

Aantasting in droge en natte duinen: dezelfde oorzaken, verschillende gevolgen?

Annemieke Kooijman¹, Ab Grootjans², Mark van Til³ & Erik van der Spek⁴



Foto M. Nijssen

Aantasting in droge en natte duinen:
dezelfde oorzaken, verschillende gevolgen?

- 1 Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics-Fysische Geografie, Universiteit van Amsterdam, Nieuwe Achtergracht 166, 1018 WV Amsterdam (A.M.Kooijman@science.uva.nl)
- 2 Laboratorium voor Plantenoecologie, Universiteit Groningen, Postbus 14, 9750 AA Haren (A.P.Grootjans@biol.rug.nl)
- 3 Gemeentewaterleidingen Amsterdam, Sector Ecologie, Vogelenzangseweg 21, 2114 BAVogelenzang (van.Til@gwa.nl)
- 4 Staatsbosbeheer-Texel, Molenstraat 83, 1791 DK Den Burg (E.Spek@sbb.agro.nl)

Samenvatting

Als gevolg van verzuring en vermesting treedt in zowel droge als natte duinen sterke vergrassing en verruiging van de vegetatie op. Verzuring en vermesting staan niet los van elkaar, maar versterken elkaar. In kalkrijke duinen is de beschikbaarheid van fosfor (P) en stikstof (N) van nature laag: P-beschikbaarheid is laag door de fixatie van P in calciumfosfaten en de N-beschikbaarheid is laag door lage input van strooisel en waarschijnlijk een hoge microbiële N-behoefte. Dit verlaagt de hoeveelheid nutriënten die beschikbaar is voor de vegetatie. Zure neerslag heeft tot gevolg dat de beschikbaarheid van P toeneemt (de calciumcarbonaten en -fosfaten lossen op), terwijl de hoge N-depositie tegelijkertijd leidt tot een toename van de N-beschikbaarheid. Dit heeft natuurlijk een hogere biomassa-productie tot gevolg, maar ook een toename van interne verzuring (en dus een hogere P-beschikbaarheid) en een toename van de N-mineralisatie (door grotere input van strooisel en afname van microbiële N-behoefte). Dit leidt weer tot een verdere toename van de biomassa-productie. De vegetatie verruigt, waardoor de beschaduwing zo sterk wordt, dat kleine plantensoorten verdwijnen.

Herstelmaatregelen om de verruiging tegen te gaan, hebben niet overal effect. Ook al weten we nog niet precies hoe, de resultaten verschillen per gebied en zijn afhankelijk van geografische ligging, hydrologische omstandigheden en van het successiestadium. Het duinsysteem kan dus niet als homogeen beschouwd worden; er zijn grote gradiënten in pH, nutriëntenbeschikbaarheid en gevoeligheid voor verhoogde atmosferische depositie. Daarom is herstelbeheer maatwerk en moeten de maatregelen afgestemd worden op de lokale situatie. In droge duinen leidt bijvoorbeeld begrazing in het ene gebied wel, maar in het andere niet tot terugdringen van de verruiging. Met het opnieuw op gang brengen van verstuing is nog vrij weinig ervaring opgedaan, maar duidelijk is wel dat met deze maatregel effecten van verzuring tegengegaan kunnen worden en pioniermilieus worden gecreëerd. De hoge beschikbaarheid van N stimuleert echter de groei van algen, waardoor zand vrij snel wordt vastgelegd. Verstuing stimuleert ook de groei van Helm, de belangrijkste vergrasser in de kalkarme duinen. Voor natte duinen is duurzaam herstel alleen mogelijk, wanneer de abiotische randvoorwaarden (kwel) op orde zijn en diasporen aanwezig zijn. Per gebied moet bekeken worden hoe het ecosysteem in elkaar zit, wat het beheersdoel is en wat daarvoor op die plaats de meest geschikte en duurzaamste beheersmaatregelen zijn.

Inleiding

De sterke vergrassing en verruiging en de daarmee samenhangende achteruitgang van karakteristieke duinsoorten in het Nederlandse duingebied wordt door

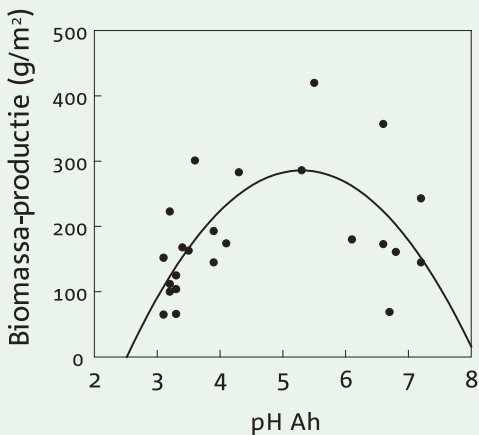
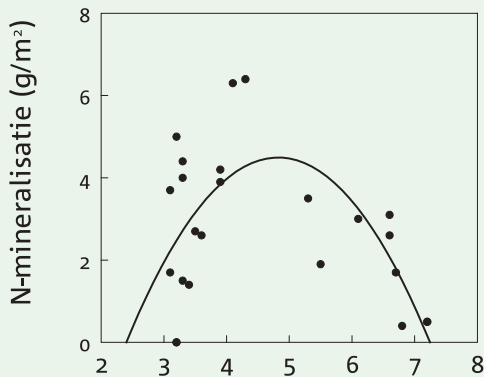
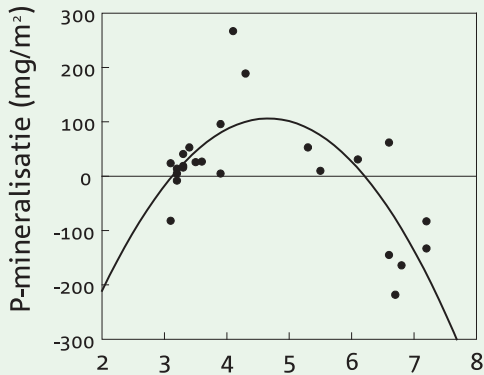
velen toegeschreven aan een verhoogde depositie van stikstof (N), al dan niet versterkt door ontwatering. Een hoge N-depositie leidt echter alleen maar tot een hoge biomassa-productie als ook de beschikbaarheid van fosfor (P) voldoende hoog is (Kooijman *et al.*, 1998, Kooijman & Besse, 2002). Indien de P-beschikbaarheid te laag is, treedt verzuuring niet op. Ook bemesting met N heeft dan geen effect op de plantengroei (Ten Harkel & Van der Meulen, 1996). N-bemesting kan wel leiden tot een hogere biomassaproductie (Tomassen *et al.*, 1999), maar dat treedt op in vers zand waar wel P, maar nauwelijks N in zit.

Herstelmaatregelen in de duinen hebben niet altijd het gewenste effect. Dit kan samenhangen met verschillen in de beschikbaarheid van N en P. In dit hoofdstuk wordt eerst ingegaan op de effecten van N en P en de beschikbaarheid van deze nutriënten in de loop van de successie. Vervolgens worden de effecten en knelpunten van een aantal beheersmaatregelen in de duinen besproken.

Fosfor als sleutelfactor

De beschikbaarheid van P wordt gereguleerd door factoren als pH, kalkgehalte en ijzergehalte van de bodem (Lindsay & Moreno, 1966; Kooijman *et al.*, 1998; Kooijman & Besse, 2002). In zowel de droge als natte duinen hebben de jongste successiestadia veelal een kalkhoudende bodem met een hoge pH en een laag organische-stofgehalte. In deze fase is fosfaat zeer slecht oplosbaar en vastgelegd in calciumfosfaten. Bij de afbraak van strooisel kan fosfaat wel vrijgemaakt worden uit organisch gebonden-P (mineralisatie), maar dit wordt onmiddellijk weer chemisch vastgelegd. De netto P-mineralisatie, en daarmee waarschijnlijk ook de P-beschikbaarheid, is dus laag (Fig. 1), evenals de productie van biomassa. In verzuurde bodems is de kalk in de toplaag opgelost en is er ook geen calcium meer beschikbaar om fosfaat te fixeren. Rond pH 5 zijn alle calciumfosfaten opgelost en is de P-beschikbaarheid hoog.

Naast kalk speelt ook ijzer een rol, omdat dit P kan fixeren in ijzerfosfaat. Dit gebeurt in droge duinen pas als de bodem flink verzuurd is, en dan nog alleen als er veel ijzer in de bodem zit, zoals in het Renodunaal district (de duinen ten zuiden van Bergen). Hier vertoont de netto P-mineralisatie, na een aanvankelijke piek bij pH 5 (Fig. 1), weer een afname bij verdere pH-verlaging, omdat P wordt vastgelegd in ijzerfosfaat (Kooijman *et al.*, 1998). In het Waddendistrict zijn de ijzergehaltes in het zand echter erg laag en in de droge duinen wordt P relatief los gebonden. Dit leidt tot een relatief hoge P-beschikbaarheid (Fig. 2), waardoor niet P, maar N beperkend is voor de groei. De duinen in het Waddendistrict zijn dan ook veel gevoeliger voor verhoogde N-depositie ('zure regen') en zijn vaak veel sterker vergrast. Als gevolg hiervan is ook de zogenoemde 'critical N-load' (het niveau van N-depositie waarboven veranderingen in bodem en vegetatie gaan optreden) voor het



Waddendistrict lager gesteld dan voor het Renodunaal district (Bobbink & Lamers, 1999).

In natte duinvalleien kan P-fixatie in ijzerfosfaat optreden bij ijzerrijke kwel; dit kwelwater is meestal ook kalkrijk, waardoor de P-beschikbaarheid extra laag is. Buiten de kwelzones treedt P-fixatie echter meestal niet op, omdat ijzerfosfaat onder zuurstofarme condities oplosbaar is. In kalkrijke bodems heeft dat voor de P-beschikbaarheid weinig invloed, omdat vastlegging als calciumfosfaat nog steeds mogelijk is, maar in zure bodems betekent dit een hogere P-beschikbaarheid. Deze hogere P-beschikbaarheid in latere successiestadia van natte duinvalleien is onder andere vastgesteld door Lammerts *et al.* (1999) in de Koegelwieck op Terschelling. Daarnaast kan de P-beschikbaarheid verder verhoogd worden door overstroming met (sulfaatrijk) zout of brak water. Door reductie van sulfaat onder zuurstofarme condities komt nog meer P vrij uit ijzerfosfaat (Lamers *et al.*, 1998). Hoe dat precies zit, wordt in deze bundel besproken door Lamers *et al.* (2004). Dit zal op termijn hier en daar gebeuren als gevolg van flexibele kustverdediging, waarbij verouderde duinvalleivegetaties natuurlijk ook kunnen afsterven door zoutstress (Grootjans *et al.*, 1999).

Theorie van N-beschikbaarheid opnieuw bekeken

Hoewel sommige plantensoorten, zoals Duindoorn, in staat zijn in hun hoge stikstofbehoefte te voorzien met behulp van bacteriën in wortelknolletjes (symbiotische

Figuur 1.

De (netto) mineralisatie van P en N (in het veld gemeten over de periode april-oktober) en de productie van bovengrondse biomassa (gemeten binnen exclusies om begrazing door konijnen tegen te gaan) over een pH-gradient in de Amsterdamse Waterleidingduinen. Gegevens uit Kooijman & Besse (2002). De relaties met pH zijn significant en de pieken liggen bij pH 5.2 (P), 4.9 (N) en 5.3 (Biomassa-productie).

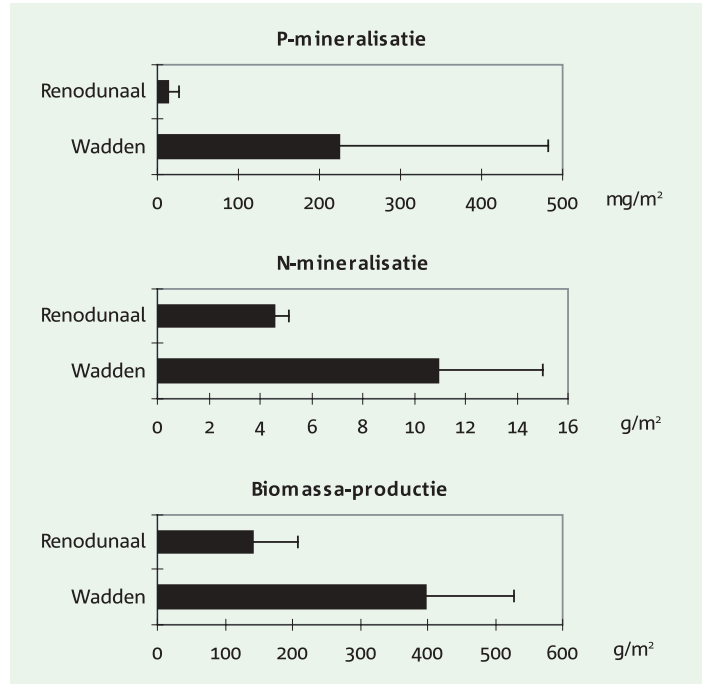
N-fixatie), zijn de meeste duinplanten voor hun stikstofvoorziening afhankelijk van de afbraak van organische stof. Hierbij zijn twee verschillende factoren van belang: de hoeveelheid N die via het strooisel in de bodem terecht komt (strooiselinput) en daarnaast de snelheid waarmee organische stof wordt afgebroken en organisch-N wordt gemineraliseerd tot ammonium en nitraat (strooiselafbraak).

N-mineralisatie en strooiselinput

Het traditionele beeld is: hoe hoger de strooiselinput, hoe hoger de N-mineralisatie. Dit blijkt ook uit Fig. 1, die aangeeft dat er een duidelijk verband bestaat tussen de hoeveelheid N in de vegetatie (en dus het strooisel) en de N-mineralisatie gemeten in de toplaag. De N-mineralisatie laat een optimumcurve zien met een piek bij pH 5. Hier is echter, anders dan bij P, bodemchemisch gezien geen enkele noodzaak voor. In kalkhoudende en sterk verzuurde bodems zijn biomassa-productie en strooiselinput dan ook laag als gevolg van de lage P-beschikbaarheid, wat vervolgens leidt tot een lage N-mineralisatie.

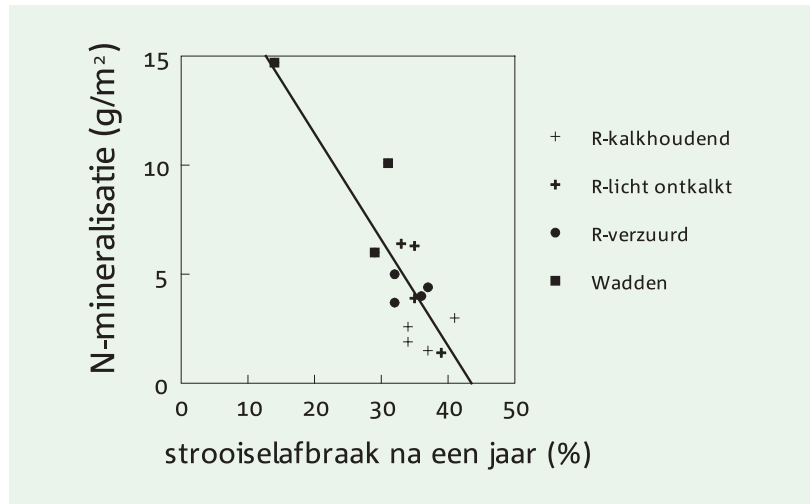
N-mineralisatie en strooiselafbraak

Het traditionele beeld is: hoe hoger de afbraaksnelheid (zoals in kalkrijke bodems), hoe hoger de N-mineralisatie (Swift *et al.*, 1979, Aerts & Chapin, 2000). Dit blijkt echter voor de droge duinen niet op te gaan (Kooijman & Besse, 2002), terwijl er ook voor natte ecosystemen aanwijzingen zijn dat dit niet zo is (Verhoeven *et al.*, 1988, 1990; Van Beckhoven, 1995). De N-mineralisatie is juist het hoogst in het Waddendistrict, waar de strooiselafbraak het laagst is (Fig. 3). Het omgekeerde geldt voor een kalkhoudende bodem uit het Renodunaal district, die een lage N-mineralisatie heeft, maar een hoge afbraaksnelheid. Welk mechanisme hier precies achter zit weten we nog niet, maar het heeft vermoedelijk te maken met de N-behoefte van de micro-organismen die de strooiselafbraak verzorgen. Als de microbiële activiteit hoog is (bij hoge afbraaksnelheid), is de N-behoefte voor de bacteriën kennelijk ook hoog, en is de voor de vegetatie beschikbare minerale stikstof heel gering. Dit vastleggen van minerale stikstof door micro-organismen wordt wel N-immobilisatie genoemd, en speelt hier kennelijk een grote rol.



Figuur 2. Het verschil in P- en N-mineralisatie en de productie van bovengrondse biomassa in verzuurde bodems tussen het ijzerrijke Renodunaal district en ijzerarme Wadden district. Gegevens uit Kooijman & Besse (2002). Beide bodems hebben een pH (CaCl₂) van 3.2 in de toplaag. N en P-mineralisatie zijn in het veld gemeten over de periode april-oktober; bij het meten van de biomassa-productie is mogelijke begrazing door konijnen uitgesloten.

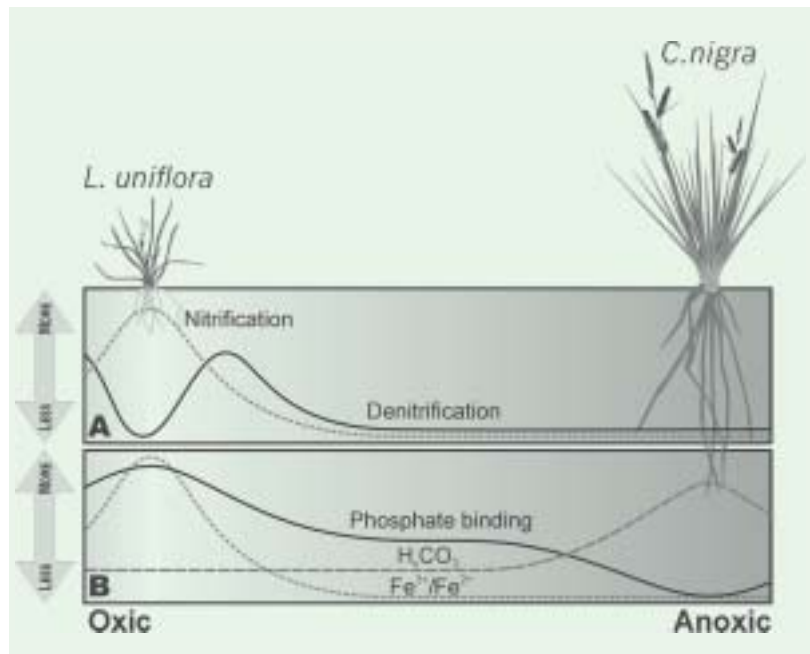
Figuur 3.
De omgekeerde relatie tussen strooiselafbraak en N-mineralisatie in droge duinen in Wadden en Renodunaal district (R). Gegevens uit Kooijman & Besse (2002). De relatie is significant.



N-beschikbaarheid in natte duinvalleien

Een complicerende factor in natte duinvalleien is, los van de pH, de invloed van het vochtgehalte op de afbraaksnelheid (Kooijman, 2001). Enerzijds leiden hogere vochtgehalten (zolang de zuurstofvoorziening op peil is) tot hogere afbraaksnelheid en lagere N-mineralisatie (Van Beckhoven, 1995). Anderzijds kan zodra zuurstofarme condities optreden de strooiselafbraak worden geremd en de N-minera-

Figuur 4.
Veranderingen in beschikbaarheid van N en P in natte duinvalleien van laagproductieve pioniervegetatie met Oeverkruid (*L. uniflora*) met sterke zuurstoflek uit de wortels naar vervuilde vegetaties met Zwarte Zegge (*C. nigra*), waar de zuurstoflek uit de wortels gering is. A. Zuurstoflek bij Oeverkruid leidt tot de vorming van nitraat en vervolgens verlies aan N via denitrificatie. B. Zuurstoflek bij Oeverkruid leidt tot oxidatie van ijzer en vastleggen van P. Uit Adema *et al.* (2002).



lisatie hoger worden. Het is dus erg moeilijk het effect van vochtgehalte op de N-voorziening goed te voorspellen. Wat ook meespeelt is dat onder zuurstofarme condities N kan verdwijnen naar de atmosfeer door denitrificatie (Adema *et al.*, 2002). Dan moet er wel eerst nitraat zijn gevormd, zoals bij Oeverkruid die veel zuurstof lekt uit zijn wortels, waardoor ammonium kan worden omgezet in nitraat.

Lage nutrientbeschikbaarheid in kalkrijke duinen

We kunnen dus concluderen dat kalkrijke duinen, of ze nu nat zijn of droog, in principe een lage nutrientbeschikbaarheid hebben (Tabel 1). P is een beperkende factor in zowel droge als natte duinen, vanwege de fixatie in calciumfosfaten. N is een beperkende factor, omdat de strooiselininput wordt beperkt door de lage P-beschikbaarheid en omdat de N-mineralisatie per eenheid strooisel laag is, waarschijnlijk door de hoge N-behoefte van micro-organismen. Deze lage nutrientbe-

Tabel 1.
Samenvatting van de belangrijkste verschillen in beschikbaarheid van N en P tussen kalkrijke en verzuurde duinbodems.

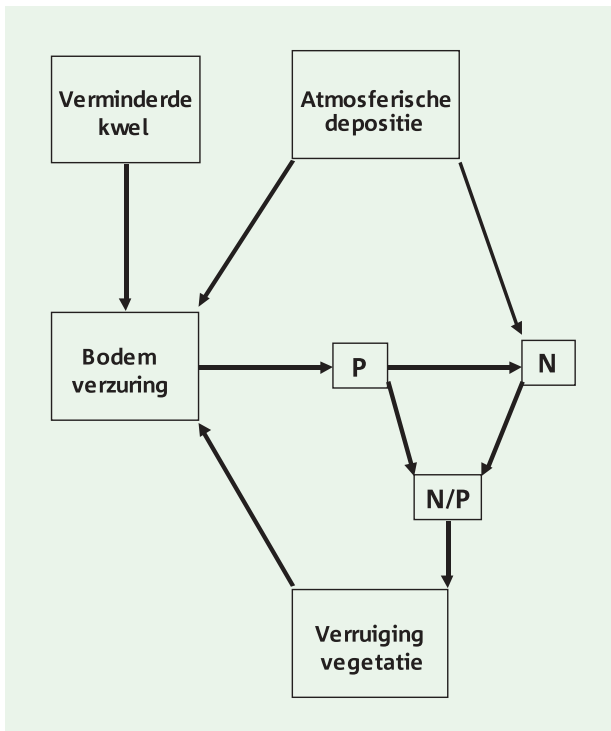
	Kalkrijke bodems (droog en nat)	Verzuurde bodems (droog en nat)
Fosfor	Lage P-beschikbaarheid door: <ul style="list-style-type: none"> - P-fixatie in calciumfosfaten - bij ijzerrijke kwel tevens P-fixatie in ijzerfosfaten 	In principe hoge P-beschikbaarheid: <ul style="list-style-type: none"> - door oplossen calciumfosfaten - door oplossen ijzerfosfaten in natte, zuurstofloze bodem - eventueel versterkt door aanwezigheid sulfaatrijk (zee)water <p>Tenzij P wordt vastgelegd als ijzerfosfaat</p> <ul style="list-style-type: none"> - in ijzerrijke droge bodems - bij ijzerrijke kwel
Stikstof	Lage N-beschikbaarheid door: <ul style="list-style-type: none"> - lage strooiselininput, mede als gevolg van lage P-beschikbaarheid - lage netto N-mineralisatie bij hoge afbraaksnelheid - denitrificatie in natte bodems met pioniervegetatie (Oeverkruid) 	In principe hoge N-beschikbaarheid: <ul style="list-style-type: none"> - door hoge strooiselininput als gevolg van hoge P-beschikbaarheid (tenzij deze laag is door vorming ijzerfosfaat) - door hoge netto N-mineralisatie bij geremde afbraak
Biomassa	In principe lage biomassaproductie <ul style="list-style-type: none"> - door lage P-beschikbaarheid - door lage N-beschikbaarheid 	In principe hoge biomassaproductie (verruiging): <ul style="list-style-type: none"> - door hoge P-beschikbaarheid (tenzij deze laag is door vorming ijzerfosfaat) - door hoge N-beschikbaarheid

schikbaarheid komt de levensomstandigheden van kleine kruiden, mossen en korstmossen ten goede. In natte bodems komt het verlies aan N via denitrificatie hier nog bij. Zo hebben Adema *et al.* (2002) laten zien dat delen die gevoed worden door kalkrijk grondwater soms 60 jaar in een stabiele laagproductieve pionierfase blijven hangen (Fig. 4). Kalk slaat neer in de toplaag (Sival, 1998) en zelfs een hoge N-depositie leidt hier niet tot een verhoogde biomassa van de vegetatie. Dit komt, naast de P-fixatie door calciumfosfaat, doordat Oeverkruid (*Littorella uniflora*) door de hoge zuurstoflek uit de wortels zowel zorgt voor P-fixatie in ijzerfosfaat, als de omzetting van nitraat door bacteriën in gasvormige stikstof (Adema,

2002). Snelgroeïende soorten als Zwarte Zegge (*Carex nigra*) en Duinriet (*Calamagrostis epigjos*) kunnen het dan niet opnemen. Toestroming van kalkrijk en ijzerrijk grondwater kan dus de successie vertragen en de vegetatie minder kwetsbaar maken voor verhoogde N-depositie uit de lucht. Veranderingen in de waterhuishouding, al dan niet door mensen veroorzaakt, ondermijnen echter deze terugkoppelingsmechanismen. Het zal dan ook niemand verbazen dat dergelijke stabiele pioniervegetaties, hoewel ze vroeger vrij algemeen moeten zijn geweest (Holkema, 1870), tegenwoordig vrijwel nergens meer te vinden zijn.

Toename nutriëntbeschikbaarheid in de loop van de successie

In jonge, kalkrijke bodems zijn de N- en P-beschikbaarheid laag en de biomassa-productie gering (Tabel 1). Als in de loop van de successie de bodem echter verzuurd raakt nemen zowel de P-beschikbaarheid als de N-beschikbaarheid toe. De P-beschikbaarheid wordt hoger als gevolg van een daling van de pH in de toplaag, waardoor calciumfosfaten in oplossing gaan. De P-beschikbaarheid blijft hoog bij verdere verzuring in het ijzerarme Wadden district of in ontkalkte en natte duinbodems. Alleen in droge, ijzerrijke bodems (Renodunaal district) treedt bij lage pH weer een remming van de P-beschikbaarheid op als gevolg van fixatie in ijzerfosfaat. De N-beschikbaarheid wordt in



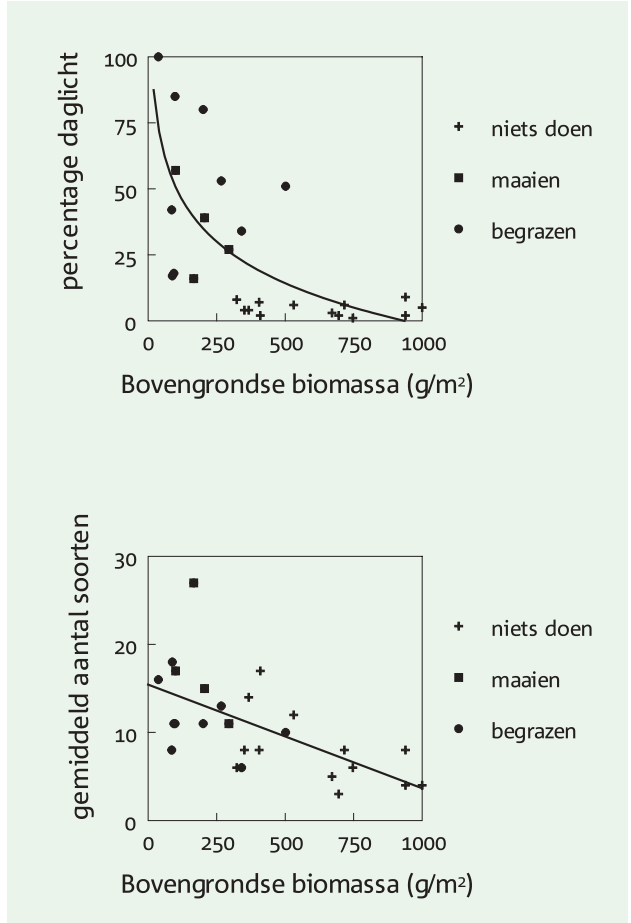
Figuur 5. Versnelde successie in kalkhoudende duinen onder invloed van verhoogde atmosferische depositie. De hogere input van zuurproducerende stoffen zorgt voor snellere bodemverzuring en het oplossen van calciumfosfaat, waardoor de P-beschikbaarheid wordt verhoogd. De hogere N-input zorgt voor een hogere N-beschikbaarheid. Samen zorgen zij voor een hogere biomassa-productie, die op zijn beurt weer leidt tot meer bodemverzuring (en dus meer P) en hogere strooiselinput (en dus meer N). In natte duinvalleien komt hier het effect van verdroging nog bij: verminderde kwel leidt tot bodemverzuring en het vrijkomen van P, waardoor de biomassa-productie omhooggaat.

droge en natte duinen hoger doordat een toename van de P-beschikbaarheid leidt tot meer biomassa en dus een hogere strooiselinput. Dit effect wordt nog eens versterkt doordat de N-mineralisatie per eenheid strooisel in zure bodems hoger is. In natte bodems treedt bovendien verzuiging op, omdat de zuurstoflek van duinriet onvoldoende is om denitrificatie plaats te laten vinden (Adema *et al.*, 2002).

Versnelde successie

De toename van de nutriëntbeschikbaarheid in de loop van de successie heeft nog een betekenis: het laat zien dat er sterke interacties bestaan tussen verzuring, vermisting en verdroging (Fig. 5). Het betekent ook dat een verhoogde atmosferische depositie van zuur en N niet alleen afzonderlijk schadelijk zijn voor het duinecosysteem, maar vooral in combinatie. Een hoge verzurende depositie leidt tot versnelde oplossing van kalk en calciumfosfaten in de bodem, waardoor de P-beschikbaarheid hoger wordt. Een hoge N-depositie verhoogt de N-beschikbaarheid. Samen leiden ze tot een hogere biomassa-productie. De hogere biomassaproductie leidt op zijn beurt weer tot een grotere interne verzuring van de bodem, door een sterkere afscheiding van zuur door de wortels en sterkere afbraak van organische stof als gevolg van de hogere strooiselinput. De toegenomen verzuring leidt weer tot sneller vrijkomen van P, waardoor het eutrofiëringsproces versneld wordt. Een hoge vegetatie vangt bovendien meer stikstof in dan een korte vegetatie (Van Wijnen, 1999). Daarnaast leidt de hogere biomassa in de duinen tot meer verdamping (Stuyfzand, 1993) en tot vermindering van de grondwatervoeding naar de valleien.

Het uiteindelijke gevolg is een versnelde successie in grote delen van het duingebied, tenzij de daling van de pH door aanvoer van kalkrijk water of zand wordt tegengegaan. We weten nog niet hoeveel sneller de successie verloopt, maar aangezien de hoogste natuurwaarden in de kalkhoudende delen van het duingebied te vinden zijn, lijkt het van belang juist hier maatregelen te nemen die de versnelde successie in duinecosystemen afremmen, waardoor pioniervegetaties van basenrijke standplaatsen langere levenskansen hebben.



Figuur 6. De relatie tussen bovengrondse biomassa versus lichtbeschikbaarheid en het aantal plantensoorten in gemaaide, begraasde en onbeheerde vergraste duingraslanden in Wadden en Renodunaal district. Gegevens uit Kooijman *et al.* (2000). De relaties zijn significant.

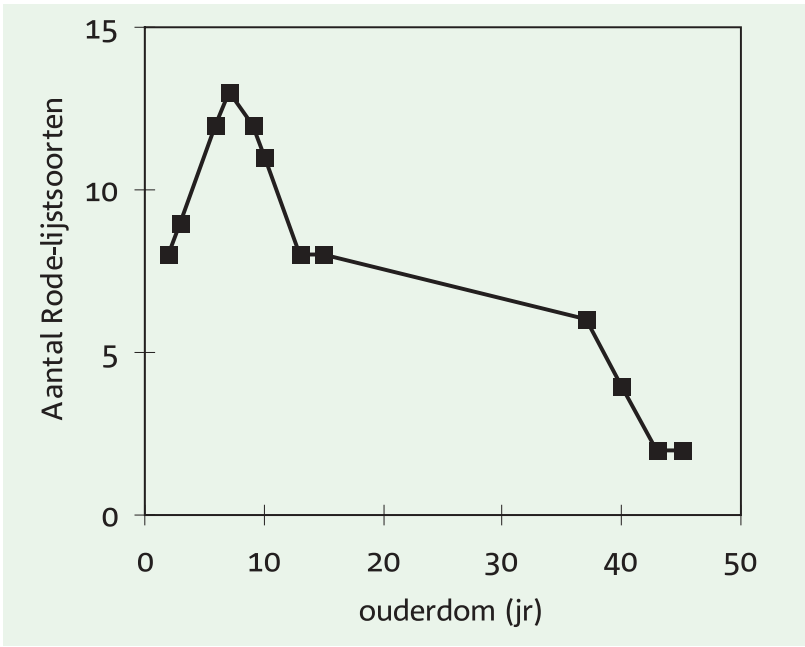
Beheersmaatregelen

Concreet betekent dit dat ons inziens grootschalige vernatting en nieuwvorming van duinen de beste beheersmaatregel zijn om pioniervegetaties te stimuleren of te stabiliseren. Dit is slechts op beperkte schaal mogelijk, maar herstelbeheer van verruigde duingraslanden en natte duinvalleien laat zien dat ook met bepaalde beheersmaatregelen goede resultaten te behalen zijn. Verruiging kan worden tegengegaan door bovengrondse biomassa te verwijderen (maaïen en begrazen) of door nieuwe pioniersituaties te creëren (plaggen en verstuiven). Het is echter niet zo dat alle maatregelen overall even goed uitpakken. Dit heeft waarschijnlijk voor een belangrijk deel te maken met de genoemde verschillen in nutriëntbeschikbaarheid in de duinecosystemen, maar we weten nog niet altijd precies wat het probleem is en hoe dat opgelost kan worden. Niettemin geven we een aantal voorbeelden van het effect van beheersmaatregelen en de problemen waar beheerders tegen aan kunnen lopen.

Maaïen en begrazen

De verwijdering van bovengrondse biomassa door maaïen of begrazen leidt vrijwel altijd tot meer licht op de bodem en tot meer plantensoorten (Fig. 6). Verwijdering van biomassa leidt ook tot een lagere strooiselininput en zou daarmee ook op termijn tot een lagere N-mineralisatie en productie van biomassa moeten leiden. Dat is echter maar ten dele het geval. De N-mineralisatie nam bij begrazing alleen significant af in zure bodems en de verwachte verlaging van de biomassa-productie trad alleen op in de droge duinen in het Wadden district (Kooijman *et al.*, 2000). In het Renodunaal district met zijn kalkrijke en ondiep-ontkalkte bodems leidt begrazing net als in het Waddendistrict ook tot een hogere lichtbeschikbaarheid, maar niet tot een afname van de productiviteit. We weten nog niet precies hoe dat zit, maar ook hier speelt waarschijnlijk de grotere activiteit van micro-organismen een rol. Deze hebben, als ze minder organische stof hoeven af te breken, ook minder N nodig en kunnen voor een soort nalevering zorgen (Holland & Detling, 1990). Ook de hoge P-beschikbaarheid in licht-verzuurde bodems speelt een rol; deze wordt met name bepaald door bodemchemische condities (die niet veranderen door begrazing), en veel minder door de lagere strooiselininput. Extensieve begrazing blijkt in de licht-verzuurde middenduinen de verruiging en struweelvorming dan ook eigenlijk niet tegen te houden (Kooijman *et al.*, 2000). Dat neemt echter niet weg dat extensieve begrazing toch nog steeds veel positieve kanten heeft aangezien begraasde duinen, met een meer gevarieerde vegetatiestructuur, een groter aantal diersoorten kunnen herbergen dan onbegraasde gebieden. Een al te intensieve begrazing heeft echter een duidelijk negatieve invloed op de faunadiversiteit (Van Turnhout *et al.*, 2004), met name in de verzuurde duinen van het Renodunaal district, waar de biomassa-productie toch al laag is.

Een ander probleem bij begrazing in de duinen is de voorkeur van de grazers voor niet verruigde natte duinvalleien, waarin zich vaak ook Rode Lijst soorten bevinden. 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 vertrapping aanleiding geven en kunnen de meest kwetsbare vegetaties uitgerasterd worden (Bruin, 2001). Waar nodig kan het beheer worden aangevuld met maaien. In de droge duinen speelt dit minder, omdat bodem en vegetatie minder kwetsbaar zijn voor vertrapping en bemesting er vooral lokaal plaats vindt. In het grootste deel van het gebied vindt netto verwijdering van biomassa en nutriënten plaats. Maaien is juist in de droge duinen een probleem, door de geaccidenteerde terreinvormen. Het is dus duidelijk dat maaien en begrazing niet in alle duintypen tot hetzelfde resultaat leidt en dat maatwerk, gebaseerd op fundamentele kennis van het ecosysteem, belangrijk is.



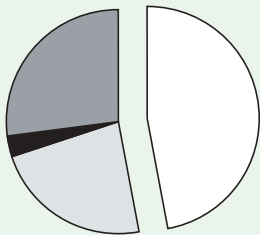
Figuur 7. Veranderingen in het aantal Rode Lijst soorten na plaggen in de natte duinvallei de Koegelwiek op Terschelling. Gegevens uit Grootjans *et al.*, (2002).

Plaggen

Droge duingraslanden en vooral natte duinvalleien worden geplagd voor het herstel van (kalkminnende) pioniervegetaties. In de droge duinen lijken de eerste ervaringen erop te wijzen dat pioniersoorten terugkeren. In kalkhoudende bodems leidt plaggen echter ook tot versnelde vestiging van Duindoorn en in ondiep-ontkalkte bodems leidt plaggen tot een verlies van kalkminnende soorten. Bij de lagere pH kunnen die zich niet meer opnieuw vestigen (Kooijman *et al.*, 2000).

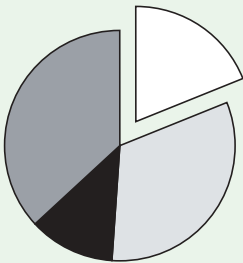
Ook in natte duinvalleien zijn de abiotische randvoorwaarden van belang, met

De Blink 1979



- duingrasland
- zand en pionier
- vergrast
- struweel

De Blink 1997



Figuur 8. Veranderingen in de oppervlakte van verschillende vegetatiestructuurtypen in het duingebied De Blink bij Noordwijk, waar verstuing sinds 1979 wordt toegelaten. Gegevens uit van Til (2000).

onderscheiden (Grootjans *et al.*, 2002). Herstel-projecten zijn niet succesvol als er geen zaadbank is, zoals bij het graven van nieuwe duinplassen. Als er wel een zaadbank is, maar de abiotische condities zijn niet optimaal omdat er geplagd wordt buiten de kwelzones, lukt het wel even, maar is het herstel niet duurzaam. Bovendien is er gevaar dat soorten die nog wel in de zaadbank zaten helemaal verdwijnen. Als er wel in de kwelzones geplagd wordt en er een zaadbank en/of bronpopulaties in de buurt zijn, is er sprake van redelijk tot goed herstel. Het meest succesvol zijn herstelprojecten waar, behalve de juiste abiotische omstandigheden en de aanwezigheid van een goed ontwikkelde zaadbank, ook diasporen van buiten het gebied worden aangevoerd. Daarnaast moet vrijwel altijd aanvullend beheer worden gepleegd zoals maaien, deels door de hoge N-depositie en deels doordat de productiviteit van natte ecosystemen ook onder voedselarme omstandigheden zo hoog is dat lichtbeperking op kan treden.

Verstuiven

Verstuiving is onlosmakelijk verbonden met de duinen, maar werd tot in het recente verleden vooral als een bedreiging ervaren. In de jaren tachtig werd ech-

name de juiste hydrologie (Grootjans *et al.*, 2002). Plaggen in de Koegelwieck op Terschelling, met weinig kwel van kalkrijk water, leidde in de eerste jaren tot een aanzienlijk herstel van Rode Lijst soorten (Fig. 7). Maar na circa 10 jaar begon het aantal sterk af te nemen, als gevolg van de snelle stapeling van organische stof, de afname van de pH en de hogere nutriëntenbeschikbaarheid (Lammerts, 1999). In het gebied rond de Moksloot waar lokaal kalkrijke kwel optreedt en waar de meeste valleien ook overstromd worden door kalkrijk oppervlaktewater, heeft plaggen op langere termijn waarschijnlijk meer succes. In ieder geval heeft het al geleid tot een enorme toename van Rode Lijst soorten binnen 10 jaar (Bruin, 2001), waaronder de uiterst zeldzame soorten Doorschijnend Fontein-kruid (*Potamogeton coloratus*) en Teer Guichelheil (*Anagallis tenella*). Ook werd in dit gebied een nieuwe soort voor Nederland aangetroffen: het Draadfonteinkruid (*Potamogeton filiformis*) (Bruin, 2002).

Van groot belang bij een succesvol herstel na plaggen is de aanwezigheid van diasporen in de vorm van een zaadbank of bronpopulaties in de buurt (Bekker *et al.*, 2002). Er kunnen vier situaties worden

ter duidelijk dat kleinschalige verstuiving in het duingebied niet tot grootschalige problemen leidde (Jungerius *et al.*, 1981). Bovendien was de voortdurende vastlegging wel duur, maar droeg niet bij aan een gevarieerd duinecosysteem. Sindsdien wordt hier en daar verstuiving toegelaten. Lokaal leidt verstuiving zelfs tot nieuwe natte vochtige duinvalleities.

Verstuiving is als anti-verzuringsmaatregel zeer geslaagd. Niet alleen leidt verstuiving tot pH-waarde van 7-8 in de pioniervegetaties, maar ook de ogenschijnlijk stabiele vegetaties in de omgeving hebben een hoge pH (Kooijman *et al.*, 2000). Dit is ook het geval in duinzones waar normaal gesproken de pH veel lager zou liggen en is mogelijk nog een overblijfsel van eerdere verstuiving in vroeger tijden. Hiermee gepaard gaat een duidelijke afname in de beschikbaarheid van nutriënten. Hoewel ook P een beperkende factor is, is met name de N-beschikbaarheid laag, omdat er in vers zand bijna geen organische stof zit. Dit is voor de soortenrijkdom goed nieuws, maar het betekent ook dat de vastlegging van het zand door algen bij verhoogde N-depositie sterker is (Tomassen *et al.*, 1999), zodat stuifkuilen betrekkelijk snel weer dicht groeien, zeker in meer beschutte locaties.

Verstuiving is geen korte-termijnmaatregel voor het behoud en herstel van duingraslanden. Verstuiving leidt tot een duidelijke toename van de oppervlakte kaal zand en pioniervegetatie, maar het houdt de voortgaande vergrassing en struweelvorming niet tegen (Fig. 8). Per saldo neemt het oppervlak duingrasland hierdoor af. Ook lijkt de ontwikkeling van pioniervegetatie naar duingrasland (veel?) meer tijd nodig te hebben dan 20 jaar. Daarnaast leidt verstuiving tot de stimulatie van Helm, die in het Waddendistrict tevens de grootste probleemsoort is en al grote delen van het duingebied overwoekerd heeft. Dit betekent dat verstuiving niet klakkeloos kan worden toegepast. Ook voor verstuiving geldt dat maatwerk, gebaseerd op fundamentele kennis van het ecosysteem, noodzakelijk is.

Beheer: maatwerk

Het is duidelijk dat het duingebied met de grote gradienten in bodemchemische condities en hydrologie niet als een homogeen ecosysteem kan worden gezien. Er zijn grote verschillen in nutriëntbeschikbaarheid tussen met name kalkhoudende en verzuurde bodems en in de gevoeligheid voor verhoogde atmosferische depositie. We weten nog niet altijd hoe dat precies doorwerkt in het effect van beheersmaatregelen, maar in ieder geval betekent het dat ook het beheer niet eenduidig kan zijn (Tabel 2). Dat wil niet zeggen 'het is overal anders, dus we proberen gewoon maar wat'. Maar het wil wel zeggen dat per gebied bekeken moet worden hoe het ecosysteem in elkaar zit, wat het doel is en wat daarvoor op die plaats de meest geschikte en duurzaamste beheersmaatregelen zijn.

Tabel 2.
 Samenvatting van het effect
 van beheersmaatregelen in
 droge duinen en natte duin-
 valleien.

	Droge duinen	Natte duinvalleien
Begrazen	Leidt tot meer licht en meer plantensoorten, maar: <ul style="list-style-type: none"> - leidt alleen tot afname nutriënt- beschikbaarheid in het Waddendistrict - intensieve begrazing in P-beperkte gebieden is niet goed voor fauna - houdt uitbreiding struweel in het Renodunaal district niet tegen 	Leidt in principe tot meer licht en meer plantensoorten, maar: <ul style="list-style-type: none"> - kan ook leiden tot vertrapping - kan ook leiden tot sterke bemesting (Uitrastering van kwetsbare gebieden)
Maaien	Leidt tot meer licht en plantensoorten, maar: <ul style="list-style-type: none"> - lastig uit te voeren vanwege het relief 	Leidt tot meer licht en plantensoorten
Plaggen	Leidt tot pioniervegetaties, maar: <ul style="list-style-type: none"> - in kalkrijke bodems mogelijk opslag van Duindoorn - in licht-verzuurde bodems versneld verlies aan kalkminnende soorten 	Leidt tot pioniervegetaties, maar: <ul style="list-style-type: none"> - alleen zinvol als er kalkrijke (en/of ijzerrijke) kwel is - alleen zinvol als er een zaadbank en/of bronpopulaties zijn
Verstuiven	Leidt tot pioniervegetaties en hogere pH, maar: <ul style="list-style-type: none"> - verstuiving moeilijk op gang te houden door hogere algengroei - leidt niet binnen 20 jaar tot nieuw duingrasland - houdt vergrassing en verstruweling niet tegen - stimuleert de vergrasser (Helm) in het Waddendistrict 	Leidt in principe tot nieuwe vochtige duinvalleitjes, maar: <ul style="list-style-type: none"> - verstuiving moeilijk op gang te houden door hogere algengroei

Dankwoord

Er zijn velen die direct of indirect hebben bijgedragen tot dit overzichtsverhaal over de duinen: Erwin Adema, Renee Bekker, Marieke Besse, Albert Bolt, John van Boxel, Kees Bruin, Jan Dopheide, Henk Everts, Latzi Fresco, Luc Geelen, Ronald Haak, Andre Jansen, Evert-Jan Lammerts, Victor Mensing, Frank van der Meulen, Jan Sevink, Fransisca Sival, Ingrid Takken, Femke Tonneijck, Koos Verstraten, Victor Westhoff en alle mensen die hier niet genoemd zijn, maar wel hun bijdrage hebben geleverd.

Literatuur

- **Adema, E.B. Grootjans, A.P., Petersen, J. & Grijpstra, J., 2002.** Alternative stable states in a wet calcareous dune slack. *Journal of Vegetation Science* 13: 107-114.
- **Aerts, M.A.P.A. & Chapin III, F.S., 2000.** The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of process and patterns. *Advances in ecological research* 30: 1-67.
- **Beckhoven, K. van, 1995.** Rewetting of coastal dune slacks. Proefschrift Vrije Universiteit, Amsterdam.
- **Bobbink, R. & Lamers, L.P.M., 1999.** Effecten van stikstofhoudende luchtverontreiniging op vegetaties- Een overzicht. Rapport Technische Commissie Bodembescherming, De Haag, 77p.
- **Bruin, C.J.W., 2001.** Natuurherstel in het Mokslootgebied op Texel. *De Levende Natuur* 102: 134-139.
- **Bruin, C.J.W., 2002.** Een bijzondere Fonteinkruid-vondst op Texel: *Stuckenia filiformis* (Pers.) Börner (Draadfonteinkruid) nieuw voor Nederland. *Gorteria* 28: 25-31.
- **Bekker, R.M., Ernst, W.H.O. & De Vries, Y., 2002.** Zaadvoorraad van duinvalleien; bron of belemmering van herstel? *Landschap* 18: 173-184.
- **Grootjans, A.P., de Jong, J. W. & Janssen, J.A.M., 1999.** Sluifters en Rode Lijstsoorten op Schiermonnikoog. Rapport laboratorium voor Plantenoecologie, Rijksuniversiteit Groningen.
- **Grootjans, A.P., Geelen, L.H.W.T., Jansen, A.J.M. & Lammerts, E.J., 2002.** Duinvalleirestauratie; successen en mislukkingen. *Landschap* 18: 185-198.
- **Harkel, M.J. & Van der Meulen, F. 1996.** Impact of grazing and atmospheric deposition on the vegetation of dry coastal dune grasslands. *Journal of Vegetation Science* 7: 445-452.
- **Holkema, F., 1870.** De Plantengroei der Nederlandse Noordzee-eilanden. Proefschrift Universiteit Groningen.
- **Holland, E.A. & Detling, J.K. 1990.** Plant response to herbivory and belowground nitrogen cycling. *Ecology* 71: 1040-1049.
- **Jungerius, P.D., Verheggen, A.J.T. & Wiggers, A.J.W., 1981.** The development of blow outs in 'De Blink', a coastal area near Noordwijkerhout, The Netherlands. *Earth Surface Processes and Land Forms* 6: 375-396.
- **Kooijman, A.M., Dopheide, J., Sevink, J., Takken, I. & Verstraten, J.M., 1998.** Nutrient limitation and their implications on the effects of atmospheric deposition in coastal dunes: lime-poor and lime-rich sites in the Netherlands. *Journal of Ecology* 86: 511-526
- **Kooijman, A.M., Besse, M. & Haak, R., 2000.** Effectgerichte maatregelen tegen verzuring en eutrofiëring in open droge duinen. Eindrapport fase 2. Rapport Universiteit van Amsterdam.

- **Kooijman, A.M.**, 2001. Sleutelrol voor N of P? Consequenties van nutriënbeschikbaarheid voor regeneratieperspectieven van duinvalleien. *Landschap* 18: 199-210.
- **Kooijman, A.M. & Besse, M.**, 2002. On 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.
- **Lamers, L.P.M., Tomassen, H.B.M. & Roelofs, J.G.M.**, 1998. Sulfate-induced eutrophication and phytotoxicity in freshwater wetlands. *Environmental Science and Technology* 32: 199-205.
- **Lamers, L.P.M., Van den Munckhof, P.J.J., Klinge, M. & Verhoeven, J.T.A.**, 2004. Verdroogd, vermest, verstart en versnipperd; hoe moet dat nu met onze laagveenwateren? - Een onderzoeksplan voor systeemherstel. In: G.A. van Duinen *et al.* (Eds.) *Duurzaam natuurherstel voor behoud van biodiversiteit*. Expertisecentrum LNV, Ede. Pp. 109-168.
- **Lammerts E.J. & Grootjans, A.P.**, 1998. Key environmental variables determining the occurrence and life span of basiphilous dune slack vegetation. *Acta Botanica Neerlandica* 47: 369-392.
- **Lammerts E.J., Pegtel, D.M., Grootjans, A.P. & Van der Veen, A.**, 1999. Nutrient limitation and vegetation change in a coastal dune slack. *Journal of Vegetation Science* 10: 11-122.
- **Lindsay, W.L & Moreno, E.C.**, 1966. Phosphate phase equilibria in soils. *SSSA Proceedings* 24: 177-182.
- **Sival, F.P., Mûcher, H.J. & Van Delft, S.P.J.**, 1998. Carbonate accumulation affected by hydrological conditions and their relevance for dune slack vegetation. *Journal of Coastal Conservation* 3: 79-86.
- **Stuyfzand, P.J.**, 1993. *Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the western Netherlands*. Proefschrift Vrije Universiteit, Amsterdam.
- **Swift, M.J., Heal, O.W. & Anderson, J.M.**, 1979. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- **Til, M. van**, 2000. De Blink: vegetatieontwikkeling onder invloed van verstuiwing. In : A.M. Kooijman, M. Besse en R. Haak. *Effectgerichte maatregelen tegen verzuring en eutrofiering in open droge duinen*. Rapport Universiteit van Amsterdam.
- **Tomassen, H., Bobbink, R., Peters, R., Van der Ven, P. & Roelofs, J.**, 1999. Kritische stikstofdepositie in heischrale graslanden, droge duingraslanden en hoogvenen: op weg naar meer zekerheid. In: Erisman, J.W. & van der Eerden, L. (red.), *Stikstofonderzoekprogramma STOP: de stikstofproblematiek op lokale en regionale schaal nader onderzocht*. ECN rapport ECN-C-99-094 & RIVM rapport 725601002, 100 p.

- **Turnhout, C. van, Stuijzand, S., Nijssen, M. & Esselink, H., 2004.** Gevolgen van verzuring, vermisting en verdroging en invloed van herstelbeheer op duinfauna. Rapport Expertisecentrum LNV, Ede. 270 pp.
- **Verhoeven, J.T.A., Kooijman, A.M. & van Wirdum, G., 1988.** Mineralization of N and P along a trophic gradient in a freshwater mire. *Biogeochemistry* 6: 31-43.
- **Verhoeven, J.T.A., Maltby, E. & Schmitz, M.B., 1990.** Nitrogen and phosphorus mineralization in fens and bogs. *Journal of Ecology* 78: 713-726.
- **Wijnen, H. J. van, 1999.** Nitrogen dynamics and vegetation succession in salt marshes. Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen.