



Kustontwikkeling en duinnatuur

Inzichten en mogelijkheden van zeewaartse kustuitbreiding en natuurontwikkeling

Het duinlandschap staat onder druk. Stikstofdepositie, verzuring, verruiging en de toenemende vraag naar ruimte voor recreatie beïnvloeden het duinlandschap en beperken de ontwikkelings- en uitbreidingsmogelijkheden voor duinnatuur. Zeewaartse kustuitbreiding, bijvoorbeeld via suppleties, biedt kansen: veiligheid en kustlijnhandhaving kunnen worden gecombineerd met natuurontwikkeling. Met een goed doordacht plan en voldoende tijd, ruimte en kwaliteit kunnen natuurversterking en kustlijnhandhaving hand in hand gaan, nu en in de toekomst.

Kusterosie, stikstofdepositie, verzuring, verruiging, toenemende recreatie en ruimtebeslag door andere functies vormen een bedreiging voor duinlandschappen (Kooijman et al., 2005; Bobbink et al., 2010; Lansu et al., 2024). In duingebieden waar al deze functies samenkomen, bijvoorbeeld in smalle zones met bebouwing, is de speelruimte voor natuurlijke ontwikkeling nu al minimaal. De druk op duingebieden zal in de toekomst, mede door zeespiegelstijging, verder toenemen (Geelen et al., 2022). De introductie van grootschalige eolische dynamiek wordt gezien als een belangrijke methode om de ontwikkeling van duinnatuur te bevorderen en ontkalking en verruiging tegen te gaan (Kooijman et al., 2005). In de praktijk is grootschalige dynamiek momenteel echter vooral beperkt tot brede duingebieden (Arens et al., 2012). Zeewaartse strategieën voor kustuitbreiding kunnen mogelijk een oplossing bieden (Stive et al., 2013; Van Slobbe et al., 2013). Bij een zeewaartse kustuitbreiding ontstaat vóór de huidige duinenrij een nieuw gebied met ruimte voor natuurlijke processen en de ontwikkeling van duinnatuur. Zo'n uitbreiding kan worden aangelegd, maar ook op andere manieren tot stand komen. Denk bijvoorbeeld aan de aanleg van constructies zoals een strekdam langs een erosieve kust, waardoor zeewaarts van de zeereep aanzanding kan plaatsvin-

den, of aan het stimuleren van duinontwikkeling op een bestaande strandvlakte. Een dergelijke uitbreiding kan bijdragen aan de veiligheid van het achterliggende gebied, mogelijkheden bieden voor het handhaven of combineren van functies in het duingebied én – onder voorwaarden – ruimte scheppen voor nieuwe duinnatuur (Deltares, 2009). In het licht van de toenemende zeespiegelstijging en de noodzaak tot klimaatadaptatie rijst de vraag hoe kustveiligheid en natuurontwikkeling niet als tegen-gestelde doelen, maar als geïntegreerde opgaven kunnen worden benaderd (Temmerman et al., 2013; Van Slobbe et al., 2013). Leenders et al. (2025) constateren dat bij bestaande aangelegde of gestuurde zeewaartse kustuitbreidingen doorgaans wel rekening wordt gehouden met natuur, maar dat de specifieke eisen die verschillende natuurwaarden stellen, en de wijze waarop daaraan kan worden voldaan, vaak slechts beperkt zijn uitgewerkt. In dit artikel gaan we hier nader op in aan de hand van de vraag: hoe kunnen zeewaartse kustuitbreidingen zo worden vormgegeven dat zij optimaal bijdragen aan de ontwikkeling van nieuwe natuur en/of aan de verbetering van bestaande natuurwaarden? Op basis van onderzoek in 28 voorbeeldgebieden en analyse van de geomorfologische en ecologische ontwikkeling

kustuitbreiding
duinlandschap
habittatypen
natuurwaarde
geomorfologie

J.K. (Jakolien) Leenders
HKV lijn in, water
Botter 11-29, 8232 JN Lelystad;
j.leenders@hkv.nl

S.I. (Sjoukje) de Lange
HKV lijn in water

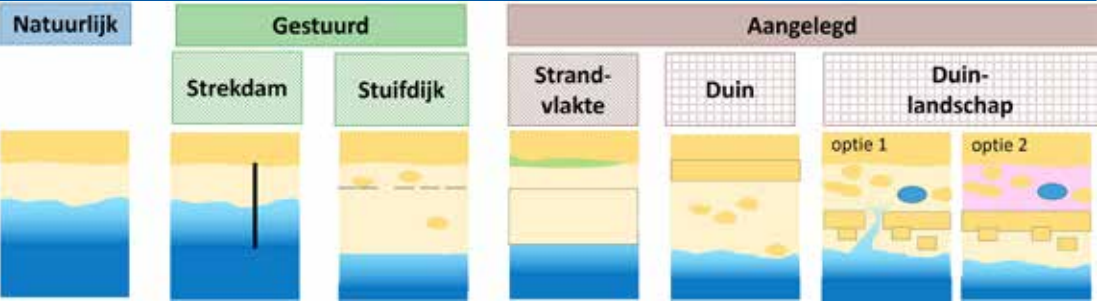
S.M. (Bas) Arens
Arens Bureau voor Strand- en
Duinonderzoek

A.M. (Martijn) Antheunisse
KWR Water Research Institute

Foto Rijkswaterstaat | Harry van Reeken. Zandsuppletie bij Hoek van Holland.

Figuur 1 Zes typen zee-
waartse kustuitbreidingen.

Figure 1 Six types of sea-
ward coastal extensions.



zijn verschillende typen zeewaartse kustuitbreidingen onderscheiden. Voor elk type is een ontwikkelschema opgesteld. Op basis daarvan zijn ontwerpprincipes en richtlijnen geformuleerd voor de effectieve aanleg van zeewaartse kustuitbreidingen.

Zes typen zeewaartse kustuitbreidingen

In Nederland zijn zes typen zeewaartse kustuitbreidingen te onderscheiden, gerangschikt naar de mate van ingrijpen (figuur 1). Bij een natuurlijke uitbreiding (zonder ingrijpen) gaat het om de ontwikkeling van een strandvlakte, meestal door aanlanding van een zandplaat, waarop in de loop van de tijd een duinlandschap ontstaat.

Bij een gestuurde uitbreiding worden natuurlijke processen beïnvloed. We onderscheiden hierbij een strandvlakte die ontstaat als gevolg van de aanleg van een strekdijk (sturing van aanzanding onder water) en het ontstaan van duinen op een strandvlakte door de aanleg van stuifdijken (sturing van aanstuiving op het strand). Bij een aangelegde uitbreiding worden landschapselementen aangebracht die zich vervolgens onder invloed van natuurlijke processen verder ontwikkelen. Hierbij onderscheiden we een aangelegde strandvlakte (een door de mens aangelegd strand met kunstmatige sedimentaire gelaagdheid en korrelgrootteverdeling), een aangelegd duin (vaak een duinversterking met door de mens bepaalde locatie, grootte en materiaaltype) en een aangelegd duinlandschap (met door de mens bepaalde locatie, dimensies en configuratie van land-

schapselementen).

Voor dit onderzoek zijn 28 studiegebieden geanalyseerd (figuur 2). Bij de selectie gold dat er sprake moest zijn van een zeewaartse kustuitbreiding, dat er variatie was in zowel de ‘ouderdom’ van de uitbreiding als in de wijze waarop deze tot stand is gekomen, en dat de gebieden ruimtelijk gespreid langs de Nederlandse kust liggen. Van de 28 studiegebieden zijn er negen natuurlijke uitbreidingen, zeven gestuurde uitbreidingen en twaalf aangelegde uitbreidingen. De gebieden variëren in leeftijd van vijf tot meer dan honderd jaar. Acht studiegebieden liggen in het Waddengebied, twaalf langs de Hollandse kust en acht in de Delta.

Geomorfologische en ecologische ontwikkeling

De geomorfologische en ecologische ontwikkeling is bestudeerd aan de hand van bestaande ruimtelijke gegevens: topografische kaarten, luchtfoto's, hoogte-modellen (Algemeen Hoogtebestand Nederland), JAR-KUS-profielen (jaarlijks gemeten dwarsprofielen langs de kust, gebruikt om hoogteveranderingen van kust en strand te volgen) en karteringen van habitattypen die elke zes jaar voor Natura 2000-gebieden worden opgesteld. Voor dit project zijn habitattypekaarten gebruikt van Rijkswaterstaat en provincies, eventueel aangevuld met gegevens uit de Nationale Databank Vegetatie- en Habitatkarteringen (BIJ12, 2025).

Als maat voor de geomorfologische ontwikkeling is het aantal geomorfologische eenheden gebruikt (tabel 1;

naar o.a. Klijn, 1981; De Groot et al., 2015). Hoe groter het aantal eenheden, hoe gevarieerder de geomorfologische ontwikkeling. De geomorfologie – met name de mate van dynamiek, expositie en ligging ten opzichte van het grondwater – bepaalt in belangrijke mate de randvoorwaarden voor vegetatieontwikkeling. Als maat voor de natuurkwaliteit is het aantal habitattypen van goede kwaliteit (volgens de habitatkarteringen) gebruikt. Hoe meer habitattypen van goede kwaliteit aanwezig zijn, hoe gevarieerder de ontwikkeling. In de vegetatieontwikkeling van het duin- en kustlandschap worden drie karakteristieke successiepaden onderscheiden: de haloserie (habitattypen kenmerkend voor zoute omstandigheden), de xeroserie (habitattypen van droge, grondwateronafhankelijke omstandigheden) en de hydroserie (habitattypen die afhankelijk zijn van grondwater).

De hydro- en morfodynamiek van de zee speelt een belangrijke rol in de haloserie en deels ook in kalkrijke vochtige duinvalleien. Deze invloed bestaat uit periodieke overstroming met zeewater en daarmee samenhangende erosie en sedimentatie. In de loop van de successie neemt de invloed van de zee geleidelijk af. Pas wanneer deze invloed verdwijnt door ophoging, isolatie van zeewater en/of toestroming van zoet grondwater, kan de ontwikkeling overgaan naar zoete, grondwaterafhankelijke vegetaties van de hydroserie. Voor de xeroserie is vooral eolische (windgedreven) dynamiek van belang. Door aanvoer van zand en invang door pioniersoorten zoals biestaruwegras treedt ophoging van het maaiveld op. Dit proces versterkt zichzelf: eenmaal gevestigde embryonale duinen bevorderen verdere zandinvang. Wanneer strand en strandvlakte voldoende zijn opgehoogd, kan successie optreden naar droge, zoete vegetaties van de xeroserie.

Ontwikkelschema zeewaartse kustuitbreiding

Voor de zes typen zeewaartse kustuitbreiding is een ontwikkelschema opgesteld (figuur 3). Daarbij wordt

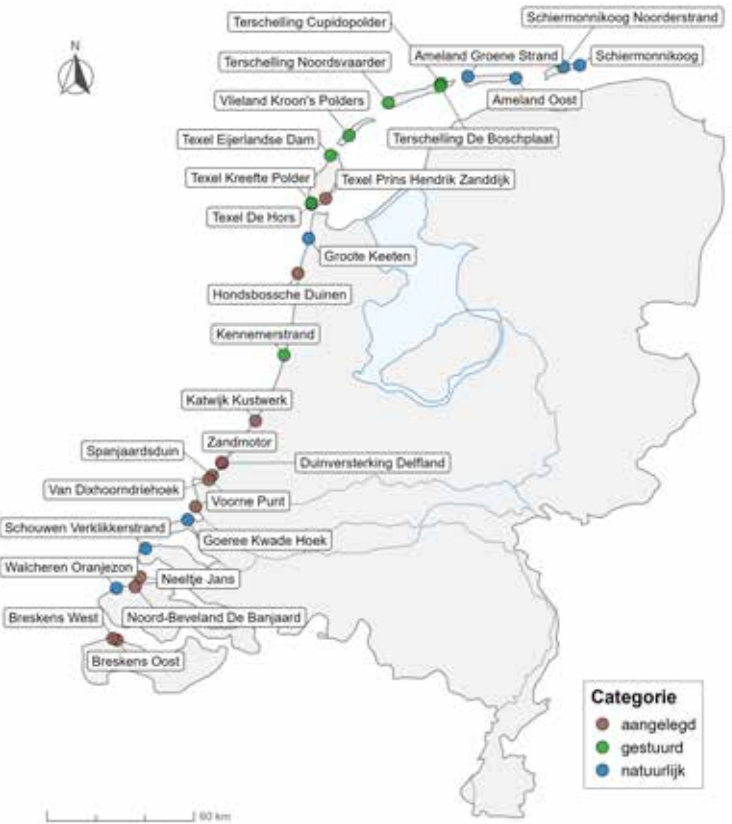
onderscheid gemaakt tussen verschillende ontwikkelstadia, waarin het landschap geleidelijk complexer en gevarieerder wordt en het aantal geomorfologische en ecologische eenheden toeneemt. Niet alle stadia hoeven noodzakelijkerwijs te worden doorlopen; een systeem kan ook langdurig in hetzelfde stadium blijven. De ontwikkelschema's zijn gebaseerd op waarnemingen in de studiegebieden, aangevuld met geomorfologische en ecologische kennis over ontwikkelingsstadia.

Natuurlijke ontwikkeling

Bij een aangroeiende kust is de aanvoer van zand zodanig dat vóór de zeereep een zandbuffer ontstaat. Het strand groeit aan, of er vormt zich een strandvlakte

Figuur 2 Locatie studie-
gebieden met indeling in
aangelegd, gestuurd en
natuurlijk.

Figure 2 Location of
study sites in categories
engineered (aangelegd),
managed (gestuurd) and
natural (natuurlijk).



Tabel 1 Definities van geomorfologische eenheden. Gebaseerd op Klijn et al. (1981) en De Groot et al. (2015).

Table 1 Definitions of geomorphological units. Based on Klijn et al. (1981) en De Groot et al. (2015).

Eenheid	Definitie
Embryonale duinen	Beginnende duintjes op strand of strandvlakte met een dominante begroeiing van helm of biestarwegras.
Zeereep	Eerste, meestal gesloten duinenrij vanaf het strand gezien. Kan als stuifdijk zijn ontstaan. Vaak kunstmatig van vorm door (voorheen) intensief beheer.
Strand	Kale zone tussen laagwaterlijn en duinvoet zone, smaller dan 100 m. Als het begroeid is, heet het een ‘groen strand’.
Groen Strand	Begroeid strand met zoutwaterinvloed, soms met beginnende embryonale duinen.
Strandvlakte	Kale zone tussen laagwaterlijn en duinvoet zone met hellingshoek <0.17°, breder dan 100 m. Kan deels of volledig afgesnoerd zijn van zee-invloed door duinen of stuifdijken.
Onvolledig afgesnoerde strandvlakte	Deel van het strand of strandvlakte dat door duinontwikkeling bijna is afgesloten van zee-invloed.
Volledig afgesnoerde strandvlakte	Deel van het strand of strandvlakte dat door duinontwikkeling volledig is afgesloten van zee-invloed.
Stuifdijk	Rechte duinenrij, ontstaan door het invangen van autonoom stuivend zand in stuifschermen en aanplant.
Washover	Opening in zeereep/duinenrij waardoor zeewater van Noordzee naar Waddenzee kan stromen (op de Wadden).
Kwelder	Aangeslibd vlak en begroeid gebied, vaak in de luwte van stuifdijken of duinen, dat alleen nog bij stormvloed overstroomt.
Oogduin /hoefijzerduin	Ring of hoefijzervormig duin op de kwelder, gevormd door wind en water.
Paraboliserende zeereep	Gekerfde zeereep met actief landwaarts bewegende depositielobben.

door aanzanding van een zandplaat. Op de hogere delen van het strand of de strandvlakte begint de vegetatieontwikkeling met embryonale duinen. Op lagere delen kan een groen strand ontstaan, met vegetatietypen uit de haloserie (zout). Door de groei van biestarwegras en helm breiden de duinen zich zeewaarts uit. Op de strandvlakte groeien embryonale duinen geleidelijk aaneen tot een duinenrij met witte duinen. Hierdoor wordt het strand gedeeltelijk afgesloten van de zee en ontstaat een onvolledig afgesnoerde strandvlakte, met een brakke of zoute vegetatieontwikkeling. In een volgend stadium groeien de duinen verder aaneen tot een gesloten duinenrij en ontstaat een volledig afgesnoerde strandvlakte.

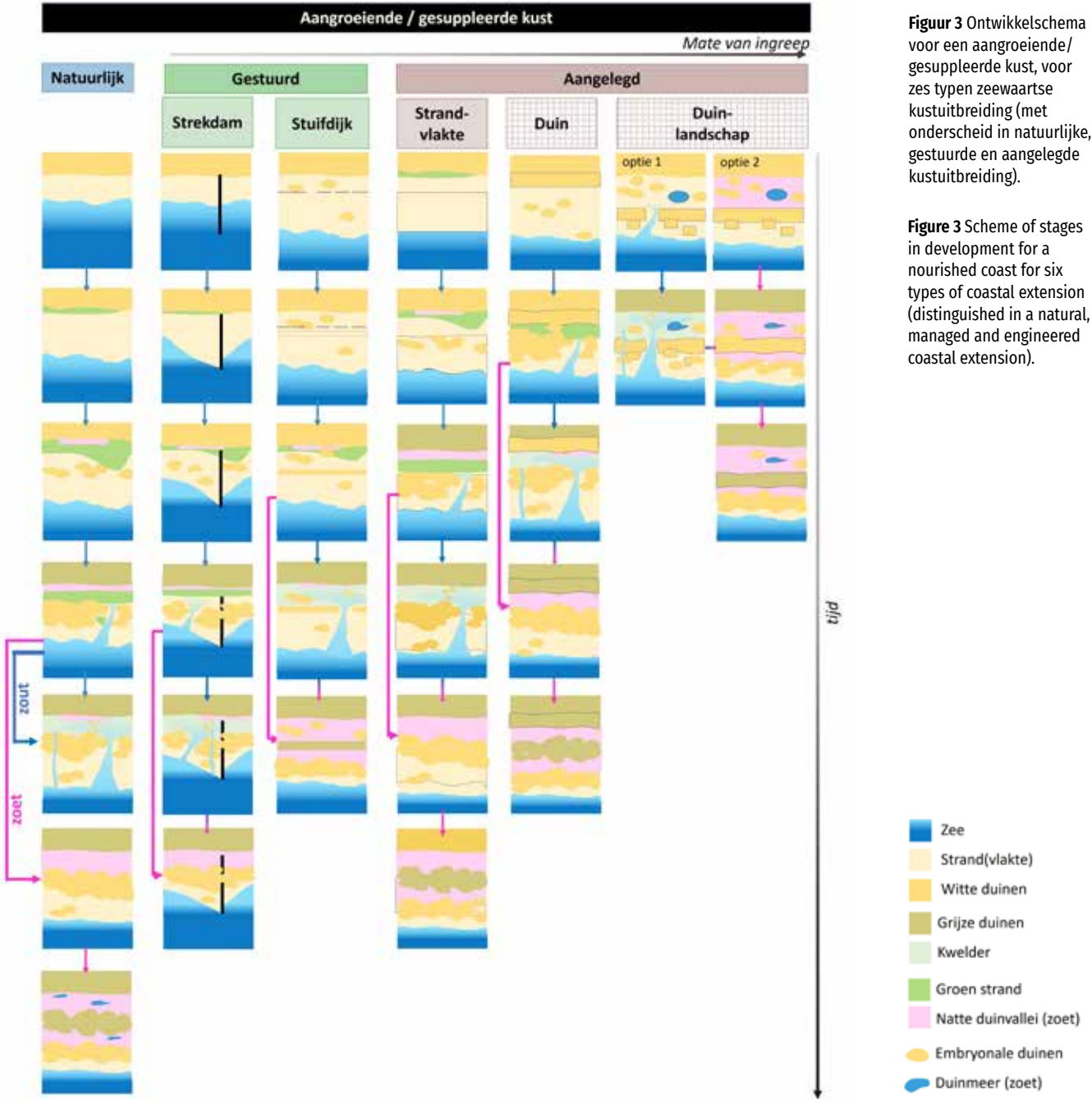
Door verzoeting kan de vegetatie van de haloserie vervolgens overgaan in vegetatie van de hydroserie, bijvoorbeeld in de vorm van duinvalleien. In de achterliggende duinenrij neemt de dynamiek af en komt ook successie in de xeroserie op gang: van witte duinen, via duindoornstruweel, naar grijze duinen. Tussen oude en nieuwe duinen kunnen door uitstuiving zoete (vochtige) duinvalleien ontstaan met vegetatie uit de hydroserie.

Ontwikkeling bij een strekdam (gestuurd)

Bij de aanleg van een pier of dam ontstaat een strandvlakte door sedimentatie rondom de constructie. Deze aangroeiende strandvlakte volgt vervolgens dezelfde ontwikkelstadia als bij natuurlijke ontwikkeling. Voorbeelden zijn de strandvlaktes van het Kennemerstrand en de Eierlandse Dam (figuur 2). Hier zijn inmiddels duinen en (on)volledig afgesnoerde strandvlaktes ontstaan. Lokaal blijft de duinontwikkeling echter achter of komt deze niet op gang, bijvoorbeeld door intensief recreatief gebruik.

Ontwikkeling bij een stuifdijk (gestuurd)

Door het plaatsen van stuifschermen, al dan niet in combinatie met aanplant, kan duinontwikkeling gericht worden gestimuleerd. Hierdoor verloopt de opbouw van een duinenrij en de ontwikkeling van de xeroserie veel sneller. In relatief korte tijd kan een groot deel van de strandvlakte geheel of gedeeltelijk worden afgesnoerd, waardoor ook habitattypen uit de hydroserie en – bij blijvende zee-invloed – uit de haloserie kunnen ontstaan.



Figuur 3 Ontwikkelingschema voor een aangroeiende/gesuppleerde kust, voor zes typen zeewaartse kustuitbreiding (met onderscheid in natuurlijke, gestuurde en aangelegde kustuitbreiding).

Figure 3 Scheme of stages in development for a nourished coast for six types of coastal extension (distinguished in a natural, managed and engineered coastal extension).

Ontwikkeling bij een aangelegde strandvlakte

Door de aanleg van een strandvlakte met een (mega) suppletie wordt de vorming van een strandvlakte versneld of zelfs overgeslagen. De ontwikkeling kan dan direct overgaan naar het stadium van embryonale duinen of een groen strand, zoals beschreven bij natuurlijke ontwikkeling. Het enige voorbeeld van een aangelegde strandvlakte in Nederland is de Zandmotor bij Ter Heijde (Zuid-Holland). Dit project ligt echter aan een erosieve kust, niet aan een aangroeiende kust. De Zandmotor is aangelegd vanuit het uitgangspunt dat het systeem uiteindelijk geheel zal eroderen.

Ontwikkeling bij een aangelegd duin

De aanleg van een duinenrij langs de Nederlandse kust betreft meestal duinversterkingen, op locaties waar de oorspronkelijke waterkering niet meer aan de veiligheidseisen voldeed. Door natuurlijke overstuiving kunnen deze kunstmatige structuren geleidelijk een natuurlijker karakter krijgen, zowel geomorfologisch als ecologisch. In dergelijke situaties domineren vooral habitattypen uit de xeroserie, waarbij duindoornstruweel zich vaak sterk kan uitbreiden door gebrek aan dynamiek.

Ontwikkeling bij een aangelegd duinlandschap

Een verdere stap is de aanleg van een volledig duinlandschap. Een voorbeeld hiervan is het Spanjaardsduin, waar een deel van strand en vooroever is afgesnoerd door een kunstmatige duinenrij, met daarachter een vallei om ontwikkeling van habitattypen uit de hydroserie te stimuleren. Bij de Hondsbossche Duinen is de afsnoering niet volledig aangelegd, waardoor er ook mogelijkheden zijn voor habitattypen uit de haloserie. Een belangrijke factor bij dergelijke projecten is het gebruikte materiaal. Soms wordt zand toegepast met een relatief hoog gehalte aan klei, grind of schelpen. Dit kan leiden tot een andere bodem- en vegetatieontwikkeling dan bij natuurlijke systemen.

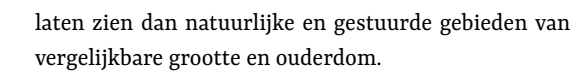
Ontwikkeling in aangelegde gebieden

De relatie tussen het aantal geomorfologische eenheden en het aantal habitattypen in de studiegebieden is weergegeven in figuur 4. Naarmate het aantal geomorfologische eenheden toeneemt, neemt ook het aantal habitattypen toe. Een grotere variatie in geomorfologische eenheden leidt tot een grotere variatie in abiotische condities, bijvoorbeeld hoogteverschillen die resulteren in verschillen in zee-involed en winddynamiek. Dit vertaalt zich in een grotere diversiteit aan vegetatietypen. Dit resultaat sluit aan bij Tews et al. (2004) en Stein et al. (2014), die stellen dat ruimtelijke variatie in abiotische condities leidt tot een groter aantal niches en daarmee tot hogere soortenrijkdom.

De lineaire regressie tussen beide parameters heeft voor alle categorieën een vergelijkbare richtingscoëfficiënt ($p \geq 0,05$; ANCOVA-interactietoets). Gestuurde en natuurlijke gebieden hebben echter significant meer habitattypen dan aangelegde gebieden (respectievelijk +6,1 en +4,5 habitattypen; beide $p < 0,05$; Tukey post-hoc toets). Gestuurde en natuurlijke gebieden verschillen onderling niet significant ($p = 0,58$).

Het versnellen van de geomorfologische ontwikkeling door directe aanleg van geomorfologische eenheden blijkt in de onderzochte studiegebieden dus gepaard te gaan met een lagere natuurkwaliteit. De diversiteit aan geomorfologische eenheden en habitattypen hangt daarnaast samen met de oppervlakte van een gebied en de ontwikkeltijd (figuur 5). Een grotere oppervlakte en een langere ontwikkelingsperiode leiden tot een grotere diversiteit aan geomorfologische eenheden en habitattypen: hoe groter en ouder een gebied, hoe groter de variatie in standplaatsfactoren en hoe breder het spectrum aan successiestadia van vegetatie.

De aangelegde gebieden hebben over het algemeen een kleinere oppervlakte en een kortere ontwikkeltijd, wat resulteert in minder habitattypen en dus lagere natuurwaarden. Opvallend is echter dat ook grotere en oudere aangelegde gebieden lagere natuurwaarden



De verklaring voor deze lagere natuurwaarde ligt dus niet uitsluitend in ruimte en tijd, maar ook in andere factoren. Op basis van de voorbeeldgebieden zijn factoren geïdentificeerd op het gebied van ontwerpqualiteit, gebruik en beheer die een suboptimale ontwikkeling van natuurwaarden kunnen verklaren.

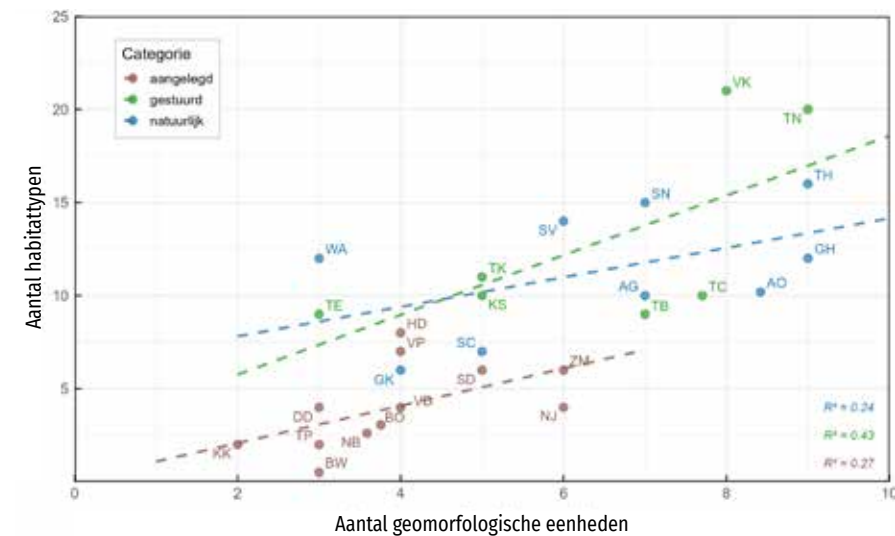
Conclusies en richtlijnen

Op basis van dit onderzoek zijn richtlijnen opgesteld voor vier aspecten: (1) ruimte, (2) tijd, (3) (ecologische) kwaliteit en (4) het ontwerp- en beheerproces.

Figuur 6 geeft hiervan een samenvattend overzicht.

1. Ruimte

De algemene richtlijn luidt: hoe groter, hoe beter. Een groter oppervlak biedt meer ruimte voor natuurlijke ontwikkeling en voor het ongestoord optreden van natuurlijke processen. Hierdoor neemt de kans toe dat een volledig landschap met een grotere diversiteit aan geomorfologische en ecologische eenheden ontstaat. Meer ruimte maakt bovendien zonering mogelijk en biedt kansen om functies zoals recreatie en natuur beter van elkaar te scheiden. Daarbij is vooral de afstand loodrecht op de kust van belang. Zo levert een gebied van 250.000 m² naar verwachting meer gradiënten op als de dimensie ca 500 bij 500 m (loodrecht en evenwijdig aan de kust) is, dan wanneer het zich 100 m lood-



Figuur 4 Relatie tussen het aantal geomorfologische eenheden en het aantal habitattypen voor natuurlijke, gestuurde en aangelegde systemen. Onderbroken lijnen geven lineaire regressie weer per categorie (en berekende R^2 per categorie).

Figure 4 Relation between the number of geomorphological units and the number of habitat types for natural, steered and constructed systems. Dashed lines show linear regression per category (and calculated R^2).

Aangelegd/ engineered:

BO: Breskens Oost
BW: Breskens West
DD: Duinversterking Delfland
HD: Hondsbossche Duinen
KK: Katwijk Kustwerk
NB: Noord-Beveland De
Banjaard
NJ: Neeltje Jans

SD: Spanjaardsduin
TP: Texel Prins Hendrik Zanddijk
VD: Van Dixhoorndriehoek
VP: Voorne Punt
ZM: Zandmotor

Gestuurd / managed

KS: Kennemerstrand
TB: Terschelling De Boschplaat

TC: Terschelling Cupidopolder
TE: Texel Eijerlandse Dam
TK: Texel Kreefte Polder
TN: Terschelling Noordsvaarder
VK: Vlieland Kroon's Polders

Natuurlijk / natural:

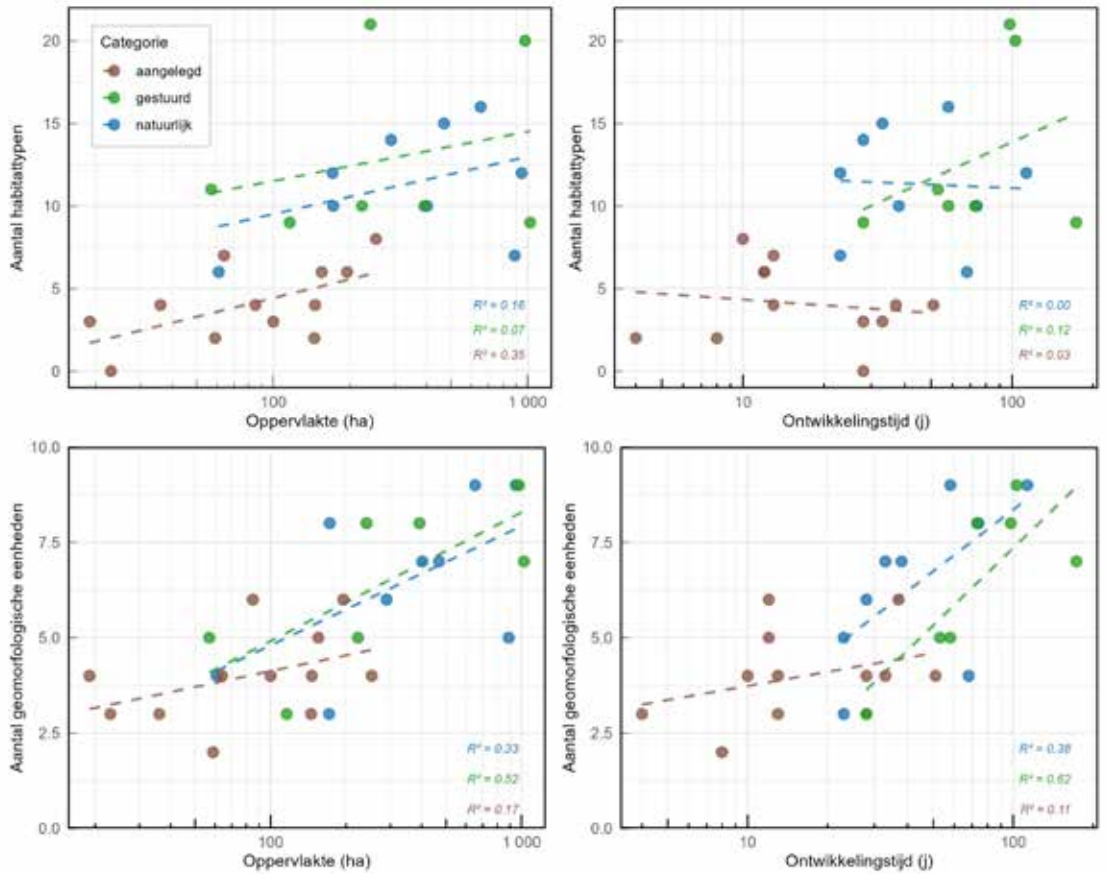
AG: Ameland Groene Strand
AO: Ameland Oost

GH: Goeree Kwade Hoek
GK: Groote Keeten
SC: Schiermonnikoog
SN: Schiermonnikoog Noor-
derstrand
SV: Schouwen Verklikkerstrand

WA: Walcheren Oranjezon

Figuur 5 Relatie tussen de gebiedsgrootte (links) en ouderdom (rechts) en het aantal habitattypen (boven) en geomorfologische eenheden (onder), voor de verschillende type studiegebieden. De onderbroken lijnen geven log-lineaire regressies weer (per categorie, R^2 rechtsonder weergegeven). Let op: de horizontale as is op een log-schaal.

Figure 5 Relationship between surface area (left) and age (right) and the number of habitat types (top) and geomorphological units (bottom) differentiated by type of coastal extension. The dashed lines represent log-linear regressions (per category, R^2 shown in the bottom right). Note: the horizontal axis is on a logarithmic scale.



recht en 2.500 m evenwijdig aan de kust uitstrekt.

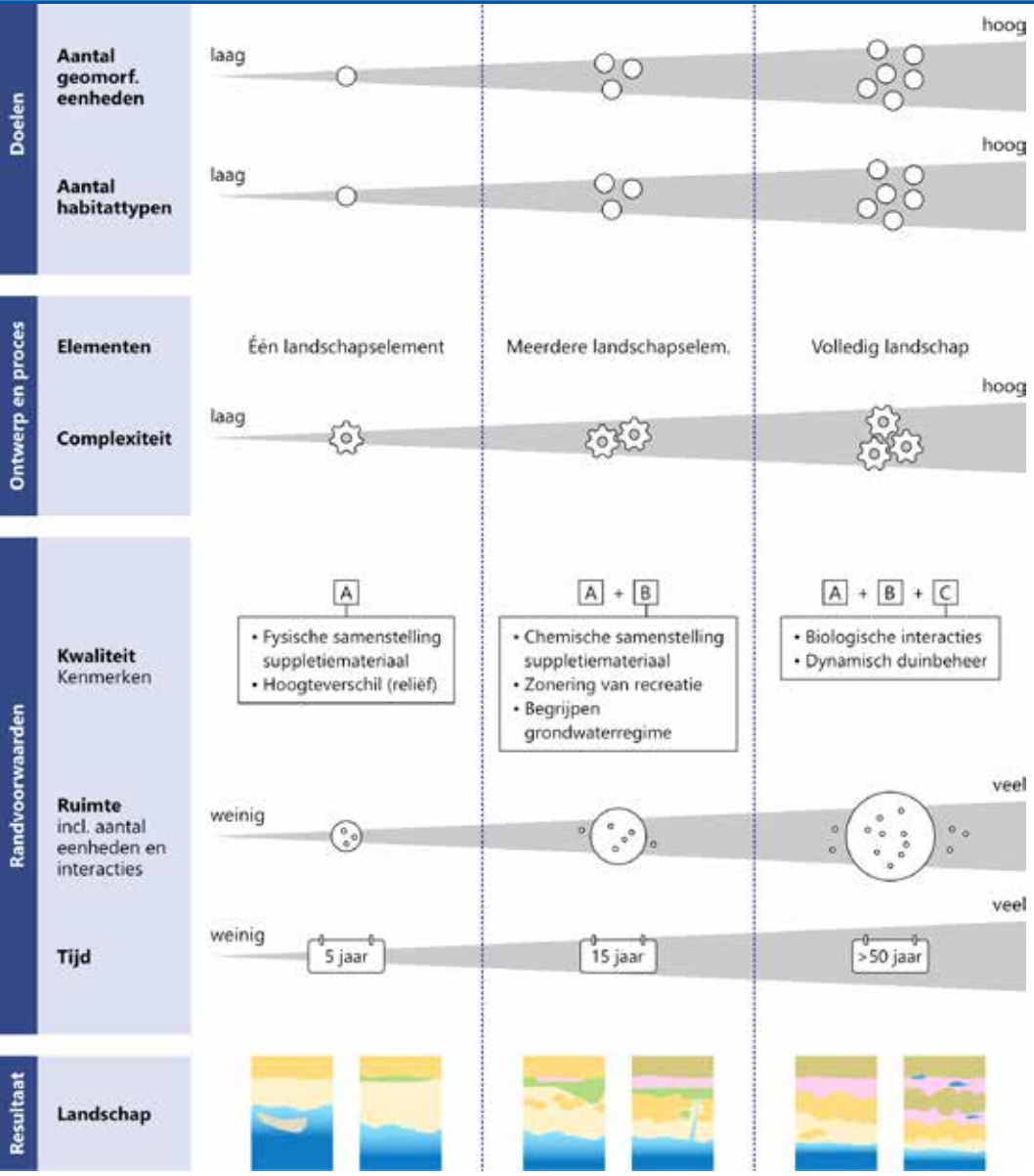
Voor een aangelegde strandvlakte die geschikt is voor de ontwikkeling van embryonale duinen geldt als minimale dimensies: een breedte (loodrecht op de kust) van 150–250 m, een lengte evenwijdig aan de kust van meer dan 300 m en een minimale afstand tot de hoogwaterlijn van circa 100 m (totale strandbreedte 250–350 m). Voor verdere ontwikkeling richting duingroei en gedeeltelijke afsnoering van strandvlaktes met brakke tot zoete vegetatie is meer ruimte nodig.

2. Tijd

De ontwikkeling van duingebieden met gevarieerde natuurwaarden kost tijd. Hoe complexer het beoogde ecosysteem of landschap, hoe langer de benodigde ontwikkelingsperiode. Voor de ontwikkeling van een divers systeem onder invloed van natuurlijke processen is doorgaans minstens vijftig jaar nodig. Wanneer een strand of strandvlakte voldoende breed is, kunnen embryonale duinen al binnen vijf jaar ontstaan. Na aanleg van een strekdam duurt dit proces doorgaans 15–30 jaar, omdat eerst een strandvlakte van voldoende omvang moet ontstaan. Het proces van afsnoering kan worden versneld door duingroei te stimuleren met

Figuur 6 Het effect van zeewaartse kustuitbreidingen op de ontwikkeling van nieuwe natuur en/of bestaande natuurwaarden. Afhankelijk van de doelstelling is het ontwerpproces complexer en gelden verschillende randvoorwaarden voor kwaliteit, ruimte en tijd. Het resulterende landschap is schematisch weergegeven (zie ook figuur 3).

Figure 6 The effect of seaward coastal extensions on the development of new nature and/or existing natural values. Depending on the objective, the design process is more complex and different boundary conditions apply regarding quality, space, and time. The resulting landscape is schematically represented (see also figure 3).



stuifdijken of aanplant, of door duinen direct aan te leggen. Kunstmatige structuren kunnen onder invloed van overstuiving binnen tien jaar een veel natuurlijker morfologie krijgen, afhankelijk van de beschikbare

hoeveelheid zand. De ontwikkeling van natuurwaarden verloopt echter langzamer, omdat bodemvorming, sedimentsortering en vegetatieontwikkeling tijd vragen.

3. Kwaliteit

De kwaliteit die nodig is voor de ontwikkeling van een volledig duin- en kustecosysteem wordt onder meer bepaald door:

- **Hoogteligging en reliëf.** De maximale suppletie-hoogte moet lager liggen dan het gemiddeld spring-tij. Bij een direct aangelegde strandvlakte moet de aanleghoogte en helling richting de laagwaterlijn zodanig zijn dat golfwerking nog voldoende sedi-ment kan verplaatsen. Dit bevordert verstuing en zoutspray en zorgt ervoor dat de suppletie optimaal bijdraagt aan de ontwikkeling van het duinsysteem.
- **Samenstelling van het suppletiemateriaal.** Het mate-riaal dat wordt toegepast moet zo veel mogelijk over-eenkomen met het natuurlijke sediment. Belangrijke eigenschappen zijn korrelgrootte, kalkgehalte en de aanwezigheid van schelpen, kleideeltjes of grind. Ide-aliter wordt relatief lokaal zand gebruikt, zodat na-tuurlijke sedimentsortering kan plaatsvinden.
- **Grondwater.** Grootchalige suppleties kunnen het lokale grondwatersysteem beïnvloeden. Inzicht in de waterhuishouding is daarom essentieel om ef-fecten op bestaande en nieuwe duinnatuur te be-oordelen. Soms volstaat een expertinschatting, maar in andere gevallen is modelonderzoek nodig.
- **Recreatie.** Al in de ontwerpfasen moet rekening wor-den gehouden met de mogelijke impact van recre-atie. Infrastructuur vormt vaak een harde ingreep die natuurlijke dynamiek kan beperken. Bovendien remt strandbeheer met voertuigen de ontwikkeling van embryonale duinen. Voor een volledige ontwik-keling is het daarom nodig om rijbewegingen te be-perken en recreatieve betreding te reguleren.
- **Biologische interacties.** Soorten beïnvloeden elkaar en hun omgeving. Wanneer bepaalde soorten ont-breken of juist domineren, kan dit de ontwikkeling van specifieke habitattypen beperken. Natuurlijke begrazing kan bijvoorbeeld helpen om dominantie van duindoornstruweel te voorkomen.

- **Dynamisch duinbeheer.** Grootchalige fixatie van zand door aanplant van helm moet worden verme-den. Onder dynamische omstandigheden leveren suppleties de grootste bijdrage aan de ontwikkeling van duinnatuur. Variatie in aanplant en het open-laten van delen van het terrein kunnen helpen om dynamiek te behouden.

4. Ontwerp en beheerproces

Zeewaartse kustuitbreidingen zijn in het verleden vaak geïnitieerd vanuit waterveiligheid en kustverdediging, waarbij natuurdoelstellingen niet altijd expliciet zijn geformuleerd. Hoewel in de komende 15–20 jaar van-uit waterveiligheid waarschijnlijk geen grootchalige versterkingsopgaven worden verwacht, bieden de hier geformuleerde richtlijnen aanknopingspunten voor natuurontwikkeling in combinatie met reguliere kust-handhaving. Natuurdoelen moeten daarbij concreet, realistisch en haalbaar worden geformuleerd.

Het ontwikkelen van volledige gradiënten en succes-siereeksen in een klein gebied is meestal niet realis-tisch. De complexiteit van natuurdoelen moet daarom in balans zijn met de ruimtelijke en temporele schaal van een gebied. Complexere landschappen vereisen een integrale ontwerpbenadering met inzicht in de interactie tussen natuurlijke processen binnen en bui-ten het gebied en een langetermijnvisie op beheer en ontwikkeling. Aandacht voor beheer, onderhoud en monitoring is daarbij essentieel, zodat waar nodig kan worden bijgestuurd.

Kortom, zeewaartse kustuitbreiding biedt belangrijke ecologische kansen, maar alleen wanneer natuurlijke processen leidend zijn in ontwerp en beheer. Versnelling van morfologische ontwikkeling betekent niet automa-tisch een versnelling van ecologische ontwikkeling.

De auteurs zijn erkentelijk voor de financiering van het onder-zoeksproject Megasuppleties en zeewaartse duinontwikkeling door OBN (Leenders et al., 2025).

Summary

Design principles for combining coastal extension and nature development

Jakolien Leenders, Sjoukje de Lange, Bas Arens & Martijn Antheunisse

coastal extension, dune landscape, habitat types, natural value, geomorphology

Dune ecosystems in the Netherlands face growing pressure due to coastal erosion, rising sea levels, nitro-gen deposition, acidification, overgrowth, increased recreation, and spatial claims from other land uses. This is especially critical in narrow dune zones, where many interests converge. Rising sea levels will exacer-bate this pressure in the future. Large-scale natural dynamics are often not feasible in these areas because of risks to coastal defenses and adjacent land use.

Reinforcement of dunes or construction of seawalls can harm ecological quality and limit natural lands-cape development. Seaward strategies offer promising solutions to the increasing pressure on dune areas. Based on research of 28 case study areas, design prin-ciples and guidelines have been derived. A solid plan, sufficient time, space, and quality make it possible for nature enhancement and coastal extension to go hand in hand - now and in the future.

Literatuur

Arens, S.M., Everts, F.H., Kooijman, A.M., Leek, S.T., Nijssen, M., & De Vries, N.P.J. (2012). *Ecologische effecten van zandsuppletie op de duinen langs de Nederlandse kust*. Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie / Rijkswaterstaat Waterdienst, Progra-ma Kustlijn zorg-Ecologie, rapport nr. 2012/OBN166-DK.

Bij12 (2025). Nationale Databank Vegetatie- en Habitatkarteringen. <https://esri-geoservices.bij12.nl/vertigisstudio/web/?app=5891ddd6d8e64b-8ba2bb21b3b5e2a29f>

Bobbink, R., Hicks, K., Galloway, J., Spranger, K., Ashmore, M., & Bustamante, M. (2010). Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: A synthesis. *Biological Conservation* 143(2), 298–312.

Deltares (2009). *Megasuppleties langs de Neder-landse kust: Verkenning van ecologische, veiligheids- en socio-economische effecten*. Deltares, rapport Z4792.

Geelen, L., Arens, B., Kooijman, A., Nijssen, M., Groenendijk, D., Van der Hagen, H., & Janssen, M. (2022). Ecologisch herstel in de duinen – knoppen om aan te draaien. *Vakblad Natuur Bos en Land-schap* 182 (februari 2022), 16-19.

De Groot, A., Oost, A.P., Veeneklaas, R.M., Lam-merts, E.J., Van Duin, W.E., Van Wesenbeeck, B.K., ... Koppenaal, E.C. (2015). *Ontwikkeling van eiland-staarten, geomorfologie, waterhuishouding en vegetatie*. Vereniging van Bos- en Natuureigenaren (VBNE), Rapport 015/OBN198-DK.

Klijn, J.A. (1981). *Nederlandse kustduinen, geo-morfologie en bodems*. Pudoc, Centrum voor land-bouwpublicaties en landbouw documentatie.

Kooijman, A.M., Besse M., & Haak R. (2005). *Effectgerichte maatregelen tegen verzuring en eutrofiering in open droge duinen. Eindrapport fase 2*. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwa-liteit, Directie Kennis, rapport DK nr. 2005/dk008-O.

Lansu, E.M., Reijers, V.C., Höfer, S., Luijendijk, A., Rietkerk, M., Wasssen, M.J., ... Van der Heide, T. (2024). A global analysis of how human infrastruc-ture squeezes sandy coasts. *Nature communica-tions* 15, 432,

Leenders, J.K., Arens, S.M., Antheunisse, A.M., De Lange, S., & Aggenbach, C.J.S. (2025). *Megasupple-ties en zeewaartse duinontwikkeling. Eindrappor-tage*. Kennisnetwerk OBN, rapport 2025/UPN-2022-013-DK

Stein, A., Gerstner, K., & Kreft, H. (2014). Environ-mental heterogeneity as a universal driver of species richness. *Ecology Letters* 17(7), 866–880.

Stive, M. De Schipper, J.F., Luijendijk, M.A., & Aarninkhof, S. (2013). A new alternative to saving our beaches from sea-level rise: The Sand Engine. *Journal of Coastal Research* 29(5), 1001-1008.

Temmerman, S., Meire, P., Bouma, T., Herman, P.M., Ysebaert, T., & De Vriend, H. (2013). Ecosystem-ba-sed coastal defence in the face of global change. *Nature* 504, 79–83.

Tews, J., Brose, U., Grimm, V., & Tielbörger, K. (2004). Animal species diversity driven by habitat heterogeneity. *Journal of Biogeography* 31, 79–92.

Van Slobbe, E., De Vriend, H.J., Aarninkhof, S., Lulofs, K. De Vries, M., & Dircke, P. (2013). Building with nature: In search of resilient storm surge protection strategies. *Natural Hazards*, 66, 1461–1480.