



Memo

Aan
mw. C. van Gelder-Maas, mw. P. Damsma

Datum	Ons kenmerk	Aantal pagina's
4 oktober 2019	11201431-003-ZKS-0004	15
Contactpersoon	Doorkiesnummer	E-mail
Bas Huisman	+31(0)88 335 8561	Bas.Huisman@deltares.nl

Onderwerp
Visievorming toepasbaarheid ARGUS

1 Inleiding

In de zomer van 2011 is de grootschalige Zandmotor suppletie (21 miljoen m³) aangelegd op de Delflandse kust bij Ter Heijde. Om de ontwikkeling van deze suppletie in de tijd te onderzoeken worden zowel in-situ metingen verzameld (bijv. bodemhoogte metingen, stuifzand- en zoutmetingen, benthos en sediment monsters) als continue beelden van de ontwikkeling met camera's ('remote sensing').

De permanente camera's zijn aangebracht op een toren welke zich in het midden van de Zandmotor bevindt (Figuur 1.1; 'ARGUS station'). Middels algoritmes worden de beelden omgezet naar bovenaanzichten van de verandering van de kustlijn die voor onderzoek worden gebruikt. Op basis hiervan zijn verschillende publicaties gemaakt met betrekking tot positie van zandbanken, duinontwikkeling en stromingsberekeningen (o.a. Hage et al., 2018; Van der Weerd & Wijnberg, 2016; Wengrove et al., 2013; Radermacher et al., 2018; Rutten et al., 2018).



Figuur 1.1 Zandmotor (links) en ARGUS mast (rechts).
De locatie van de ARGUS mast is gemarkeerd met een groene cirkel.

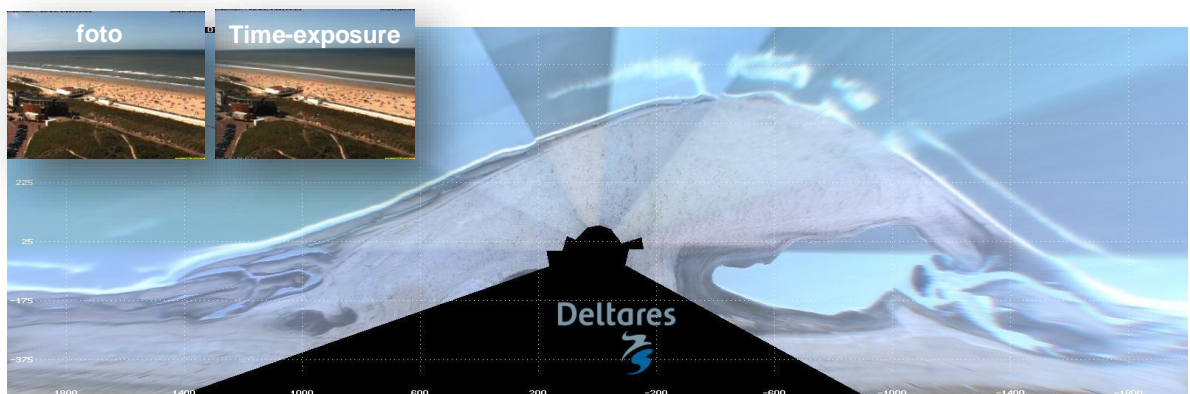
Het ARGUS systeem was daarmee in de afgelopen jaren een bron van informatie voor onderzoekers van de kust. Voor het direct beantwoorden van beheervragen van waterschappen en Rijkswaterstaat (RWS) is vrijwel geen gebruik gemaakt wordt van de ARGUS informatie. Sinds 2018 beheert de TU-Delft (samen met Oregon State University) tevens de data-connectie en inwinning op de ARGUS-mast. Deze regeling volgde op het sinds 2016 regelmatig offline zijn (i.v.m. met verkoop grondstation in Kijkduin door het waterschap). Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het beheer en onderhoud van de fysieke mast, vanuit oogpunt dat hiermee de kennisontwikkeling van zandige kusten wordt gefaciliteerd. De doelmatigheid van dit beheer

is vanzelfsprekend van belang, zeker gezien het feit dat de ARGUS-mast de oorspronkelijk beoogde levensduur van 10 jaar al begint te naderen. Technisch is een verlenging van de levensduur prima mogelijk (i.e. de mast kan later worden verwijderd).

Het doel van deze memo is om bij te dragen aan de beslissing omtrent een eventuele verlenging van de levensduur van de ARGUS-mast. De kennisontwikkeling op basis van ARGUS wordt samengevat, waarna de relevantie van de ARGUS-mast voor toekomstig onderzoek wordt toegelicht. Tevens wordt nagedacht over de bijdrage die vanuit metingen ter plaatse van de ARGUS-mast geleverd zou kunnen worden aan de beheervragen van Rijkswaterstaat en waterschappen (m.b.t. duinveiligheid, kustlijnonderhoud, beheer van het strand).

2 Toepassing ARGUS-beelden

Middels analyse van de ARGUS beelden kan een continu beeld worden verkregen van de ontwikkeling in de tijd van de bodemhoogte van het intergetijde-strand, stromingen, windtransportpatronen op het droge strand en duinvegetatie. Voordat analyses worden uitgevoerd, worden de camerabeelden meestal eerst gemiddeld in de tijd (time-exposure) zodat korte variaties (en kleine verstoringen) worden weg-gefilterd. Met correctietechnieken (en ingemeten controlepunten) kunnen bovenaanzichten worden samengesteld op basis van de camerabeelden (Figuur 2.1). In feite worden de camerabeelden dan geprojecteerd op het 'trapezium' kust dat in beeld is. Opgemerkt wordt dat de beschikbaarheid van ter plaatse ingemeten controlepunten noodzakelijk is voor de ARGUS techniek, wat er voor zorgt dat er niet zomaar 'samengestelde beelden' gemaakt kunnen worden op willekeurige andere locaties. Dit beperkt de flexibiliteit van de methode enigszins, alhoewel methodes om het samenstellen van de beelden (en het geven van een geo-referentie) automatisch te doen wel onderzocht worden.



Figuur 2.1 Resultierend bovenaanzicht van de Zandmotor op basis van ARGUS camerabeelden

Deze bovenaanzichten van het strand kunnen gebruikt worden om verschillende analyses uit te voeren, waarvoor in de meeste gevallen tijdsgemiddelde beelden worden gebruikt ('time-exposure'), waarin de korte termijn veranderingen wegvallen. De meest gangbare analyse is de detectie van de waterlijn, waarvoor een automatische clustering van de natte en droge pixels wordt uitgevoerd (op basis van de 'Hue-Saturation'; Aarninkhof et al., 2003). Op de rand van het 'droge' en 'natte' gebied bevindt zich de waterlijn. De verticale positie van deze waterlijn kan bepaald worden als er meetgegevens zijn van het getij, waardoor verschillende dieptecontouren van het intergetijdestrand gemaakt kunnen worden (Figuur 2.2). De kustlijnpositie kan op deze

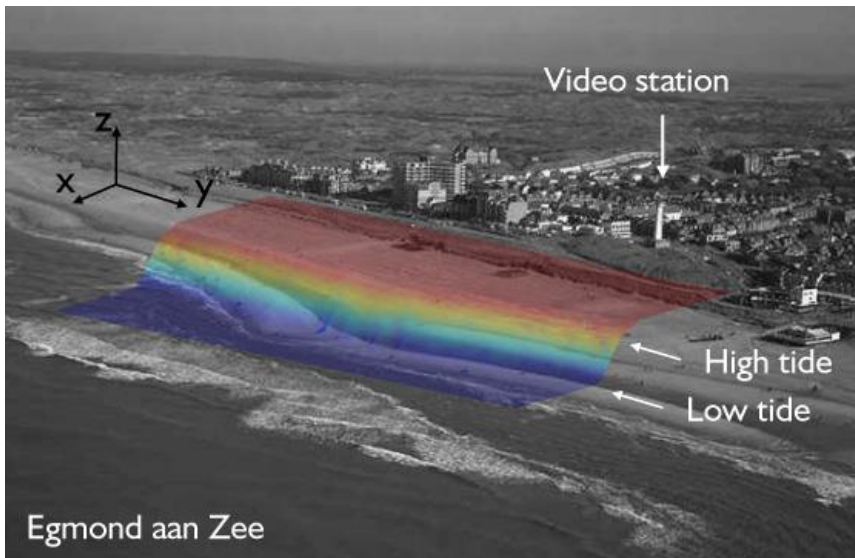


Datum
4 oktober 2019

Ons kenmerk
11201431-003-ZKS-0004

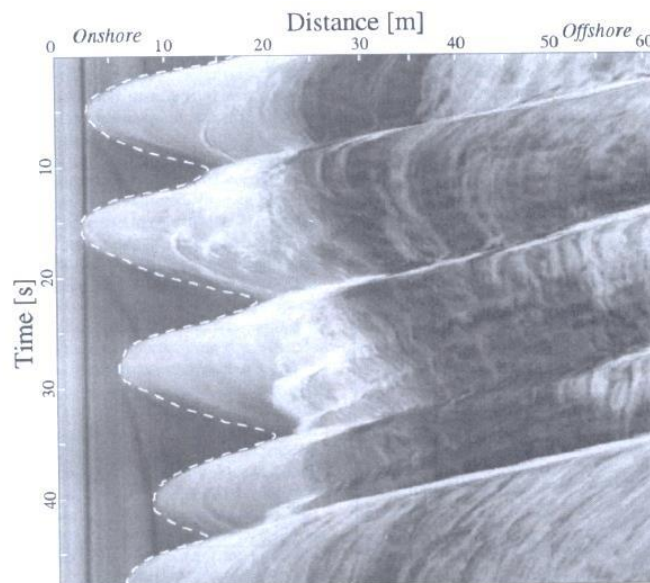
Pagina
3 van 15

wijze elke getijcyclus opnieuw worden bepaald. De resolutie is afhankelijk van de grootte van de waargenomen pixels van de camera bij de waterlijn, maar in veel gevallen voldoende voor een gedetailleerde weergave van de waterlijn.



Figuur 2.2 Bodemhoogte van het intergetijdestrand bij Egmond aan Zee op basis van ARGUS beelden

Op vergelijkbare wijze is ook de golfoploop op stranden gekwantificeerd op basis van camerabeelden (Holland & Holman, 1993). Met deze informatie kunnen voorspellingen van golfoploop worden verbeterd. Tevens kan inzicht verkregen worden in de kustlangse variabiliteit van de golven op het strand.

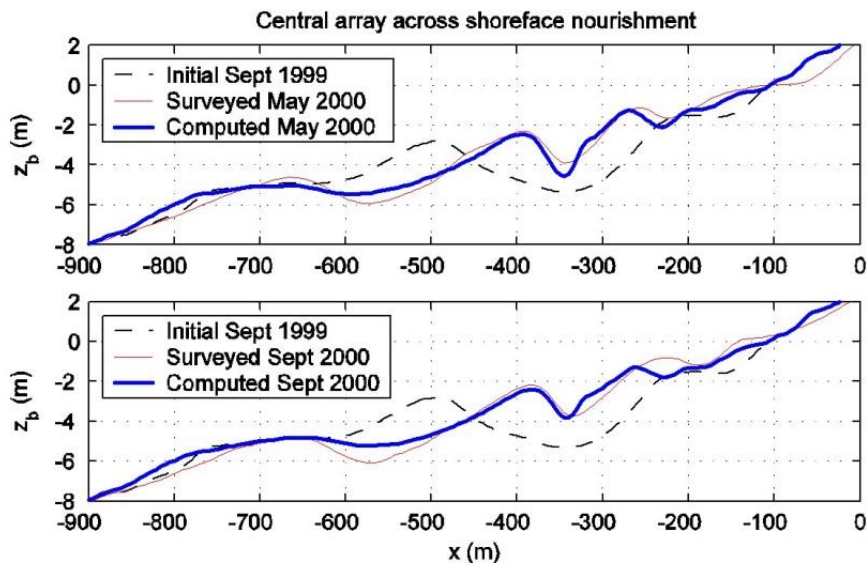


Figuur 2.3 Golfoploop op strand in de Verenigde Staten (Holland & Holman, 1993)

Andere analyses richten zich op de golfbreking op de brekerbank, welke in de 'time-exposure' beelden als een witte band te zien is in de zee (zie Figuur 2.1; Lippmann and Holman, 1989). Op basis van ARGUS beelden zijn de locaties van gevaarlijke offshore gerichte muistromen te

detecteren door de plekken in de branding te onderscheiden waar de 'witte band' onderbroken is (o.a. Ranasinghe et al., 1999; Holman et al., 2006; Gallop et al., 2008; Pitman et al., 2016). Tevens zijn camera's gebruikt de golfgedreven stroming langs de kust te kunnen vaststellen (Chickadel et al., 2003; Cohen et al., 2004). Echter de onzekerheid in deze waarnemingen is aanzienlijk, aangezien er schuim op het water aanwezig moet zijn om de waterbeweging te kunnen volgen.

De locatie van deze brandingszone geeft een goede indicatie van de positie van de brekerbank, welke dus tevens bepaald kan worden op basis van de beelden. De berekende golfbreking in numerieke modellen (Delft3D) kan vergeleken worden met de geobserveerde golfbreking, waarna de bodemhoogte in het model zodanig kan worden bijgesteld dat een goede vergelijking wordt verkregen (ook wel aangeduid als 'beach wizard'; Aarninkhof, 2003). In feite worden de beelden gebruikt om de verandering in de bodemhoogte van de vooroever tijdens stormen te analyseren. Opgemerkt moet worden dat de methode vooral goed werkt in het gebied waar de golven breken, terwijl er meer kustwaarts en zeewaarts minder informatie beschikbaar is. Aanvullend zijn dus gewone bodemhoogte surveys nodig om de bodemhoogte in ondiep en diep water aan te vullen. Tevens kan de waterdiepte op de plaats waar de golf breekt worden achterhaald (i.e. brekerbank-diepte), maar is het lastig om de precieze kustdwarse vorm van de brekerbank te herleiden.

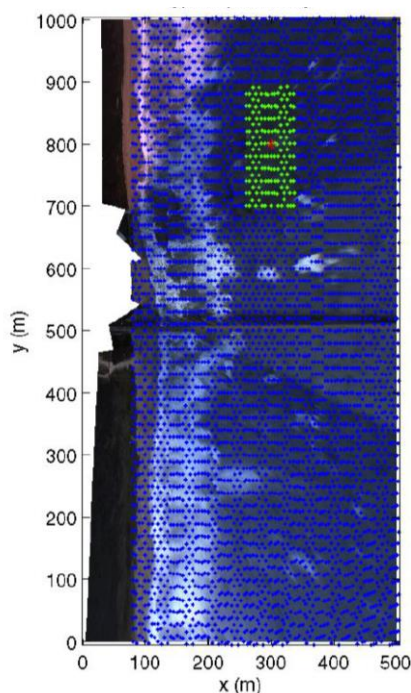


Figuur 2.4 Op basis van ARGUS beelden herleide bodemhoogte(verandering) bij Egmond (Aarninkhof, 2003)

De status van het 2D kustprofiel is op basis van ARGUS-beelden ingeschat door Lippmann, T. C., & Holman, R. A. (1990). Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen toestanden van de kust ('beach states') waarin in meerdere of mindere mate een zandbank (en rip-channels) aanwezig zijn. Het gaat om een kwalitatief onderscheid tussen verschillende situaties wat mogelijk nuttig kan zijn voor de morfologische ontwikkeling of veiligheid voor zwemmers (in verband met mogelijke muistromen). Bij de Nederlandse kust zijn de 'beach states' echter vrij stabiel, waardoor de noodzaak voor een dergelijke classificering beperkt is. Enkel ter plaatse van de grootschalige Zandmotor suppletie is meer variabiliteit waargenomen (Radermacher et al., 2017). Het herkennen van morfologische veranderingen kan voor echter voor sommige gebieden in de wereld (i.e. met vaargeulen / zandbanken en veel getij) wel nuttig zijn, zoals bijvoorbeeld voor de haventoeegang van Teignmouth en Santander (Medina et al., 2017).

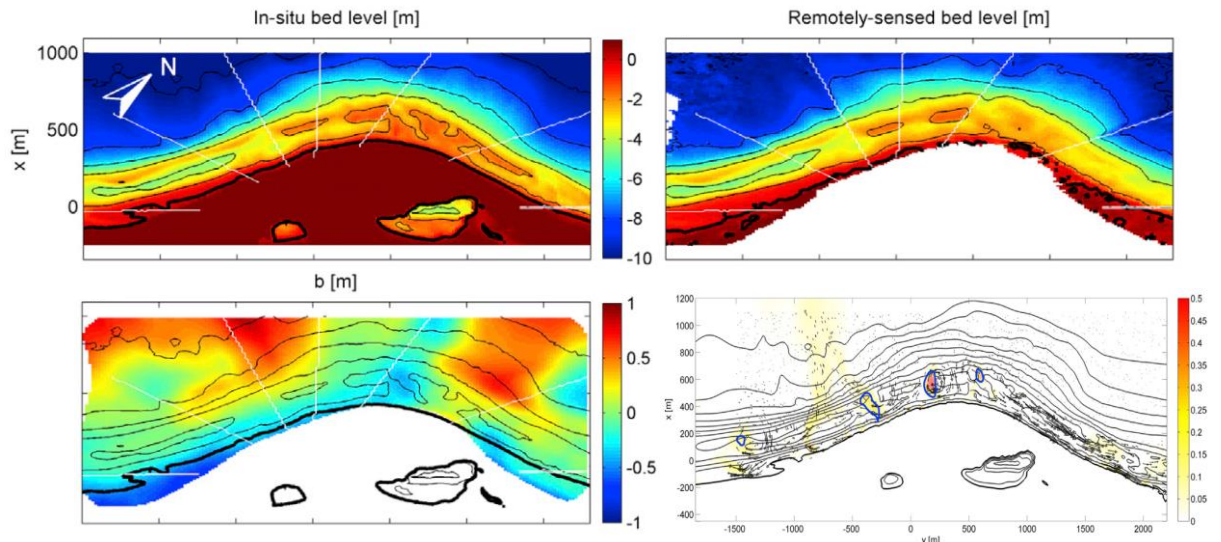


Voor het herleiden van de bodemhoogte in het gebied net buiten de branding wordt ook wel gebruik gemaakt van een techniek (cBathy; Stockdon & Holman, 2000; Holman et al., 2013) die de eigenschappen van golven in dieper water gebruikt (o.a. golfperiode en golfrichting). Hierbij wordt de propagatiesnelheid (en refractie) van de golfkammen gevolgd in een bepaald gebied (zie groene pixels in Figuur 2.5). Op basis van de voortplantingssnelheid van de golven én golflengte (en periode) kan de bodemhoogte iteratief worden herleidt gebruikmakend van de dispersierelatie van golven (i.e. formule voor verplaatsingssnelheid van golven welke afhangt van waterdiepte en periode).



Figuur 2.5 Pixel sampling array (Holman et al., 2013)

Het voordeel van de cBathy methode is dat er een continue meting van de bodem kan plaatsvinden op basis van camerabeelden, terwijl gewone surveys meestal slechts één of enkele keren per jaar worden uitgevoerd. De nauwkeurigheid van de methode is (ook voor deze methode) echter minder groot dan voor reguliere in-situ bodemhoogtemetingen. Radermacher et al. (2018) maakt een toepassing voor de Zandmotor (Figuur 2.6) waaruit naar voren komt dat een goede voorspelling wordt verkregen in waterdieptes van 3 tot 4 meter voor het gebied dat recht voor de mast is gelegen (+/- 20cm ten opzichte van de met de jetski gemeten bodemhoogte). Dicht bij de kust (MSL -1m) ligt de door cBathy geschatte bodem echter tot 1 meter lager dan de werkelijk gemeten bodem, terwijl de diepte in 6 tot 10 meter water diepte tot 1 m hoger lag in cBathy dan in de metingen. Wengrove et al. (2013) geeft een bias van -0.5 en -0.18 (en RMSE van 1.27 en 1.01 m) voor twee momenten in de tijd voor een toepassing bij Kijkduin in Feb 2013. Door Rutten et al. (2017) is ook vastgesteld dat er meestal een onderschatting van de diepte plaats vindt in diep water (-0.59 m bij een water diepte >5m) en een overschatting in ondiep water (+0.92 m bij een waterdiepte <1m). Voor het ondiepe water in de branding (1 tot 4 meter diepte) is de afwijking gemiddeld gezien klein. Hiermee presteert de methode die gebruikt is nog wel iets beter dan de schatting die gemaakt is met radarbeelden (afwijking van -1 en +2.3 m in diep en ondiep water).



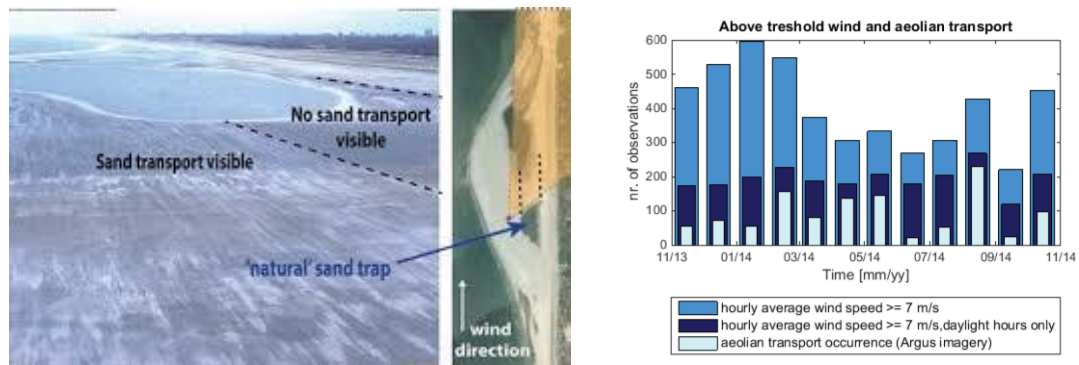
Figuur 2.6 Toepassing cBathy voor de Zandmotor (Radermacher et al., 2018)

Ondanks de onzekerheid in de bodemhoogte voorspellingen met cBathy, kan er toch een voorspelling gemaakt worden van de locatie van de muistromen gebruik makend van een Delft3D model dat aangestuurd wordt door de met cBathy voorspelde bodem (Figuur 2.6). Door Radermacher et al. (2018) wordt aangegeven dat de meeste voorspelde muistromen (door dit model) er ook daadwerkelijk zijn, waardoor het relevant is daarvoor te waarschuwen. Er wordt echter ook aangegeven dat een deel (circa 45%) van de muistromen die kunnen optreden niet wordt voorspeld als de cBathy bodem wordt gebruikt, wat betekent dat er aanvullende informatie nodig is om deze muien te voorspellen naast een dergelijk systeem. Mogelijk is het in de toekomst mogelijk deze voorspellingen te verbeteren door gebruik te maken van verbeterde analysetechnieken (bijv. cBathy rekening houdend met stromingen) of andere camera posities. In Nederland wordt hier op dit moment echter niet aan gewerkt, én het is niet bekend of Oregon State University hier aan werkt.

Naast de zeewaarts gerichte voorspellingen met de ARGUS camera's wordt er ook landwaarts gekeken. Door Jiménez et al. (2007) is gekeken of strandgebruik kan worden ingeschat (o.a. aantallen gebruikers van het strand; plaats waar ze zich bevinden; aantal mensen dat de zee in gaat). Dit is in principe mogelijk zolang er voldoende resolutie is om individuele strandgebruikers te kunnen onderscheiden. Onderzocht is ook of ARGUS-beelden een goede status van de kust kunnen teruggeven ten behoeve van kustlijnmanagement (Wijnberg et al., 2004; Kroon et al., 2007; Rihouey & Dailloux, 2015).

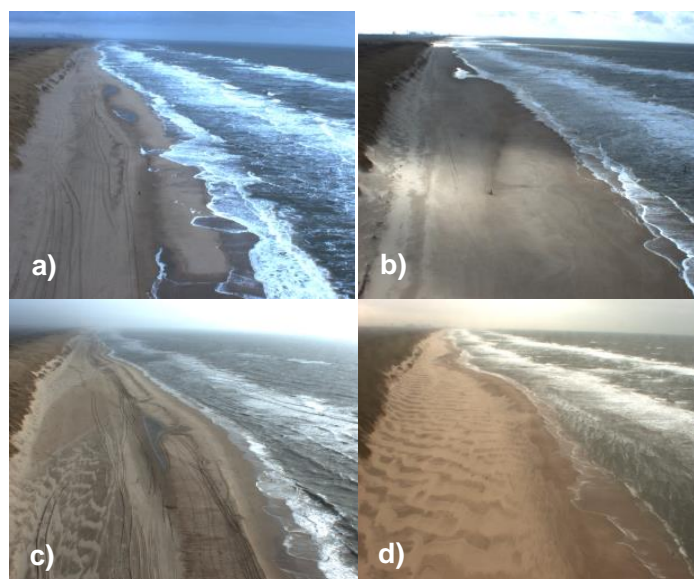
Door Van der Weerd & Wijnberg (2016) is de groei van de duinen gekwantificeerd aan de landwaartse zijde van de Zandmotor. Middels lokale metingen zijn de hoogteveranderingen gekwantificeerd, terwijl de ARGUS beelden gebruikt zijn om de te bepalen wanneer het aeolisch transport (i.e. windtransport) van zand optreedt (zie ook Van der Weerd & Wijnberg, 2015 en Reim, 2013 voor Egmond). Williams et al. (2018) onderzoekt methoden om het optreden van zandtransport op het strand vast te stellen op basis van ARGUS-beelden. Door Duarte-Campos et al. (2018) zijn de ARGUS-beelden gebruikt om te bepalen wat de typische vochtigheid is van het strand (in combinatie met in-situ vochtmetingen) op de momenten waarop aeolisch transport plaats vindt. Deze onderzoeken dragen bij aan het begrip van de groei van duinen als gevolg

van windtransport. Momenteel wordt verder onderzoek uitgevoerd door de universiteit Twente van de ontwikkeling van embryonale duinen bij de Zandmotor op basis van een combinatie van ARGUS beelden, LiDAR hoogtebepalingen en detail-ortho foto's van het strand (net voor het duin). Het Living-labs project ReAshore (Universiteit Twente met WUR) richt zich op het herkennen van de ontwikkeling van vegetatie op het strand en de invloed van mensen/voertuigen vanuit ARGUS-beelden.



Figuur 2.7 Karakterisering van aeolisch transport bij de Zandmotor (Van Weerd & Wijnberg, 2016)

In lijn hiermee doet Universiteit Utrecht onderzoek naar transport van zand op het strand. Hage et al. (2018) gebruiken de beelden van de ARGUS-camera's bij Egmond aan Zee om de eigenschappen van zand 'strips' (soort lange en lage zandribbels op het strand) te karakteriseren, waaruit blijkt dat deze met name in kustlangse richting zand transporteren. Tevens worden de observaties gebruikt om vast te stellen wat voor soort aeolische transportcondities aanwezig zijn op het strand (Hage et al., 2018b). Echter ook de koppeling tussen kustlangse variaties in zandbanken, strand en duinen alsmede het effect van suppleties hebben de interesse van onderzoekers in Utrecht. De universiteit Utrecht onderhoudt hiervoor zelfs een eigen station (Noordwijk). Binnen het ICON project (o.a. TU-Delft en andere universiteiten) wordt remote-sensing gebruikt voor kustonderzoek en heeft de ARGUS-mast een centrale plek.



Figuur 2.8 Karakterisering van aeolisch 'strips' op het strand van Egmond aan Zee (Hage et al., 2018b). Voor lage windsnelheden (a) tot hoge windsnelheden (d).

Door Hoonhout et al. (2015) is ARGUS met succes gebruikt voor een automatische herkenning van objecten, zand, lucht, zee en vegetatie in beelden voor een ARGUS station bij Kijkduin. Ook in ander onderzoek worden ARGUS-beelden gebruikt om de ruimtelijke verspreiding te laten zien van sediment of vegetatie (Schretlen & Wijnberg, 2012), om zodoende verschillende regimes van transport of soorten vegetatie te classificeren. Toekomstige toepassingen van ARGUS-beelden zouden zich mogelijk ook kunnen richten op een combinatie van laser-altimetrie metingen voor de bodemhoogte met camera-beelden voor de structuur van de kust.

Samenvattend wordt vanuit ARGUS onderzoek bijgedragen aan de kennisbasis van de volgende fysische aspecten:

- Koppeling tussen kustlangse variaties in zandbanken, strand en duinontwikkeling
- Effect van suppleties op zandbankengedrag
- Verplaatsingen van locatie van de kustlijn / waterlijn
- Karakterisering van eolisch transport op het strand (i.e. ruimtelijke patronen)
- Identificeren van gevaarlijke stromingen
- Ontwikkeling van embryonale duinen
- Vaststellen vegetatie op het strand (of objecten)
- Beheer van het strand (recreatie / telling strandgangers)

De ARGUS-mast wordt ook gebruikt voor de verzameling van andere metingen dan ARGUS beelden. Er kunnen andere apparaten (o.a. laserscanners) aan de ARGUS-mast worden bevestigd, zoals een weerstation. Daarnaast is de ARGUS-mast van belang voor de stroomvoorziening en internetverbinding van in-situ metingen die elders op de Zandmotor plaats vinden. Informatie van de ARGUS camera's wordt vaak gebruikt in combinatie met in-situ bathymetrische metingen, zandvangsters of saltifoons voor eolisch transport, satelliet-foto's en LiDAR drone surveys.

3 Relatie met beheervragen kust

De hier bedoelde beheervragen van Rijkswaterstaat en de waterschappen richten zich op kustlijnonderhoud, duinveiligheid en beheer van het strand. Monitoring hiervoor omvat jaarlijkse inmeting van kustdwarse profielen (JARKUS; van het duin tot circa 8 meter water diepte), jaarlijkse laser-altimetrie surveys in de duinen (LiDAR) en 6-jaarlijkse multibeam surveys op de vooroever (Vaklodingen). Op basis van deze metingen wordt besloten wanneer aanvulling van zand in het kustprofiel (ten behoeve van de momentane kustlijn) of versterking van het duin nodig is. Er zijn geen aanwijzingen dat de informatievoorziening in dit proces onvoldoende is. De meerwaarde van de ARGUS-beelden (én beschikbaarheid van de mast ARGUS-mast) voor kustbeheer moet daarom gezocht worden in:

- 1) een nadere verfijning van de suppletiebehoefte
- 2) een bijdrage aan de kennisbasis van het natuurlijk systeem (t.b.v. duinveiligheid)

Nadere verfijning suppletiebehoefte

Met ARGUS-informatie kan beter inzicht verkregen worden in de precieze hoeveelheden zand die nodig zijn, alsmede een optimalisatie van de locatie. De huidige methodiek gebruikt een lineaire trend om het verwachte volume zand of momentane kustlijnpositie (MKL) voor een

volgend jaar te voorspellen, waarbij er zand wordt aangevuld als een overschrijding van de basiskustlijn (BKL) verwacht wordt in het komende jaar. De korte termijn variaties in kustlijnpositie worden hierin echter niet expliciet meegenomen, aangezien de JARKUS metingen eenmaal per jaar plaats vinden. Middels ARGUS-beelden zou een inschatting gegeven kunnen worden van de korte-termijn verandering van de kustlijn (i.e. invloed op de jaarlijkse metingen) om zo een interpolatie te kunnen maken van de MKL positie (of volumeontwikkeling) in de tijd. Ook zou de informatie gebruikt kunnen worden om in te schatten hoe de kustlijn zich ontwikkelde na de laatste meting.

Praktisch betekent dit dat de fase van de bankencyclus continue gemonitord zou kunnen worden op plaatsen waar veel gesuppleerd wordt (bijv. Egmond of Noordwijk) middels detectie van zandbanken (i.e. herkenning witte brekerzone), terwijl de morfologie bij de waterlijn wordt beschouwd middels waterlijndetectie. De ARGUS beelden kunnen worden gebruikt om vast te stellen onder welke condities een vooroeversuppletie (of natuurlijke zandbank) kustdwars verplaatst. Op basis van de kustdwarse positie van de zandbanken en de waterlijn kan voor verschillende profielen (i.e. langsvariërend) een inschatting worden gemaakt van de verwachte teruggang en suppletiebehoefte. Op deze wijze zou er (indien gewenst) scherper gesuppleerd kunnen worden.

Het herleiden van een bathymetrie van de kust doormiddel van 'beach wizard' (fitten van een numeriek model op basis van geobserveerde golfbreken) of 'cBathy' (gebruik maken van de voortplanting van golven) heeft waarschijnlijk een beperkte extra meerwaarde, omdat er alleen voor bepaalde dieptecontouren (zeg 2 tot 4 meter waterdiepte) een goede voorspelling kan worden verkregen en er hiervoor tevens veel expert kennis nodig is.

Voor een praktische toepassing van ARGUS voor kustbeheer, zou het van meerwaarde zijn als het systeem flexibel op verschillende plaatsen inzetbaar te maken is, zonder dat hiervoor nadere kalibratie nodig is. Het moet dan wel mogelijk zijn om grote delen van de kust in niet al te veel tijd in te meten. Ook moet een dergelijk systeem voldoende hoogte hebben van de mast om zodoende een goed beeld te geven, wat niet eenvoudig zal zijn voor een verplaatsbaar systeem. Momenteel is er de noodzaak om 'ground control points' (i.e. lokaal met GPS ingemeten locaties die op de camera te zien zijn) vast te stellen, waardoor er veel lokale arbeid nodig is. Dit moet bovendien telkens opnieuw gedaan worden als er iets verandert aan de camera configuraties. Een efficiëntere methode voor het vaststellen van de 'ground control points' zou een inmeting van grotere delen van de kust (met een verplaatsbaar camera systeem) mogelijk maken. Gedacht kan bijvoorbeeld worden aan palen met een vooraf ingemeten geografische positie die op regelmatige afstand kustlangs op de waterlijn worden geplaatst, zodat de positie van de beelden hiermee ook achteraf herleidt kan worden. De huidige Rijkstrandpalen zijn minder geschikt omdat ze vaak te dicht bij het duin op het strand staan én er tevens te weinig in beeld zijn. Mogelijk is het ook praktischer om te kiezen voor een groot aantal relatief goedkope camera boxen, die autonoom beelden doorsturen, dan voor complexe masten met veel camera's. Niet de kwaliteit van de camera's, maar de locatie (hoogte en positionering) blijken namelijk vooral van belang voor de kwaliteit van de beelden.

Ontwikkelen kennisbasis voor kustbeheer

De belangrijkste meerwaarde van de ARGUS-metingen is het versterken van de kennisbasis van het gedrag van het kuststelsel. Afhankelijk van de gekozen locatie betreft dit het gedrag van het natuurlijk systeem (voorheen het Argus systeem op de Egmond mast) of van beheersingrepen (Argus systeem op de Zandmotor locatie). In dit kader wordt door onderzoekers benoemd dat het noodzakelijk is om lange datareeksen te verzamelen met hoge

tijsdresolutie van bodemhoogte, bankengedrag, aeolische transporten. Om lange termijn kustontwikkeling (duin-strand -nearshore) volledig te kunnen doorgronden. Videobeelden zijn een relatief betaalbare en logistiek haalbare data-inwinningsmethode. Op basis van deze gegevens kunnen numerieke modellen worden ontwikkeld. Deze numerieke modellen zijn essentieel voor een beter begrip van de kust én met de modellen kan op termijn een betere inschatting gemaakt worden van de veranderingen bij toekomstige vooroever- of grootschalige suppleties. In de meeste gevallen gaat het bij dit soort onderzoek om een combinatie van metingen waarvan ARGUS er een is. Recent wordt er door de universiteiten met name gewerkt aan 1) het ontstaan van embryonale duinen in relatie tot strandvegetatie, 2) het bepalen van mechanismen van eolisch zandtransport naar de kust toe en 3) de kustdwarse dynamiek van de zandbanken en geulen.

Landwaarts van grootschalige suppleties ontstaan nieuwe 'embryonale' duinen, waarvan de ontwikkeling afhangt van de strandvegetatie. ARGUS-beelden van vegetatiegroei kunnen samen met bodemhoogte metingen (o.a. met LiDAR) worden gebruikt om meer inzicht te krijgen in de locatie, vorm en groeisnelheid van deze nieuwe duinen, wat zeer relevant is voor toekomstige suppleties. Een unieke toegevoegde waarde van de Argusbeelden voor verbeteren van de kennisbasis is dat er quasi continue metingen worden gedaan, waarmee wordt vastgelegd wanneer en waar er morfologische activiteit is in de kustzone (eolisch, storm gedreven, verplaatsing banken, erosie van een deel van embryonale ontwikkeling). Bij een vaste meetlocatie kan er met het opbouwen van lange meetreeksen gekeken worden naar vraag of er bijvoorbeeld 'windows of opportunity' bestaan voor duinvegetatie ontwikkeling die embryonale duinontwikkeling tot gevolg heeft, of dat dit geen belangrijke factor is. Of dat het aanlanden van een zandbank een trigger is voor snellere duingroei, of niet.

De mechanismen van het eolisch transport van zand naar de duinen worden nog slechts ten dele begrepen. ARGUS is gebruikt om de ruimtelijke patronen (o.a. zand strips en streamers) vast te stellen in de tijd. De metingen worden gecombineerd met saltiphones, zandvangers en bodemhoogte metingen (met laser). Eventuele beperkingen van het windtransport als gevolg van de geometrie van de suppletie kunnen worden vastgesteld (o.a. lagune of gebieden met grondwater uitreding). Dit onderzoek is nuttig om inzicht te verwerven in de snelheid van herstel van duinen na een storm.

De landwaartse verplaatsing van zandbanken (en geulen) kan op basis van ARGUS-beelden worden herleidt. Vastgesteld kan worden onder welke condities een zandbank kustdwars verplaatst én wat de kustlangse variatie is van de morfologie van de zandbanken. Momenteel gebeurt hieraan geen onderzoek, maar het ligt voor de hand dat dit wel weer opgepakt gaat worden door TU-Delft of Universiteit Utrecht (op basis van hun eigen informatie).

Zoals eerder genoemd blijft de ARGUS-mast ook van belang voor de verzameling van andere metingen (o.a. weerstation of laserscanners) alsmede de stroomvoorziening en internetverbinding van andere metingen. De mast heeft in dit opzicht ook een landmark functie in wetenschappelijke proposals, waarmee onderzoeksgelden voor de kust kunnen worden verworven (bijvoorbeeld via NWO of ERC). Dit betreft in ieder geval de volgende proposals :

ICON (versie 2)	Opzetten van een kustobservatienetwerk middels remote sensing, in-situ metingen en modellen. De ARGUS-mast dient als basis-station voor meetapparatuur. De bestaande ARGUS mogelijk-heden worden ingezet.
-----------------	---

ReAshore	Onderzoek van de socio-bio-fysische interactie tussen menselijke activiteiten, duingroei en -vegetatie. Zowel een natuurlijk systeem als 'Nature based solutions' worden beschouwd. ARGUS-beelden worden gebruikt om de menselijke activiteiten te kwantificeren met object herkenningstechnieken, alsmede pre- en post storm profielen.
ShoreScape	Invloed van strandbebouwing op de morfologische ontwikkeling van land-water grens en duinen. Ontwerp principes moeten afgeleid worden voor bebouwing om een natuurlijk systeem in stand te houden. Argus beelden zouden worden gebruikt om aeolisch transport te herkennen/berekenen.
Danubius-RI	Dit betreft een pan-Europees onderzoek-infrastructuur waarin zowel expertkennis, modellen en meetfaciliteiten worden gedeeld voor onderzoek naar een selectie Europese delta-gebieden. Voor de Nederlandse Rijn-Maas delta biedt bijvoorbeeld de Delflandse kust met Zandmotor en Argus-mast de mogelijkheid om invloed van de Rijn op de kust te onderzoeken.

4 Conclusie

De ARGUS-beelden leveren op dit moment geen bijdrage aan de keuzes die gemaakt worden in het beheer van de kust (m.b.t. het verfijnen van de suppletiebehoefte). Om in de toekomst operationele informatie voor de kust te verzamelen op basis van ARGUS-beelden zou informatie beschikbaar moeten komen op meer locaties langs de kust. Gedacht wordt dan bijvoorbeeld aan een flexibeler te plaatsen systeem of meerdere goedkopere stations. Zodoende zou er voor meer locaties langs de kust gemeten kunnen worden én daarnaast dient de correctie van de beelden eenvoudiger gemaakt te worden (o.a. 'ground control points' al beschikbaar). Mogelijk zouden de camera's ook extra meerwaarde hebben als ze gecombineerd worden met andere methodieken (bijv. een laser-scanner voor het droge strand en duin).

De kennisbasis van de kust is door de ARGUS-mast en beeldproducten duidelijk versterkt. Dit gaat dan niet alleen om onderzoekspublicaties, maar gaat ook om hoogopgeleid personeel dat opgeleid is (MSc's en PhD's). De Nederlandse waterbouw is versterkt door deze kennisimpuls. Er zijn nog voldoende mogelijkheden om inhoudelijk onderzoek te doen naar (onder andere) embryonale duinen, aeolische transport mechanismen, bankgedrag, vegetatie en strandgebruik. Belangrijk is dat het slagen van sommige wetenschappelijke proposals (o.a. ICON, ShoreScape, Danubius RI of ReAshore) afhankelijk is van de beschikbaarheid van een ARGUS-mast / meetstation. Ook worden ARGUS-beelden mogelijk ingezet als groundtruth voor satellietwaarnemingen, waarmee het dus bijdraagt aan de ontwikkeling van nieuwe meettechnieken.

Referenties

Aarninkhof, S.G.J. (2003). *Nearshore bathymetry derived from video imagery*. PhD. Thesis, Delft University of Technology, 175 pp.

Aarninkhof, S.G.J., I.L. Turner, T.D.T. Dronkers, M. Caljouw & L. Nipius (2003). A video-based technique for mapping intertidal beach bathymetry. *Coastal Engineering*, Volume 49 (4), October 2003, pp. 275-289.

Aarninkhof, S.G.J., Ruessink, B.G. & Roelvink, J.A. (2005). Nearshore subtidal bathymetry from time-exposure video images. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, Volume 110, C6.

Aarninkhof, S.G.J. & Ruessink, B.G. (2004). Video observations and model predictions of depth-induced wave dissipation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Volume 42 (11), pp. 2612-2622.

Chickadel, C.C., R.A. Holman, and M. Freilich (2003). An optical technique for the measurement of longshore currents. *Journal of Geophysical Research*, Volume 108 (C11), 3364.

Cohen, A.B., Aarninkhof, S.G.J. and Chickadel, C.C. (2004). Video-derived observations of alongshore currents. *Proceedings of the 29th ICCE*, ASCE, Lisbon.

Duarte-Campos, L., Wijnberg, K.M. and Hulscher, S.J.M.H. (2018). Estimating Annual Onshore Aeolian Sand Supply from the Intertidal Beach Using an Aggregated-Scale Transport Formula. *Journal of Marine Science and Engineering*, Volume 6(4), 127.

Gallop, S.L., Bryan, K.R. & Coco, G. (2009). Video observations of rip currents on an embayed beach, in: Da Silva (ed) *Proceedings, International Coastal Symposium 2009. Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 56, pp. 49-53.

Hage, P.M., Ruessink, B.G. & Donker, J.J.A. (2018). Determining sand strip characteristics using Argus video monitoring. *Aeolian Research*, Volume 33, pp. 1-11.

Hage, P.M., Ruessink, B.G. & Donker, J.J.A. (2018b). Using Argus video monitoring to determine limiting factors of aeolian sand transport on a narrow beach. *Journal of Marine Science and Engineering*, 6 (4), 17 pp.

Holland, K.T. & Holman, R.A. (1993). The statistical distribution of swash maxima on natural beaches. *Journal of Geophysical Research*, Volume 98, pp. 10271-10278.

Holman, R.A., Plant, N.G. & Holland, K.T. (2013). cBathy: A robust algorithm for estimating nearshore bathymetry. *Journal of Geophysical Research*, Volume 118 (5), pp. 2595-2609.

Holman, R.A., Symonds, G. Thornton, E.B. & Ranasinghe, R. (2006). Rip spacing and persistence on an embayed beach. *Journal of Geophysical Research*, Volume 111, C01006.

Holman, R.A. & Stanley, J., (2007). The history and technical capabilities of Argus. *Coastal Engineering*, Volume 54, pp. 477 - 491.

Hoonhout, B.M., Radermacher, M., Baart, F. & van der Maaten, L.J.P. (2015). An automated method for semantic classification of regions in coastal images. *Coastal Engineering*, Volume 105, pp. 1-12.

Jiménez, J.A., Osorio, A., Marino-Tapia, I., Davidson, M., Medina, R., Kroon, A., Archetti, R., Ciavola, P. & Aarninkhof, S.G.J. (2007). Beach recreation planning using video-derived coastal state indicators. *Coastal Engineering*, Volume 54, pp. 507-521.

Kroon, A., Davidson, M.A., Aarninkhof, S.G.J., Archetti, R., Armaroli, C., Gonzalez, M., Medri, S., Osorio, A., Aagaard, T., Holman, R.A. & Spanhoff (2007). Application of remote sensing video systems to coastline management problems. *Coastal Engineering*, Volume 54, pp. 493-505.

Lippmann, T.C. & Holman, R.A. (1989). Quantification of Sand Bar Morphology : A Video Technique Based on Wave Dissipation. *Journal of Geophysical Research*, Volume 94, pp. 995–1011.

Lippmann, T. C., & Holman, R. A. (1990). The spatial and temporal variability of sand bar morphology, *J. Geophysical Research*, Volume 95(C7), 11575-11590.

Medina, R., Marino-Tapia, I., Osorio, A., Davidson, M. & Martin, F.L. (2007). Management of dynamic navigational channels using video techniques. *Coastal Engineering*, Volume 54, pp. 523-537.

Pitman, S.J., Gallop, S.L., Haigh, I.D., Mahmoodi, S., Masselink, G., & Ranasinghe, R. (2016). Synthetic imagery for the automated detection of rip currents. Proceedings of the 14th International Coastal Symposium (Sydney, Australia). *Journal of Coastal Research*, Special Issue, No. 75, pp. 912-916. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.

Quartel, S., Addink, E.A. & Ruessink, B.G., 2006. Object-oriented extraction of beach morphology from video images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 8(4), pp. 256 - 269.

Radermacher, M., Wengrove, M.E., Van Thiel de Vries, J.S.M. & Holman, R.A. (2014). Applicability of video-derived bathymetry estimates to nearshore current model predictions. In: Green, A.N. and Cooper, J.A.G. (eds.), Proceedings 13th International Coastal Symposium (Durban, South Africa), *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 70, pp. 290–295, ISSN 0749-0208.

Radermacher, M.A., Geerlof, W., De Schipper, M.A., Huisman, B.J.A., Aarninkhof, S.G.J. & Reniers, A.J.H.M. (2017). Evolution of alongshore bathymetric variability around a mega-scale beach nourishment. *Proceedings of Coastal Dynamics 2017*, pp. 1370-1375.

Radermacher, M., De Schipper, M.A. & Reniers, A.J.H.M. (2018). Sensitivity of rip current forecasts to errors in remotely-sensed bathymetry. *Coastal Engineering*, Volume 135, pp. 66–76.

Ranasinghe, R., Symonds, G. & Holman, R.A. (1999). Quantitative characterisation of rip currents via video imaging, *Proceedings of Coastal Sediments '99*. American Society of Civil Engineers, Reston, USA, pp. 987–1002.

Ranasinghe, R., Symonds, G., Black, K. & Holman, R.A. (2004). Morphodynamics of intermediate beaches: a video imaging and numerical modelling study. *Coastal Engineering*, Volume 51, pp. 629-655.

Reim, E. (2013). Annual Aeolian sediment transport from the intertidal beach. MSc Thesis. Faculty of Engineering Technology. Department of Water Engineering and Management. University of Twente.

Rihouey, D., Dailloux, D. (2015). Video based assessment of coastal erosion impact on beach attendance. Application to coastal management of Valras beach, France. *Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime*.

Rutten, J., De Jong, S.M. & Ruessink, B.G. (2017). Accuracy of Nearshore Bathymetry Inverted From X-Band Radar and Optical Video Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Volume 55 (2), pp. 1106-1116.

Rutten, J., Ruessink, B. G. & Price, T. D. (2018). Observations on sandbar behaviour along a man-made curved coast. *Earth Surface Processes and Landforms*, Volume 43, pp. 134-149.

Schretlen, J.L.M. & Wijnberg, K.M. (2012). Argus video imagery in support of aeolian transport studies: an explorative study at Vlugtenburg beach. EcoShape report. BwN project HK 3.2. Water Engineering and Management. University of Twente.

Smit, M.W.J., Aarninkhof, S.G.J., Wijnberg, K.M., González, M., Kingston, K.S., Southgate, H.N., Ruessink, B.G., Holman, R.A., Siegle, E., Davidson, M. & Medina, R. (2007). The role of video imagery in predicting daily to monthly coastal evolution. *Coastal engineering*, Volume 54 (6-7), pp. 539-553.

Stockdon, H.F. & Holman, R.A. (2000). Estimation of wave phase speed and nearshore bathymetry from video imagery. *Journal of Geophysical Research*, Volume 105, pp. 22015-22033.

Turner, I.L., Whyte, D., Ruessink, B.G. & Ranasinghe, R. (2007). Observations of rip spacing, persistence and mobility at a long, straight coastline. *Marine Geology*, Volume 236 (3-4), pp. 209-221.

Enckevort, I.M.J. Van and Ruessink, B.G. (2001). Effect of hydrodynamics and bathymetry on video estimates of nearshore sandbar position. *Journal of Geophysical Research*, Volume 106(C8), pp. 16969-16980.

Van Enckevort, I.M.J. & Ruessink, B.G. (2003). Video observations of nearshore bar behaviour. Part 1: alongshore uniform variability. *Continental Shelf Research*, Volume 23, (5), pp. 501-512.

Van Enckevort, I.M.J. & Ruessink, B.G. (2003b). Video observations of nearshore bar behaviour. Part 2: alongshore non-uniform variability. *Continental Shelf Research*, Volume 23 (5), pp. 513-532.

Van der Weerd, A.J. & Wijnberg, K.M. (2015). Aeolian activity on a peninsula-shaped mega nourishment. Proceedings of Coastal Sediments 2015, San Diego.

Datum
4 oktober 2019

Ons kenmerk
11201431-003-ZKS-0004

Pagina
15 van 15

Van der Weerd, A.J. & Wijnberg, K.M. (2016). Aeolian sediment flux derived from a natural sand trap. Proceedings of the 14th International Coastal Symposium (Sydney, Australia). *Journal of Coastal Research*, Special Issue, No. 75, pp. 338–342. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.

Wengrove, M.E., Henriquez, M., De Schipper, M.A., Holman, R. & Stive, M.J.F. (2013). Monitoring morphology of the Sand Engine leeside using ARGUS cBathy. *Proceedings of Coastal Dynamics 2013*.

Wijnberg, K.M., Uunk, L., Morelissen, R., Cohen, A.B., Hulscher, J.M.H. (2008). Beach response derived from automated bathymetry measurements. Proceedings of ICCE 2008.

Wijnberg, K.M., Aarninkhof, S.G.J., Van Koningsveld, M., Ruessink, B.G. and Stive, M.J.F. (2004). Video monitoring in support of coastal management. *Proceedings of the 29th ICCE, ASCE, Lisbon*.

Wijnberg, K.M., Aarninkhof, S.G.J. and Spanhoff, R. (2006). Response of a shoreline sand wave to a beach nourishment. Proceedings of ICCE 2006.

Williams, I.A., Wijnberg, K.M. and Hulscher, S.J.M.H. (2018). Detection of aeolian transport in coastal images. *Aeolian Research*, Volume 35, pp. 47–57.