grondwaterspiegel of door herstel van verouderde of verdroogde valleien door middel van plagen (Profielendocument).

Wanneer uitgegaan wordt van het bevorderen van de dynamische processen binnen het duinsysteem als geheel, hoeft niet altijd gekozen te worden voor het behoud van duinvalleien of de staat waarin deze verkeren. Wel dient het beheer als geheel te leiden tot het duurzaam behoud van voldoende oppervlakte aan duinvalleien en voldoende variatie aan omgevingseigenschappen (zowel kalkrijk als kalkarm).

Daarnaast is verstuing op zichzelf een zeer geslaagde anti-verzuringsmaatregel. Niet alleen leidt verstuing tot een hogere pH in de pioniervegetaties, maar ook in de ogenschijnlijk stabiele vegetaties in de omgeving (Kooijman et al. 2000). Mogelijk is dit een overblijfsel van eerdere verstuing in vroeger tijden. Hiermee gepaard gaat een duidelijke afname van de beschikbaarheid van nutriënten. Vooral de N-beschikbaarheid is laag, omdat er in vers zand bijna geen organische stof zit. Bij verhoogde N-depositie wordt het zand sneller weer vastgelegd door algen. Verstuing leidt tot een duidelijke toename van de oppervlakte kaal zand en pioniervegetatie, maar houdt de voortgaande vergrassing en struweelvorming niet tegen. Ook voor verstuing geldt dat maatwerk, gebaseerd op fundamentele kennis van het ecosysteem noodzakelijk is (Kooijman et al. 2004).

## 7. Maatregelen voor uitbreiding

Bij aangroeiende kusten ontstaan van nature zogenoemde primaire duinvalleien door afsnoering van strandvlakten. In het duingebied zelf kunnen zogenoemde secundaire duinvalleien ontstaan door uitstuiving van zand tot op de grondwaterspiegel (of door herstel van verouderde, verdroogde of voor infiltratie gebruikte valleien). Deze natuurlijke dynamiek is niet overal in het duingebied mogelijk. De ontwikkeling van jonge, kalkrijke vochtige duinvalleien kan het eenvoudigst worden gerealiseerd via dynamisch kustbeheer. Het ontwikkelen van nieuwe primaire duinvalleien door kustontwikkeling, of volledig afgraven van oude infiltratieplassen is een effectieve manier om nieuwe kalkrijke duinvalleien te creëren (Grootjans et al. 2002). Het gaat daarbij om valleien met kale grond of vegetatieloos water. Voor de oudere, kalkarme, vochtige duinvalleien (H2190C) is directe ontwikkeling vanuit primaire duinvorming niet mogelijk. Op de lange termijn kunnen jonge duinvalleien van het type H2190B wel ontwikkelen richting de oudere typen (H2190C). Bij afwezigheid van een zaadbank of bronpopulaties in de omgeving is het ontwikkelen van duinvalleien vanuit een nulsituatie zeer moeilijk te realiseren.

## 8. Effectiviteit en duurzaamheid

Voor de kalkrijke grijze duinen bestaan enkele monitorreeksen op basis waarvan een voorzichtige uitspraak kan worden gedaan over de effectiviteit van de effectgerichte maatregelen (Jansen et al. 2010). Het beeld voor de ontkalkte vochtige duinvalleien (subtype C) is min of meer tegengesteld aan dat voor de kalkrijke vochtige duinvalleien, voor zover daar op basis van het zeer beperkte aantal reeksen iets zinvol is te zeggen: op korte termijn (tot 5 jaar na uitvoering van de maatregelen) leidt de afvoer van (zuur) organisch materiaal tot een toename van het aantal Rode lijstsoorten. Op de wat langere termijn (6 jaar of langer na uitvoering van de maatregelen) lijkt de effectiviteit weer af te nemen, als gevolg van de snelle stapeling van organische stof, de afname van de pH en de hogere nutriënten beschikbaarheid (Lammerts 1999). In valleien waar inzijing het dominante hydrologische proces is, blijkt het succes van de afvoer van organisch materiaal kortstondig te zijn, binnen tien jaar zijn de meeste Rode lijstsoorten weer verdwenen (Grootjans et al. 2002). De effectiviteit van de andere maatregelpakketten is niet te bepalen. In de eerste plaats vanwege het zeer beperkte aantal reeksen, maar evenzeer omdat geen vergelijking kan worden gemaakt tussen jongere en oudere reeksen.

Het duurzaam behoud van duinvalleien moet via twee sporen verlopen. Enerzijds via de ontwikkeling van nieuwe duinvalleien vanuit kustontwikkeling, anderzijds door het tegengaan van de versnelde verzuring en vermessing van bestaande, oudere duinvalleien. Met name deze laatste groep is onder de huidige depositielast slechts met grote moeite duurzaam in stand te houden. De huidige kennis suggereert dat herstelmaatregelen zoals plaggen in deze systemen veelvuldig herhaald dienen te worden (iedere tien tot vijftien jaar) (Aggenbach & Jansen 2004; Kooijman et al. 2004) en in samenhang met hydrologisch herstel uitgevoerd moet worden (Grootjans et al. 2002). Bij een dermate snelle cyclus rijst de vraag of de soorten die men met deze maatregelen beoogt te behouden bestand zijn tegen de hoge verstoringintensiteit van deze vorm van herstelbeheer. De kans dat de zaadbank van plantensoorten uitgeput raakt en diersoorten niet in staat zijn om binnen een dergelijk kort raamwerk de herstelde gebieden te herkoloniseren, is in

dergelijke situaties naar verwachting groot. Voor deze systemen is een verdere reductie van de huidige depositieniveaus een eerste vereiste voor een duurzame instandhouding. Het meest effectief is zodanig diep te pluggen (tot onder organische laag), dat de voedingsstoffen in voldoende mate verwijderd worden, maar dat de zaadbank niet geheel verloren gaat (Van den Burg 2009).

Van groot belang bij een succesvol herstel na pluggen is de aanwezigheid van diasporen in de vorm van een zaadbank of bronpopulatie in de buurt. De meeste planten van natte duinvalleien (zoals Knopbies) hebben een kortlevende zaadbank, dus moeten vanuit de omgeving komen (Bekker et al. 2002). Herstelprojecten zijn niet succesvol als er geen zaadbank aanwezig is. Als er wel een zaadbank aanwezig is, maar de hydrologische condities niet optimaal zijn, is het herstel niet duurzaam. Bovendien is er het gevaar dat soorten die nog wel in de zaadbank zaten verdwijnen. Als de hydrologische condities in orde zijn en er een zaadbank en/of bronpopulaties aanwezig zijn, verloopt het herstel goed. Het meest succesvol zijn herstelprojecten waar daarnaast ook nog diasporen van buiten het gebied aangevoerd worden (Grootjans et al. 2002).

Na vrijwel elk herstelproject moet aanvullend beheer worden gepleegd zoals maaien of begrazen. Deels moet dit vanwege de hoge N-depositie, maar ook omdat de productiviteit van natte ecosystemen onder natte omstandigheden zo hoog is dat lichtbeperking kan optreden (Kooijman et al. 2004).

## 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
(Extra) maaien en afvoeren	H/U	Voorkomen strooiselophoping en afvoer nutriënten	Groot (strooisel) Matig (nutr.)	Buffering bodem; risico: bodemverwonding en problemen met fauna	Op standplaats	Zo lang als nodig	Even geduld	B
(Extra) begrazing	H/U	Voorkomen strooiselophoping en afvoer nutriënten	Groot (strooisel) Matig (nutr.)	Buffering bodem: risico: vertrapping, problemen met fauna; evt. uitrasteren kwetsbare gebieden	Op standplaats	Zo lang als nodig	Even geduld	B
Chopperen	H/U	Afvoer nutriënten	Groot	Bij heidevegetaties; risico: uitputten (bodem) zaadvoorraad, aantasting morfologie en verzuring	Op standplaats	Beperkte duur	Direct (abiotisch) Even geduld (biotisch)	V
Plaggen	H/U	afvoer nutriënten	Groot	Buffering bodem en/of grondwater-aanvoer; risico: uitputten (bodem) zaadvoorraad, aantasting morfologie en verzuring; max. 1x per 10 jaar	Op standplaats	Beperkte duur	Direct (abiotisch) Even geduld (biotisch)	B
Plaggen duinvallei	H/U	Herstel waterhuishouding	Groot	Zie hierboven	LESA	Beperkte duur	Even geduld	V
Verwijderen struweel en bos of omvormen naaldbos	H	Herstel waterhuishouding; verdamping verminderen;	Matig	Op hogere delen	LESA	Beperkte duur	Even geduld	H

maatregel	type	doel	potentiële effectiviteit	randvoorwaarden / succesfactoren	vooronderzoek	herhaalbaarheid	responstijd	mate van bewijs
		inzijging vergroten						
Saneren drainerende terreinen	H/U	Herstel waterhuishouding; stoppen daling grondwaterstand	Groot		LESA	eenmalig	Even geduld	H
Peilverhoging binnenduinrand	H/U	Hydrologische bufferzone	Groot		LESA	eenmalig	Even geduld	H
Herstel verstuiving	H/U	Herstel dynamiek	Groot	Minder effectief in door infiltratie beïnvloede gebieden	LESA	eenmalig	Middellang	H

#### 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

- Aggenbach, C.J.S. & A.J.M. Jansen 2004. Effectgerichte maatregelen tegen verdroging, verzuring en stikstofdepositie in beekdalen (Twente) en natte duinvalleien in het Renodunale District (Goeree-Overflakkee). Rapport EC-LNV nr. 2004/280-O.
- Arens, B. & L. Geelen 2001. Geomorfologie en regeneratie van duinvalleien; het van Limburg Stirum project als voorbeeld. *Landschap* 3: 133-146.
- Bakker, T.W.M., J.A. Klijn & F.J. van Zadelhoff 1979. Basisrapport T.N.O. Duinvalleien. Deelrapport Terschelling. TNO, Delft.
- Bekker, R.M., W.H.O. Ernst & Y. de Vries 2002. Zaadvoorraad van duinvalleien; bron of belemmering van herstel? *Landschap* 18: 173-184.
- Bobbink, R., M. Ashmore, S. Braun, W. Fluckiger, I.J.J. van den Wyngaert 2003. Empirical nitrogen critical loads for natural and semi-natural ecosystems: 2002 update. In: B. Achermann & R. Bobbink (eds.) *Empirical critical loads for nitrogen*. Environmental Documentation No. 164 Air, pp. 43-170. Swiss Agency for Environment, Forest and Landscape SAEFL, Berne.
- 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.
- Bruin, C.J.W. 2001. Natuurherstel in het Mokslootgebied op Texel. *De Levende Natuur* 102: 134-139.
- Grootjans, A.P., L. Geelen, A.J.M. Jansen & E.J. Lammerts 2002. Restoration of coastal dune slacks. *Hydrobiologia* 478: 181-203.
- Grootjans, A.P., P.S. Hartog, L.F.M. Fresco & H. Esselink 1991. Succession and fluctuation in a wet dune slack in relation to hydrological changes. *Journal of Vegetation Science* 2: 545-554.
- Jansen, A.J.M., mmv. R. Bobbink, E. Brouwer, H. van Dobben & A. van Hinsberg 2010. Stikstofdepositie en rode lijstsoorten: na effectgerichte maatregelen in de habitattypen in landschappen van duinen, heiden, kalkgraslanden, rivieren, beekdalen en laagveenmoerassen. Ede. Rapport Unie van Bosgroepen.
- 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 Habitatrichtlijn. Alterra-rapport.
- Kooijman, A. M., H. Noordijk, A. van Hinsberg, & C. Cusell 2009. Stikstofdepositie in de duinen – een analyse van N-depositie, kritische niveaus, erfenissen uit het verleden en stikstofefficiëntie in verschillende duinzones. Universiteit van Amsterdam & Planbureau voor de Leefomgeving. 56 p.
- Kooijman, A.M. & M. Besse 2002. The higher availability of N and P in lime-poor than in lime-rich coastal dunes in the Netherlands. *Journal of Ecology* 90: 394-403.
- Kooijman, A.M., A.P. Grootjans, M. van Til & E. van der Spek 2004. Aantastingen in droge en natte duinen: dezelfde oorzaken, verschillende gevolgen? In: *Duurzaam natuurherstel voor behoud van biodiversiteit* (eds. G. A. van Duinen, R. Bobbink, C. van Dam, H. Esselink, R. Hendriks, M. Klein, A. M. Kooijman, J. Roelofs & H. Siebel), pp. 171-187. EC-LNV, Ede.
- Kooijman, A.M., M. Besse & R. Haak 2000. Effectgerichte maatregelen tegen verzuring en eutrofiëring in open droge duinen. Eindrapport fase 2. Rapport Universiteit Amsterdam.
- Lammerts E.J., D.M. Pegtel, A.P. Grootjans & A. van der Veen 1999. Nutrient limitation and vegetation change in a coastal dune slacks. *Journal of Vegetation Science* 10:11-122.

- Lammerts, E.J. 1999. Basiphilous pioneer vegetation in dune slacks on the Dutch Wadden Sea islands. Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen.
- Nijssen, M., G.J. van Duinen, M. Geertsma, J. Jansen, J. Kuper & H. Esselink 2001. Gevolgen van verzuring, vermessing en verdroging en invloed van beheer op fauna en flora van duingebieden op Ameland en Terschelling. Rapport Stichting Bargerveen, Nijmegen, 175 p.
- Ommering G. van & R.J.J. Hendriks (red.) 2004. Handleiding Subsidie Effectgerichte Maatregelen 2005. Overlevingsplan Bos en Natuur, Regeling effectgerichte maatregelen in bossen en natuurterreinen. Expertisecentrum LNV, Rapport EC-LNV nr. 2004/326-O
- 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.
- Sival, F.P. & A.P. Grootjans 1996. Seasonal variation in buffering capacity of a dune slack in relation to organic matter, nitrogen pool and vegetation. *Vegetatio* 126: 39-50.
- Stuyfzand, P.J. 1993. Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands. Ph.D thesis Vrije Univ. Amsterdam, published by KIWA.
- Stuyfzand, P.J. 2010. Modellerling kwaliteit ondiep (duin)grondwater en ontkalking, inclusief effecten van klimaatverandering en kustuitbreiding: DUVELCHEM. KWR-rapport BTO 2010.031(s), 86p.
- Stuyfzand, P.J., M. de Haan & B. Hofs, 2010a. Gevolgen van kustverbreding en klimaatverandering voor duingrondwater, kunstmatig infiltraat, drinkwater en het duinecosysteem. KWR-rapport KWR 09.092.
- Stuyfzand, P.J., S.M. Arens & A.P. Oost, 2010b. Geochemische effecten van zandsuppleties langs Hollands kust. KWR-rapport KWR 2010.048, 78p. Tevens uitgegeven door Bosschap als Rapport 2010/OBN141-DK.
- Sýkora, K.V., J.C.J.M. van den Bogert & F. Berendse 2004. Changes in soil and vegetation during dune slack succession. *Journal of Vegetation Science* 15: 209-218.
- Van den Burg, A.B. (red.) 2009. Preadvies Duin- en Kustlandschap. Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Ede. DK113-O
- 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.
- Westhoff, V. & M.F. van Oosten 1991. De plantengroei van de Waddeneilanden. KNNV-uitgeverij, Utrecht.