

Evaluatie van drones voor kustbeheer en onderzoek

Beschrijving van methodiek en toepassingen



Evaluatie van drones voor kustbeheer en onderzoek
Beschrijving van methodiek en toepassingen

Auteur(s)

Bas Huisman

Evaluatie van drones voor kustbeheer en onderzoek

Beschrijving van methodiek en toepassingen

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	mevrouw C. van Gelder-Maas
Referenties	
Trefwoorden	Zandmotor monitoring, Drone, UAV, Bodemhoogte, Fotogrammetrie, Laseraltimetrie

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	04-02-2021
Projectnummer	11201431-003
Document ID	11201431-003-ZKS-0011
Pagina's	30
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Bas Huisman	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	Bas Huisman 	Lodewijk de Vet 	Toon Segeren 	

Samenvatting

In 2011 is de grootschalige 'Zandmotor' suppletie (21 miljoen m³) aangelegd op de Delflandse kust bij Ter Heijde. Ten behoeve van de evaluatie van de effectiviteit voor kustbescherming en natuurontwikkeling is een groot aantal veldmetingen uitgevoerd (bijv. bodemhoogtemetingen, vegetatiewaarnemingen en bodemdiermonsters) en worden er ook continue camera-beelden gemaakt van de waterlijn (op de ARGUS-mast). Recent zijn ook drones ingezet voor het in zeer hoog detail vastleggen van de hoogte van duintjes en vegetatie op het strand. Naar aanleiding daarvan is er gevraagd naar een algemeen overzicht van de mogelijkheden die drones bieden voor de monitoring én het beheer van de kust. In dit rapport wordt ingegaan op de technische mogelijkheden, de toepassingen voor kustbeheer en een beoordeling van het nut voor kustbeheer in Nederland.

Wat betreft technische mogelijkheden van de drones, kan gesteld worden dat de drone nuttig is voor het maken van hoog-detail foto's en video's van de kust. Ook kunnen er hoogtekaarten worden gemaakt op basis van de beeldopnames of met een laserscanner die aan de drone wordt bevestigd. Deze opnames zijn van vergelijkbare kwaliteit als metingen vanaf de grond en iets gedetailleerder dan de metingen uit een vliegtuig. Het te bestrijken gebied is echter wel beperkt tot enkele vierkante kilometers, omdat het bewerkelijk is om grote gebieden (zoals de hele Nederlandse kust) te scannen. De drone is in het bijzonder zeer bruikbaar voor het maken van beelden of hoogteopnames van moeilijk te bereiken of kwetsbare gebieden (o.a. natuurgebieden, duinvegetatie of intergetijdengebied).

Qua toepassingen zijn er bewezen effectieve drone-metingen, met een meerwaarde voor kustbeheer, die zich richten op:

- 1) het kwalitatief in beeld brengen van stromingen, sedimentpluimen of de morfologische veranderingen. Op deze wijze kunnen de verwachten worden getoetst met betrekking tot verspreiding van sediment of de verandering van een suppletie.
- 2) het nauwkeurig inmeten van bodemhoogte en vegetatie. Op basis van deze informatie kan natuurontwikkeling van nieuwe duintjes (met vegetatie), kustvorm van intergetijdengebieden of de omvang van oestervelden nauwkeurig worden vastgelegd.

Er zijn ook experimentele toepassingen waarbij men drones gebruikt om golfeigenschappen, stroomsnelheden en zelfs bodemhoogte te bepalen op basis van analysetechnieken van de beelden. Gevaarlijke muistromingen kunnen ook worden waargenomen, wat een momentopname oplevert van de situatie ter verificatie van modellen. Ook worden drones soms gebruikt voor het tellen van grotere dieren (o.a. zeehonden) op het strand, het vaststellen van het strandgebruik of voor het in kaart brengen van rommel op het strand. Deze technieken zijn echter nog in ontwikkeling en daarom op dit moment nog niet erg bruikbaar voor kustbeheer in Nederland. De ontwikkelingen gaan echter snel, en daarom is het van belang hier zicht op te houden. In de nabije toekomst kan er in het kustbeheer mogelijk nuttig gebruik gemaakt worden van deze technieken. We raden aan om de kennisontwikkeling op dit gebied die bij de universiteiten en kennisinstituten plaatsvindt actief te volgen.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Introductie	6
2	Technische mogelijkheden en beperkingen	7
3	Toepassing drone	11
3.1	Observeren van stromingen en sedimentpluimen	11
3.2	Kwantificatie van stromingen, golfcondities en onderwaterbodem	14
3.3	Morfologie van het droge strand, duin en intergetijdengebied	15
3.4	Strand- en duinvegetatie (o.a. embryonale duinen)	17
3.5	Zeegrasvelden, oester- en mosselbanken	20
3.6	Tellen van dieren op het strand	21
3.7	Strandgebruik	21
4	Relevantie voor kustbeheer	24
	Referenties	27

1 Introductie

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, vegetatie waarnemingen en benthos monsters) als continue beelden van de ontwikkeling met camera's vanaf de ARGUS-mast. Recent zijn ook drones ingezet voor het meten van bodemhoogten en vegetatie (Figuur 1.1). Deze metingen bieden geen continue opname, maar wel een gedetailleerde opname van de situatie op een bepaald moment. Ook zijn de drones recent ingezet op de Zandmotor voor het inmeten van de morfologie van embryonale duinen op het droge strand en de zeereep.



Figuur 1.1 Voorbeeld van een drone met laserscanner en camera (Shore, 2019).

Het doel van dit rapport is om een overzicht te geven van de mogelijkheden die drones bieden voor de monitoring en het beheer van de kust naar aanleiding van de recente toepassingen bij de Zandmotor. Daarvoor worden allereerst de technische mogelijkheden beschreven. Daarna worden verschillende typische toepassingen van de drone beschreven. Ten slotte wordt gereflecteerd op de mogelijke bijdrage van metingen met drones voor kustbeheer.

2 Technische mogelijkheden en beperkingen

De drone is in feite een mini-helikopter (of vliegtuig) die een beperkte lading mee kan nemen. Het is mogelijk om een meetinstrument mee te nemen. Instrumenten op een drone zijn typisch 1) een camera voor foto's en video's vanuit de lucht of 2) laser-altimetrie meetapparatuur voor het vastleggen van de bodemhoogte. In plaats van een normale camera kan ook een infrarood camera worden gebruikt.

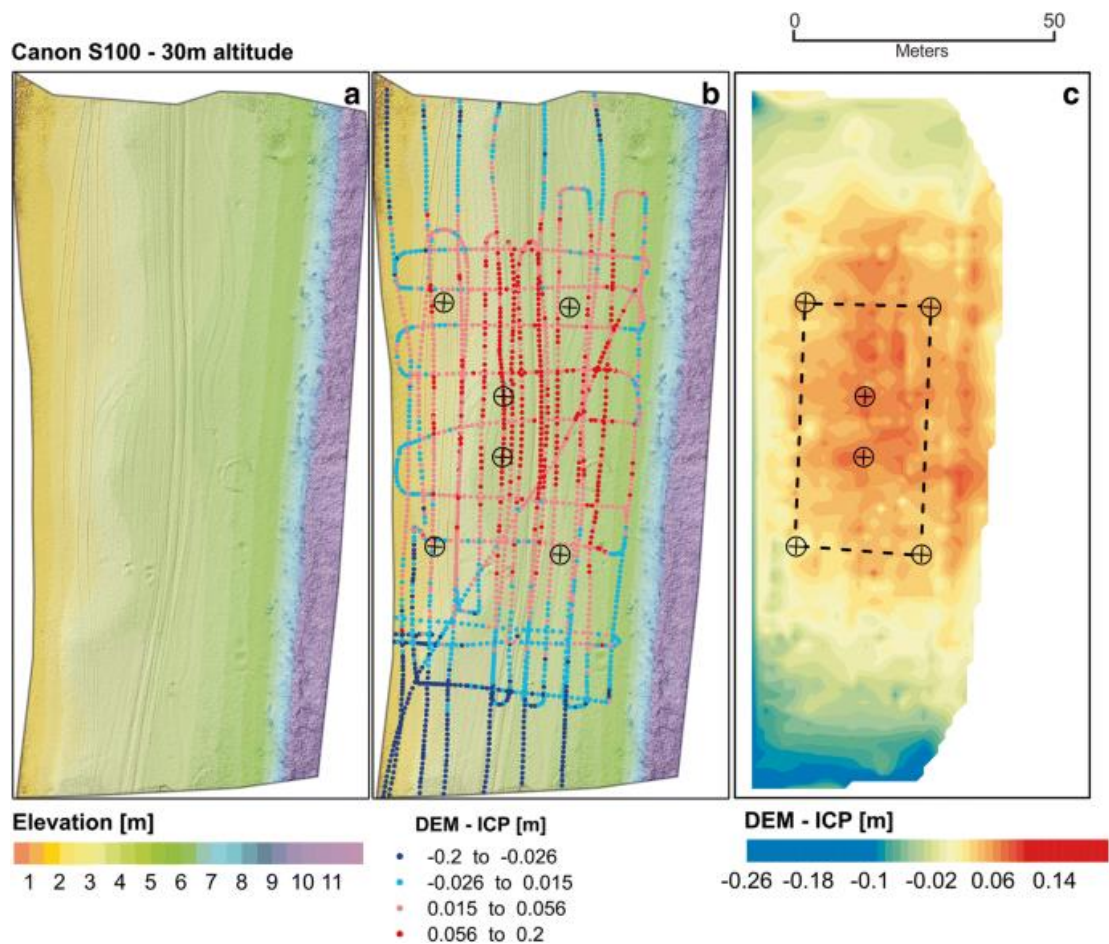
Het voordeel van het gebruik van een drone is dat er vanuit een hoog perspectief (~25 m) een opname gemaakt kan worden van de situatie, wat in veel gevallen gunstiger is voor het verzamelen van gegevens dan een perspectief dichtbij de grond. Op het bovenaanzicht hoeven namelijk minder correcties te worden toegepast. De resolutie van de metingen is hoog, omdat de opnames relatief dicht bij de grond gemaakt worden in vergelijking met een vliegtuig of satelliet.

Met behulp van camera's op een drone zijn hoge resolutie ortho-foto's gemaakt bij de Zandmotor met een resolutie tot ~2 cm (Shore, 2019) en mogelijk nog gedetailleerder als er lager gevlogen wordt. De ortho-foto's laten zien waar morfologische elementen (o.a. duintjes) liggen én of er sprake is van begroeiing. Ook het type vegetatie kan worden ingeschat, alhoewel individuele planten over het algemeen niet goed te onderscheiden zijn. De resolutie van de drone ortho-foto's is aanzienlijk beter dan de reguliere luchtfoto's van de kust (~10cm), waarop vegetatietype een stuk slechter waarneembaar is. Voor de ortho-foto's zijn grondcontrolepunten (GCP's) nodig om een ruimtelijke referentie te geven. Deze GCP's zijn vanuit de lucht herkenbare markeringen die in het veld worden geplaatst (Figuur 2.1). Meestal betreft het een vierkant of rond diagram met zwarte en witte kwadranten. De locatie van de GCP's wordt ingemeten met een GPS. Opgemerkt moet worden dat er in het horizontale vlak een aanzienlijk verschil kan zijn tussen de met behulp van de met drone-meting verkregen gerectificeerde beelden en de op deze locatie ingemeten GCP's (Brouwer et al., 2015). Indien er een drone met positie correctiemethode wordt gebruikt (rtk-GPS) dan zal de afwijking 0.25 tot 0.5 meter zijn, terwijl het zelfs bij gebruik van GCP's op kan lopen tot meerdere meters zonder rtk-GPS. De relatieve nauwkeurigheid van de afstanden tussen de meetpunten in dezelfde meting, of van meetpunten van opeenvolgende metingen met zelfde GCP's en vluchtroute, kan echter nog steeds hoog zijn. Er is dan sprake van een consistente verschuiving (bias) die niet altijd belemmerend hoeft te zijn voor de analyse, waarbij er naar de verschillen wordt gekeken.



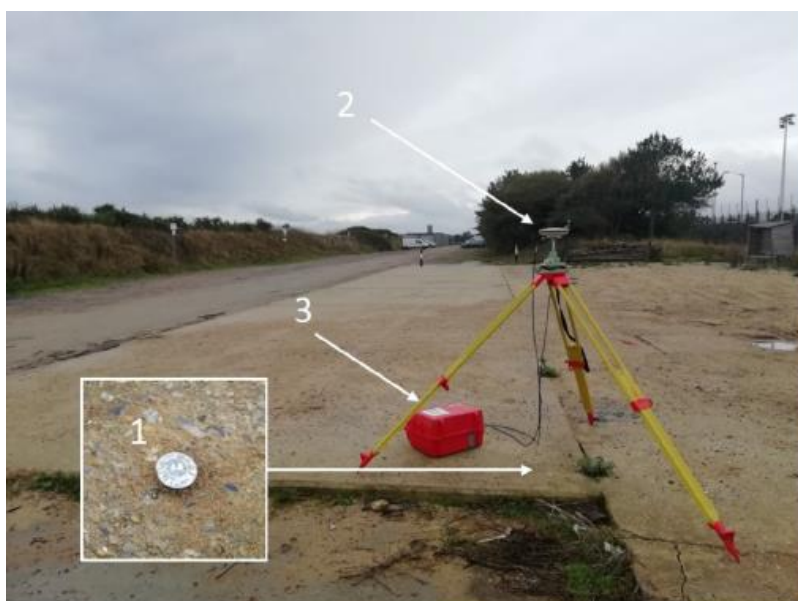
Figuur 2.1 Marker van een GCP locatie (Yoo et al., 2016)

Met behulp van opeenvolgende 2D opnamen met een camera kan ook een reconstructie gemaakt worden van de 3D omgeving, waarvoor ofwel gebruik wordt gemaakt van het perspectiefverschil in de beelden van 2 naast elkaar geplaatste camera's ('stereo fotografie'), of gebruik wordt gemaakt van de perspectiefverschillen in opeenvolgende beelden ('structure from motion' techniek; Casella et al., 2016). Gebruik wordt gemaakt van het feit dat de objecten op de achtergrond bij verplaatsing van de camera op een andere manier veranderen (i.e. meer statisch zijn) dan de objecten op de voorgrond. De 3D reconstructie techniek uit camerabeelden wordt 'fotogrammetrie' genoemd. Voor beide technieken is een uitgebreide analyse nodig van de beelden, en zijn grondcontrolepunten (GCP's) nodig ter referentie. De verticale nauwkeurigheid (RMSE) is in de orde van ~5 cm indien er hoge resolutie camera's worden gebruikt én zolang de meetpunten binnen het gebied liggen van de GCP's (Laporte et al., 2019; Casella et al., 2020; Figuur 2.2). Buiten het door GCP's afgebakende gebied neemt de nauwkeurigheid echter sterk af. De GCP's zijn ook nodig voor de horizontale referentie van de ingemeten punten. Verschuivingen van ~decimeters zijn gebruikelijk bij fotogrammetrie. In feite kan de met camerabeelden verkregen topografie het beste gebruikt worden binnen het gebied van de ingemeten controlepunten. Opgemerkt moet worden dat de fotogrammetrie niet altijd goed werkt voor gebieden met weinig contrast (soms op wadplaten of juist beboste gebieden waar de kleuren heel gelijkmatig zijn) of intergetijdengebieden waar reflecties optreden.



Figuur 2.2 Nauwkeurigheid van bodemhoogtemetingen met een drone met stereo fotogrammetrie voor een strand op het eiland Sylt, Noord-Duitsland (Casella et al., 2020)

Met laseraltimetrie metingen kan de bodem met een nauwkeurigheid van 3 tot 5 cm worden ingemeten voor ruimtelijk vakken van typisch 25x25 cm (na dataverwerking). Er zijn nog steeds GCP's nodig om de puntenwolk (indien nodig) te verschuiven (SHORE, 2019), maar het benodigde aantal is minder groot dan voor fotogrammetrie. Er kan ook voor laseraltimetrie sprake zijn van een verschuiving van met name het horizontale referentievlak, dit is in de orde van centimeters tot decimeters als gebruik gemaakt wordt van goed ingemeten GCP's. Als referentie voor de laseraltimetrie wordt meestal een grondstation met rtk-GPS gebruikt (Figuur 2.3), maar dit kan ook na de meting nog gebeuren. De laseraltimetrie is ongeveer net zo nauwkeurig als een meting vanaf de grond met rtk-GPS vanaf een quad of peilstok (Turner et al., 2016), maar biedt veel meer datapunten. Een nadeel van de laseraltimetrie is dat het om grote datasets gaat. Dit geeft uitdagingen in de verwerking. Ook is niet voor elke toepassing 'een dergelijke hoge resolutie nodig. Tracks met een quad kunnen in sommige gevallen al voldoende zijn om de grootschalige morfologische veranderingen aan te tonen.



Figuur 2.3 Grondstation als referentie voor laseraltimetrie (Shore, 2019)

Het is ook mogelijk om meerdere instrumenten te bevestigen aan een drone, alhoewel de hoeveelheid lading (van de meeste standaard drones) wel beperkt is tot enkele kilo's. Het meest gebruikelijk is om slechts één instrument aan een drone te bevestigen. Er zijn ook professionele drones die meer kunnen dragen, maar deze zijn groot en duur, en daarmee verdwijnt al snel het voordeel van de flexibiliteit van de drone-techniek. In het algemeen gaat een grotere lading samen met een kortere vliegduur, omdat er meer vermogen nodig is om de drone te laten vliegen.

Drones zijn zeer wendbaar en kunnen in korte tijd een flink gebied overvliegen. Er kan tijdens een meting tot enkele kilometers mee gevlogen worden. De drones kunnen snelheden halen van tientallen kilometers per uur, maar op hoge snelheden kan er niet meer nauwkeurig gemeten worden. In de praktijk is een snelheid tot ~30 kilometer per uur gebruikelijk (Shore, 2019). De vluchttijd van een drone met lading (bijv. Laseraltimetrie systeem) is circa 10 tot 15 minuten (Brouwer et al., 2015). Daarna zal de drone weer naar het beginpunt moeten vliegen om de accu op te laten laden (of te vervangen). Hierdoor is het te bestrijken gebied van de drone gelimiteerd door de capaciteit van de accu's. Typisch zal een drone vooral nuttig zijn voor een gebied dat maximaal enkele vierkante kilometers groot is, ruwweg de ruimtelijke schaal van de Zandmotor. Voor grotere gebieden (>15 km) is een drone minder effectief.

Als het terrein het toelaat dan kan er meebewogen worden met de drone, maar ook dan moet de rtk-GPS op een bepaald moment verzet worden. Als het om een moeilijk toegankelijk gebied gaat, dan is het te bestrijken gebied beperkter (~3 km²). In dat geval kan de besturing soms niet meer over zo'n grote afstand plaats vinden, aangezien de regelgeving een maximale afstand van 500 meter voorschrijft (Rijksoverheid, 2020). Ook dient er rekening gehouden met geldende beperkingen voor de toegankelijkheid van het luchtruim voor drones (Rijksoverheid, 2020b). Het gebruik van vliegtuigen voor het maken van laseraltimetrie-opnames of luchtfoto's zal efficiënter zijn dan een drone als grote delen van de kust ingemeten moeten worden (i.e. tientallen kilometers).

Ook weersomstandigheden zijn van belang voor de toepassing van een drone. Over het algemeen zijn de voor kusttoepassingen ontwikkelde (commerciële) drones niet toepasbaar bij hogere windsnelheden, zeg boven de 8 m/s. De mate waarin windvlagen optreden speelt ook een belangrijke rol. Het hangt van de kwaliteit van de motor, rotors en besturingssoftware (o.a. voor stabilisatie) af in hoeverre de drone stabiel gevlogen kan worden bij hogere windsnelheden. Over het algemeen zijn grotere drones stabiel. In de praktijk zal een windluwe dag nodig zijn om de drone goed te kunnen vliegen (tot beaufort 3). De drone kan dus niet altijd ingezet worden, maar alleen op momenten dat de weersomstandigheden gunstig zijn. De toepassing van de drone vereist dus voldoende flexibiliteit in de planning (bijv. een meting ergens in een periode van 2 weken).

De drone kan dus een zeer bruikbaar middel zijn voor het maken van luchtfoto's en het uitvoeren van bathymetrische metingen voor kleine tot middelgrote gebieden (één tot enkele vierkante kilometers). De luchtfoto's kunnen een goed visueel beeld geven van de morfologische kenmerken van het gebied én van de vegetatie, waardoor het zowel voor kustmorfologische als ecologische studies een interessante methodiek is. Qua inzetbaarheid moet wel rekening gehouden worden met de tijdsmoment waarop er weinig wind is, wat betekent dat niet per dag gepland kan worden. Voor het monitoren van langere termijn processen met een tijdschaal van maanden tot jaren is de drone dus geschikt. De drone is minder geschikt voor het monitoren tijdens een storm.

3 Toepassing drone

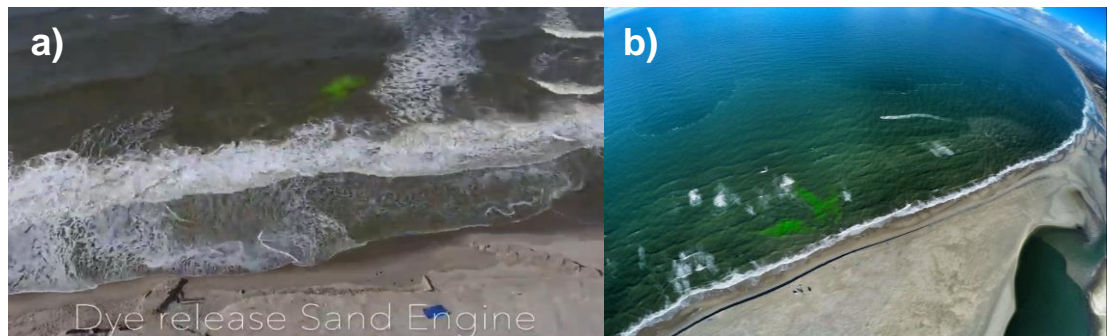
Er kan een groot aantal toepassingen van drones worden benoemd, waarbij aangemerkt moet worden dat niet alle toepassingen al even ver ontwikkeld zijn. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen bewezen technieken en experimentele toepassingen. Het inmeten van de bodemhoogte van het droge strand en het karteren van vegetatie is een reeds bewezen techniek. Meer experimentele technieken richten zich op de analyses van hydrodynamica, onderwatervegetatie, dierentellingen en strandgebruikers.

In dit hoofdstuk wordt een gelimiteerde selectie gegeven die relevant is voor de kustzone van de Nederlandse kust (en specifiek de Zandmotor). De volgende technieken worden behandeld:

- Observeren van stromingen en sedimentpluimen
- Kwantificatie van stromingen, golfcondities en onderwaterbodem (experimenteel)
- Morfologie van het droge strand, duin en intergetijdengebied
- Strand- en duinvegetatie (o.a. embryonale duinen)
- Zeegrasvelden, oester- en mosselbanken (experimenteel)
- Tellen van dieren op het strand (experimenteel)
- Strandgebruik (experimenteel)

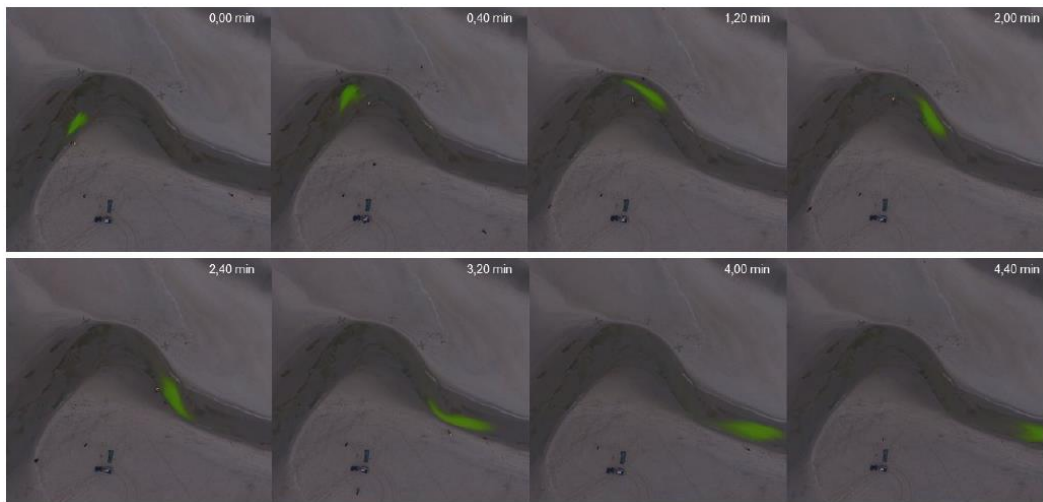
3.1 Observeren van stromingen en sedimentpluimen

In 2013, 2016 en 2018 zijn proeven uitgevoerd door de TU Delft met drones, waarbij foto's en video's zijn gemaakt van pluimen van een (milieuvriendelijke) kleurstof in het water. Doel van deze proeven was om de stroming te visualiseren, waarna deze informatie gebruikt is als vergelijkingsmateriaal voor modelberekeningen van de stromingen. Bij de Zandmotor zijn verschillende opnames gemaakt met drones (zie Figuur 3.1 en Figuur 3.2). Met deze beelden kon niet alleen inzicht verkregen worden in de verplaatsing van het water (i.e. van de pluim), maar ook van het mixen (dispersie) van het materiaal in de brandingszone en het toegangskanaal naar de lagune (Van Rijzen, 2019). Ook de uitwisseling van water tussen de lagune en de zee kon worden geanalyseerd (Houbiers & Scheijmans, 2019).



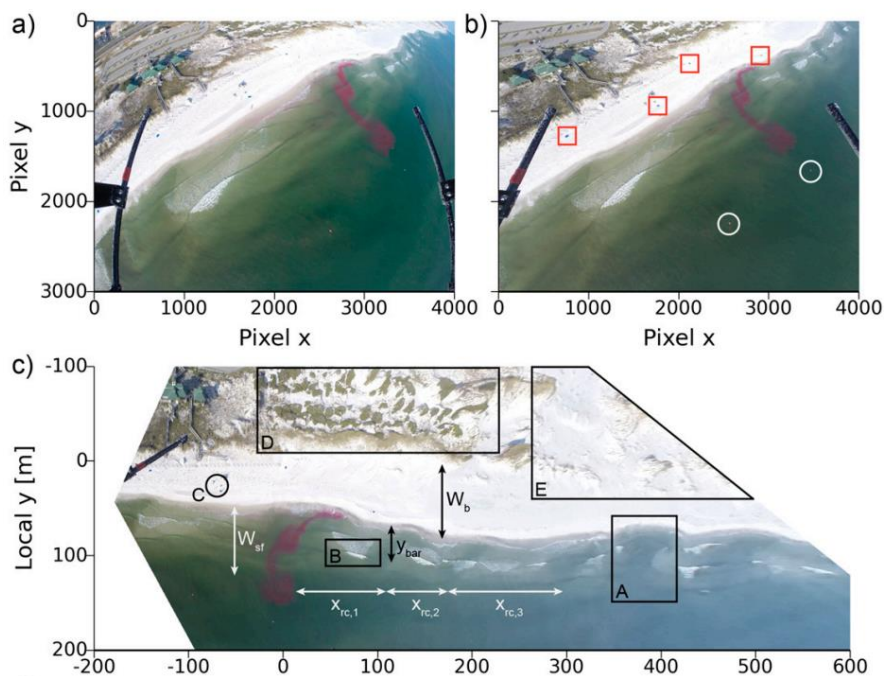
Figuur 3.1 Drone-opnames van de verspreiding van kleurstof bij de Zandmotor onder invloed van golven en stroming. (a) De Schipper, 2018 (b) Houbiers & Scheijmans, 2019.

In de uitgevoerde testen is ook het zoetwaterfront van de Rijn waargenomen (zie overgang tussen troebel en helderder water in Figuur 3.1b). Het zoetwater invloedgebied van de Rijn (ofwel 'ROFI' in het Engels) zorgt voor complexe hydrodynamische processen op de Delflandse kust (o.a. een kustdwarse stroming langs de bodem). Tijdens vloed beweegt de zoetwaterpluim zich meer naar het noorden en tijdens eb naar het zuiden. In waarnemingen met de ARGUS-camera's en met de radar bij Kijkduin, kon het front ook herkend worden.



Figuur 3.2 Drone-opnames van de verspreiding van kleurstof in de toegangsgceul van de lagune van de Zandmotor onder invloed van golven en stroming (Van Gijzen, 2019).

In december 2013 is een drone ingezet bij Fort Walton beach in Florida in de Verenigde Staten (Brouwer et al., 2015). Het betrof hier een gebied met geulen van muien en ritmische crescentische banken. De verspreiding van de kleurstof op de beelden maakte inzichtelijk hoe de stromingen zijn (Figuur 3.3). Er konden verschillende morfologische kenmerken worden vastgelegd die zijn aangegeven in Figuur 3.3, zoals een muistroom (A), brekerbank (B), en de afstand tussen de muien en van de brekerzone naar de kust toe ($x_{rc,i}$ en W_{st}). Op het land kunnen de mensen worden waargenomen (C). In de duinen is de duinvegetatie (D) duidelijk te onderscheiden én zijn nieuw ontwikkelende duinen te zien (E).



Figuur 3.3 Gerectificeerd beeld van een pluim bij Fort Walton beach (Florida) met indicatie van deelgebieden met een mui (A), brekerbank (B), mensen (C), duinvegetatie (D) en nieuw ontwikkelende duinen (E). (Brouwer et al., 2015)

Bij de Zandmotor is door Shore (2016) een opname gemaakt van de verspreiding van een sedimentpluim tijdens de instroming van de lagune. Op deze manier kan inzicht verkregen worden over het opvullen van de lagune. Duidelijk is dat het sediment met opgaand water zich in eerste instantie afzet op plek waar het toegangskanaal aansluit op de lagune. Later wordt de waterstand veel hoger en is de gehele zeewaartse landtong overstromt. Met name in de beginfase van een (pilot-)project zijn dit soort kwalitatieve analyses van belang, omdat de algemene werking van het systeem dan nog niet volledig bekend is. Dit soort beelden zijn waarschijnlijk ook nuttig voor het analyseren van de verspreiding van zand tijdens suppleren of baggeroperaties.



Figuur 3.4 Sedimentpluim bij instroming van de lagune van de Zandmotor in 2016 (film materiaal, Shore in opdracht van de Provincie Zuid-Holland; Shore, 2016).

Bij de Zandmotor is deze techniek ook gebruikt om de loslating van de stroming op de punt van de Zandmotor waar te nemen (Figuur 3.5; De Schipper, 2018b). De sedimentpluim die aanwezig is op de overgang van de gebieden valt duidelijk op in deze observatie.

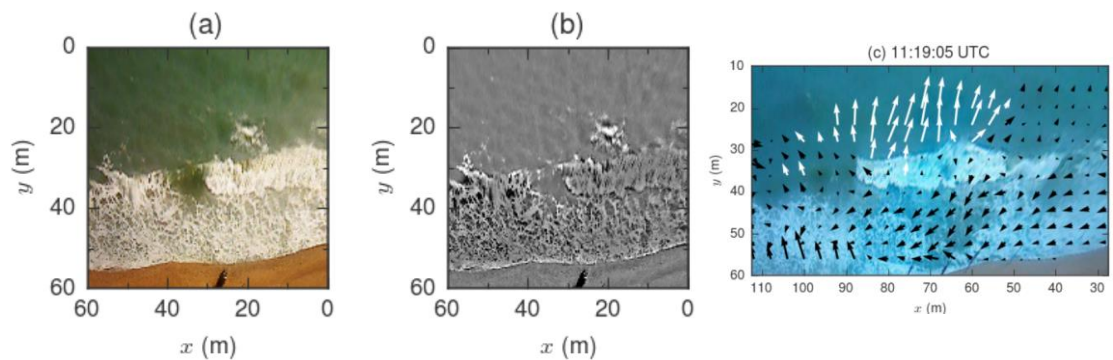


Figuur 3.5 Loslating van stroming en sedimentpluim op de kop van de Zandmotor in 2018 (film materiaal, Matthieu de Schipper, TU-Delft; De Schipper, 2018b).

In de Golf van Salerno is op het strand van de Sele delta (dichtbij Amalfi) onderzoek gedaan naar muistromen (Benassai et al., 2017). Dit zijn gevaarlijke stromingen die zwemmers van de kust af kunnen afdrijven. Doel was hier om de met het numerieke model berekende muistromen te verifiëren, in principe dus een visuele check op de resultaten van de berekeningen.

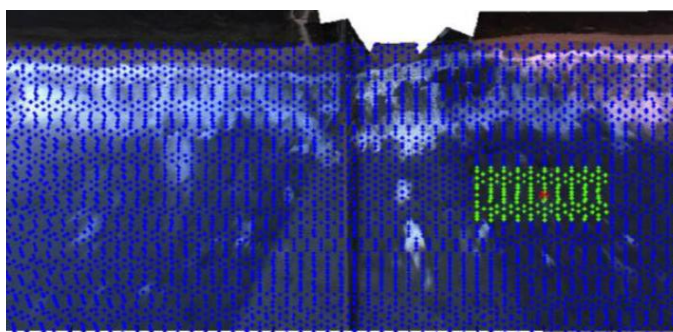
3.2 Kwantificatie van stromingen, golfcondities en onderwaterbodem

Onderzoekers hebben drones ook gebruikt voor het kwantificeren van stromingen. Derian & Almar (2017) hebben een analyse gedaan van de muistroming op een strand in Benin (Figuur 3.6), maar dan met een andere techniek. Zij gebruikten de waargenomen verplaatsing van schuim in de brandingszone om de oppervlaktestromingen te herleiden. De resultaten hiervan geven een goed beeld van de stromingspatronen. Met name de stroming door golven naar de kust toe en 2-minuten gemiddelde stroming langs de kust gaven een goede correlatie (r^2 van 0.5 en 0.7 respectievelijk). In absolute zin verschillen de in het veld en met de drone gemeten waarden aanzienlijk (RMSE van 0.12 tot 0.56 m/s). De gemiddelde kustdwarse stroming wordt niet goed ingeschat, wat te verwachten is omdat de onderstroming niet waargenomen kan worden. Deze toepassing is vooral nuttig voor het bepalen van de snelheid van langstroming tijdens veldexperimenten omdat deze meer diepte-uniform is dan de dwarsstroming.



Figuur 3.6 Bepaling van golfcondities en stromingen op basis van drone-beelden voor een strand in Benin (Dérian & Almar, 2017)

Het is ook mogelijk om de eigenschappen van de golven te kwantificeren met behulp van beelden van de drone. Shore heeft daar testen mee gedaan. Voor het kwantificeren van de golfeigenschappen kunnen algoritmes worden gebruikt die de golfkammen herkennen of de frequenties van de golven detecteren (i.e. met een fourier- of wavelet analyse). De golflengte valt op deze manier goed te bepalen, maar de golfhoogte is niet direct te herleiden. Daarvoor is informatie nodig over de bodemhoogte.

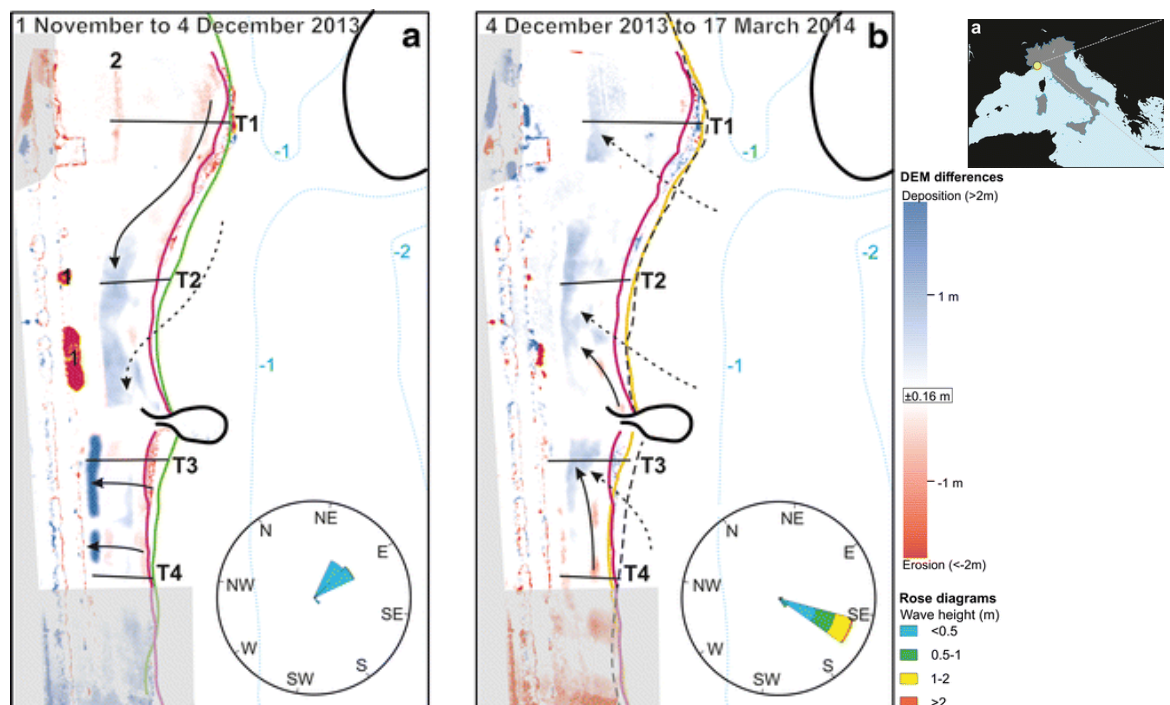


Figuur 3.7 Pixel sampling array (Holman et al., 2013)

Op basis van de geobserveerde golfkammen kan overigens wel een inschatting gemaakt worden van de bodemhoogte. Hiervoor kunnen vergelijkbare algoritmes worden toegepast als voor de analyse van ARGUS-beelden zoals 'cBathy' (Stockdon & Holman, 2000; Holman et al., 2013). Door Radermacher et al. (2018) zijn door cBathy gegenereerde bodems gebruikt om een inschatting te geven van de locatie van muilen langs de kust. Dit werkte voor een aantal locaties goed. Een beperkende factor was de nauwkeurigheid van de methode. Met name in de ondiepe zone (eerste 2 meter waterdiepte) is de afwijking in bodemhoogte aanzienlijk (0.5 tot 2 meter). In de branding én net daar buiten is de afwijking ~0.5 m. De data die verkregen wordt uit camera beelden van drones is wel aanzienlijk beter dan die van ARGUS camera's, aangezien de drone zich recht boven het meetgebied bevindt (i.e. minder perspectief verstoring) én opnames kan maken in een hogere resolutie. Er zijn echter ook andere technische aspecten die de kwaliteit van de uiteindelijk verkregen bodemhoogte bepalen, zoals de inversie-techniek vanuit de golfparameters naar de waterdiepte. Een betere beeldopname zal niet zorgen voor een verbetering in deze techniek. Een vergelijking van beide technieken is niet gemaakt. Of de betere kwaliteit van de opnames voldoende is om een betere inschatting te maken van de bodemhoogte is daarom niet bekend.

3.3 Morfologie van het droge strand, duin en intergetijdengebied

Het bepalen van de bodemhoogte van het droge strand en de duinen is een waardevolle toepassingsmogelijkheid van drones. De meeste studies maken gebruik van perspectiefverschillen in de beelden van twee naast elkaar geplaatste camera's ('stereofotografie') of van de opeenvolgende beelden van dezelfde camera ('structure from motion') om 3d bodemhoogte te construeren (Casella et al., 2014; Turner et al., 2016; Yoo & Oh, 2016; Casella et al., 2020). Echter ook laseraltimetrie wordt toegepast voor de monitoring van de morfologie, zoals nader toegelicht in Paragraaf 3.4 voor de monitoring van duingroei in relatie tot vegetatie (SHORE, 2019) en eerder al besproken in Hoofdstuk 2.



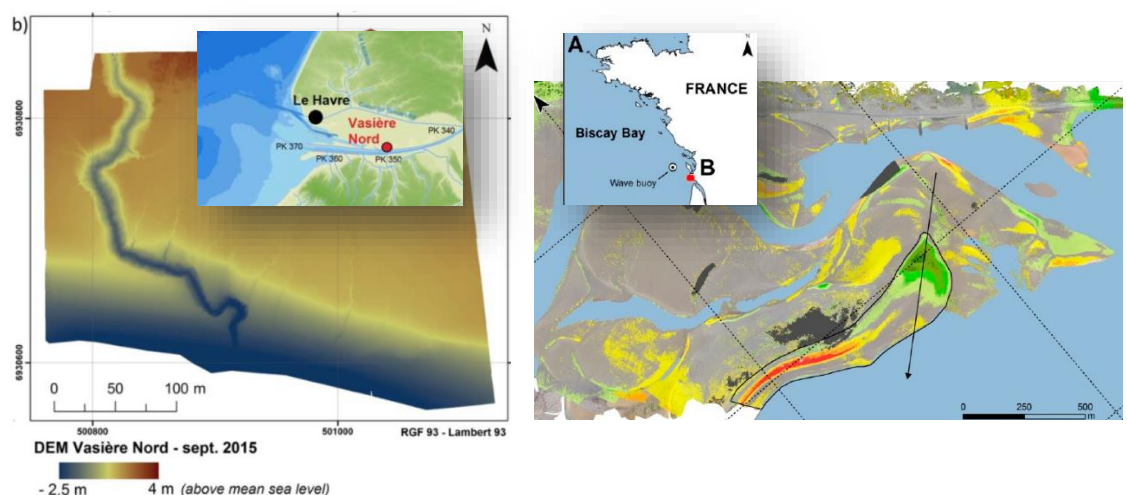
Figuur 3.8 Bodemhoogte veranderingen voor twee beschouwde periodes op het strand van Borghetto Santo Spirito (Lugurië, Italië) op basis van stereo-fotografie met drones (Casella et al., 2016).

Casella et al. (2014 en 2016) passen fotogrammetrie toe op drone-beelden om veranderingen in de topografie van het strand van Borghetto Santo Spirito (Lugurië, Italië) als gevolg van golfcondities te kunnen analyseren. Op deze wijze kon de invloed van stormen uit het noordoosten in de eerste periode, en stormen uit het zuidoosten in de tweede periode gereconstrueerd worden (Casella et al., 2016). Ook kon worden vastgesteld dat private partijen ~178 m³ zand van het strand gebruikten om de kust verder landwaarts op te hogen. Ook is de golfloop tijdens stormen berekend voor de vanuit drone-beelden herleide bodems én vergeleken met werkelijk opgetreden golfloop (Casella et al., 2014).

Ook direct na een storm kan het nuttig zijn om de bodemhoogte van het droge strand in te meten. Op basis van deze bodemhoogte informatie (van strand en duinen) kan door kustbeheerders beoordeeld worden of er herstelmaatregelen nodig zijn na een storm. Volgens Turner et al., (2016) zijn dergelijke opnames ook al geïntegreerd in het operationele kustbeheer in Australië. Opgemerkt moet echter worden dat deze techniek alleen ingezet wordt voor specifieke gebieden (bijv. waar snelle actie wenselijk is) én dat de techniek vooral nuttig is als er grote veranderingen (decimeters of meer) hebben plaats gevonden na een storm.

De drone kan ook gebruikt worden om de morfologische ontwikkeling van intergetijdengebieden vast te leggen. Voor twee intergetijdengebieden in Frankrijk is de morfologische verandering op deze manier succesvol vastgelegd (o.a. Jaud et al., 2015; Long et al., 2016). Deze getijdeplaten zijn slecht bereikbaar, waardoor er een meerwaarde is van het meten met drones.

Jaud et al. (2015) heeft een analyse gedaan van de morfologische ontwikkeling van een slibbig intergetijdengebied bij Vasiere Nord. De uitdagingen waren hier met name om een goede opname te kunnen maken zonder weerkaatsingen van de nog aanwezige water-film én in de poelen, waarvoor met name vroeg in de ochtend of laat in de middag bij laag water is gemeten. En dan bij voorkeur ook tijdens bewolkte dagen. Ook is het aanbrengen en inmeten van GCP's geen eenvoudige zaak. De GCP's waren door de slechte toegankelijkheid daarom ook niet optimaal verdeeld over het gebied. Desalniettemin kon een redelijke nauwkeurigheid worden bereikt, en zorgt de meting voor een redelijk goede opname (~10 cm) van een moeilijk bereikbaar gebied.



Figuur 3.9 Met fotogrammetrie gemeten bodemhoogte van een intergetijdengebied met fijn sediment bij Vasiere Nord (links; Jaud et al., 2015) en morfologische verandering in een intergetijdengebied (met zand en slib) bij Bonne-Anse Bay (rechts; Long et al., 2016).

Het gebied in zuid-Frankrijk dat is beschouwd door Long et al. (2016) was beter toegankelijk, omdat hier zandiger sediment aanwezig was. Hier kon de groei van de zandige spit gevisualiseerd en gekwantificeerd worden. Deze toepassing leent zich voor het gebruik van drones met fotogrammetrie, om de reden dat dit een gebied was zonder vegetatie. In het geval er wel vegetatie is, dan kan alleen de bovenkant van de vegetatie worden waargenomen. Ook betreft het een relatief klein gebied (~ 1km) waar een hogere frequentie van monitoring nodig zou kunnen zijn, omdat de spit veel sneller veranderd dan de omgevende kust.

3.4 Strand- en duinvegetatie (o.a. embryonale duinen)

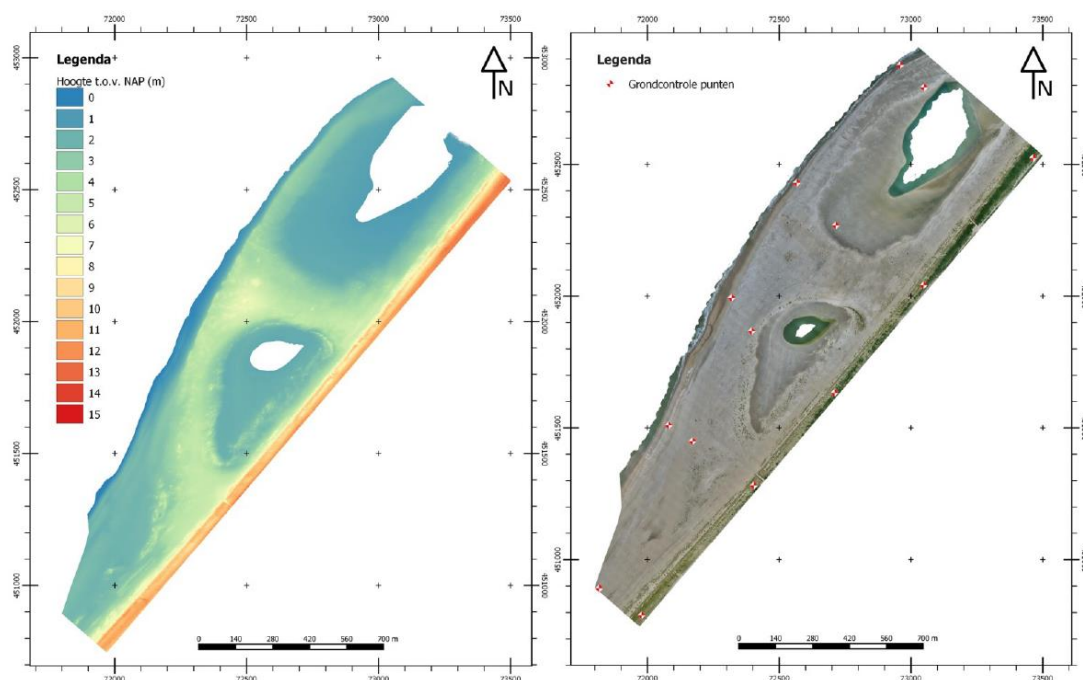
Er zijn ook studies waar gebruik wordt gemaakt van laseraltimetrie beelden en ortho-foto's om de vegetatie en morfologie van het droge strand en de duinen vast te leggen. Een groot voordeel hiervan is dat zowel de hoogte van het terrein als de bovenzijde van de vegetatie met laseraltimetrie vastgelegd kunnen worden, wat met fotogrammetrie niet mogelijk is.

Nolet et al. (2018) hebben de ontwikkeling van de zeereep (i.e. eerste duinrij) van de Zandmotor vastgelegd van april 2015 tot april 2016. De invloed van helmgras op het aangroeien van de duinen kon duidelijk aangetoond worden in de beelden. Vanuit de data kon een empirische relatie worden bepaald voor de groei van het helmgras. Ook is een inschatting gemaakt van de gemiddelde aanstuiving op locaties waar het helmgras een grote dichtheid heeft (~ 30 cm/jaar) als ook de maximum aanzanding (~0.8 m/jaar) die deze vegetatie kan verdragen.



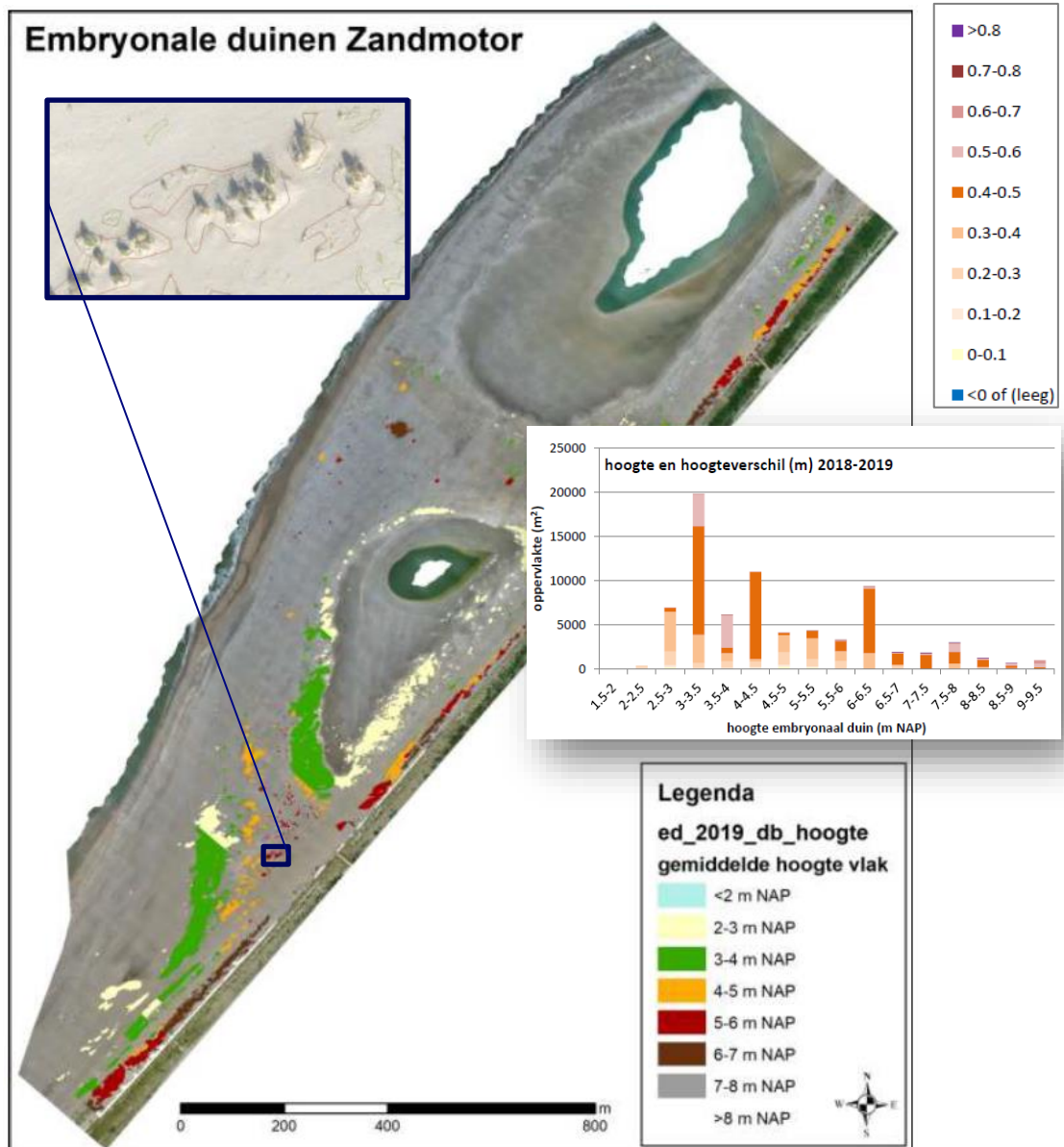
Figuur 3.10 Drone opnames van de verandering in morfologie en vegetatie op de zeereep landwaarts van de Zandmotor (Van Puijenbroek et al., 2017; Nolet et al., 2018)

Later zijn er bij de Zandmotor ook drie veldmetingen uitgevoerd om de ontwikkeling van embryonale duinen vast te leggen met een drone (o.a. Shore, 2019; Figuur 3.11). De eerste meting is in het voorjaar van 2019 uitgevoerd door Universiteit Twente, waarna in oktober 2019 en 2020 een survey is uitgevoerd door Deltares (in opdracht van Rijkswaterstaat). Beide veldmetingen hadden tot doel om de morfologische ontwikkeling van embryonale duinen te kunnen laten zien in relatie tot vegetatie. In eerdere fases werd overigens ook gebruik gemaakt van luchtfoto's en het lokaal inmeten van de duinen (o.a. Van Puijenbroek et al, 2017), maar in latere fases van het monitoren van de ontwikkeling van embryonale duinen op de Zandmotor was de duingroei te groot om deze handmatig in te meten. De meettechniek met laseraltimetrie en ortho-foto werd toen noodzakelijk om een goede inschatting te maken van de ontwikkeling van de embryonale duinen.



Figuur 3.11 Opname van de Zandmotor met Laseraltimetrie bodemhoogte in oktober 2019 (Shore, 2019).

De analyses laten de embryonale duintjes (met afmetingen van enkele decimeters tot verschillende meters hoogte) zien die ontstaan op de zandmotor. Met behulp van de Laseraltimetrie kan de locatie en grootte van de duintjes worden geschat, en de ortho-foto is bruikbaar bij het duiden van welk type vegetatie aanwezig is. Individuele planten kunnen niet worden herkend omdat deze te klein zijn om vast gelegd te worden op de foto, maar dit is in deze fase van meer-ontwikkelde vegetatiegroei minder noodzakelijk. Naast de oppervlakte en hoogte van de embryonale duinen kon ook de groeisnelheid worden bepaald én het relatieve voorkomen van vegetatie op de embryonale duinen (Arens, 2020; zie Figuur 3.12). Door de Universiteit Twente wordt deze informatie gebruikt om 1) inzicht te krijgen in de biogeomorfologische dynamiek door de groei van de duintjes te beschouwen in samenhang met de vegetatie ontwikkeling, en 2) numerieke modellen (Dubeveg) te ontwikkelen en af te relen die de duinvorming voorspellen. Voor kennisontwikkeling over de groei van embryonale duinen zijn deze drone-metingen belangrijk.



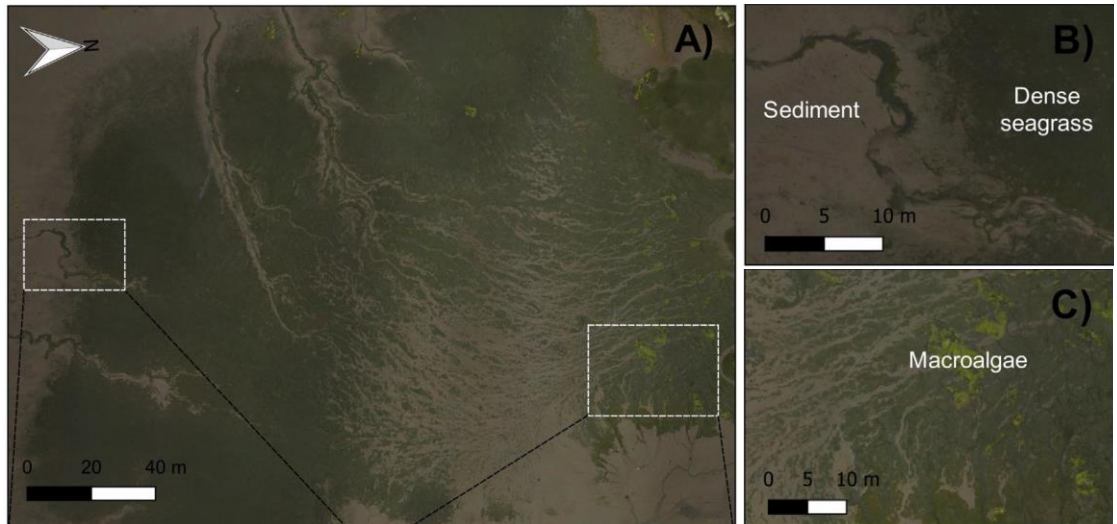
Figuur 8. Gemiddelde hoogte per duinvlak in 2019.

Figuur 3.12 Ortho-foto met hoogte van embryonale duinen voor de Zandmotor (oktober 2019), én eerste analyse van oppervlakte en groeisnelheid van deze duintjes (Arens, 2020).

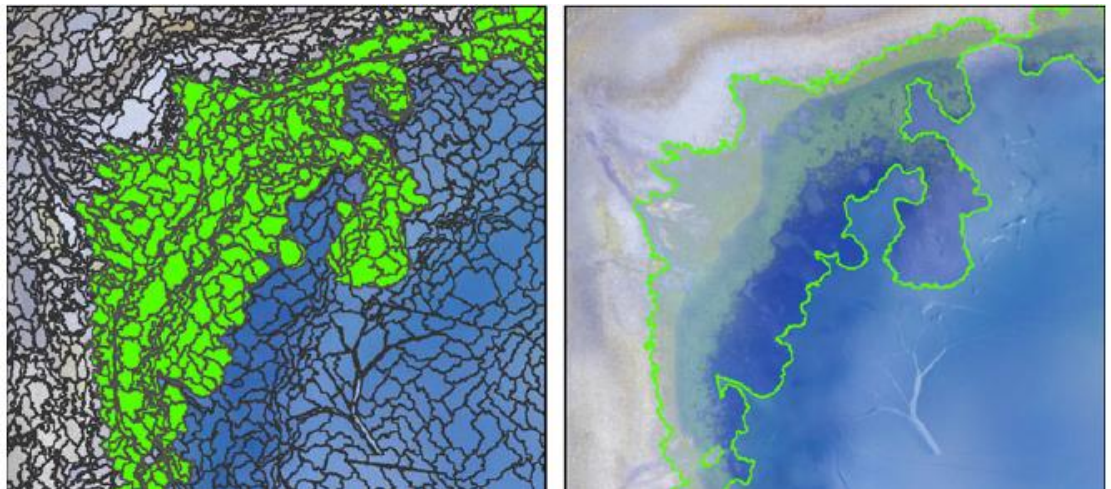
In Taddia et al. (2019) is de groei geobserveerd van embryonale duinen aan de kust van de Adriatische zee (Italië). Hiervoor is de fotogrammetrische techniek ‘structure-from-motion’ toegepast, waarbij dus niet een laseraltimetrie, maar perspectief verschillen in camerabeelden worden gebruikt. In deze studie werkte dat goed omdat er relatief weinig begroeiing was. Voor studies in Nederland is het algemene beeld echter dat er al snel te veel begroeiing is waardoor het oppervlak van het zand (i.e. de hoogte onder de vegetatie) niet meer accuraat ingemeten kan worden met fotogrammetrie, waardoor laseraltimetrie hier meer geschikt is.

3.5 Zeegrasvelden, oester- en mosselbanken

Voor het waarnemen van de veranderingen van vegetatie en schelpdieren in zee kan in sommige gevallen ook gebruik gemaakt worden van ortho-foto's (o.a. zeegrasvelden door Duffy et al., 2018; Nahirnick et al., 2019). Ook is het mogelijk de ontwikkeling van oester- en mosselbanken door de tijd heen te monitoren zonder telkens lokaal te moeten meten. Dit kan met ortho-foto om een beeld te krijgen van de locatie en het oppervlak van de banken, en met laseraltimetrie om de morfologie van de oester- en mosselbanken in te meten. Vooral voor dit soort moeilijk bereikbare plaatsen is het monitoren met de drone erg nuttig.



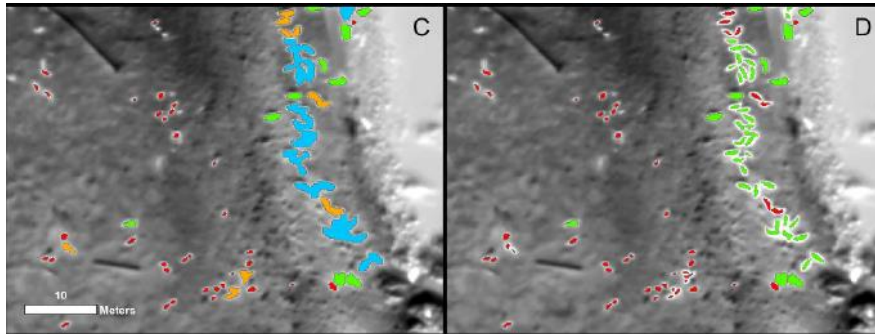
Figuur 3.13 Ortho-foto van zeegrasveld in Zuid-Engeland (Duffy et al., 2018).



Figuur 3.14 Ortho-foto van zeegrasvelden in British Columbia (Canada; Nahirnick et al., 2019).

3.6 Tellen van dieren op het strand

Er zijn verschillende publicaties over het tellen van dieren op basis van ortho-foto's (o.a. Seymour et al., 2017; Kelaher et al., 2019). Deze techniek is met name nuttig voor het tellen van zoogdieren (o.a. zeehonden; Figuur 3.15), omdat die groot genoeg zijn om waargenomen te kunnen worden op de beelden. Echter er zijn ook opnames gemaakt van orca's en grotere zeevogels voor het arctisch gebied (Galimberti & Sanvito, 2017). De verscheidenheid van soorten vogels in Nederland, én het feit dat ze relatief klein zijn, maakt dat vogels in Nederland toch gewoon in het veld geteld zullen moeten worden.



Figuur 3.15 Infrarood-beelden van jonge en volwassen zeehonden (Seymour, 2017).

3.7 Strandgebruik

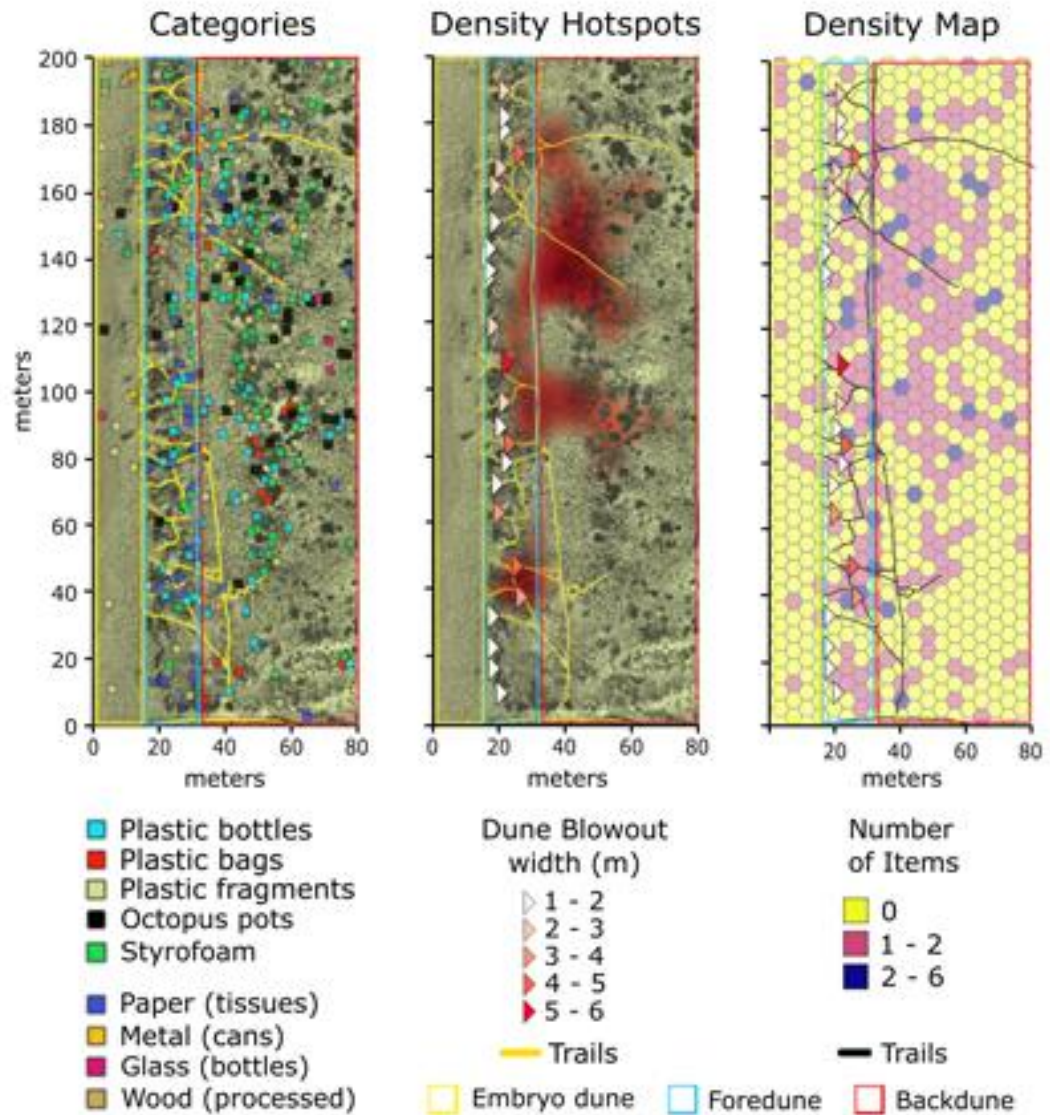
Met behulp van drone-beelden is het mogelijk om het strandgebruik te analyseren. Op vier populaire stranden in Australië zijn vluchten uitgevoerd met een drone langs de waterlijn en in de duinen (Provost et al., 2019) om vast te stellen hoeveel strandgebruikers er waren en wat zij deden. In hun studie kon worden vastgesteld dat 45% kwam om te zonnen, 22% om te zwemmen of lopen, 10% om te surfen en 0.5% om te vissen. Het zwemmen en zonnen vond vanzelfsprekend vooral in de zomer plaats. Drones zijn voor dit doel heel effectief, omdat ze voor het hele strand een bovenaanzicht kunnen maken met eenzelfde perspectief, terwijl verschillen in perspectief een analyse op basis van ARGUS camera-beelden juist compliceren. Of het vanuit privacy wenselijk en of toegestaan is om gebruik te maken van drones is natuurlijk een belangrijke vraag. Dit hangt af van de situatie en tijd van het jaar. Ook is er in Nederland regelgeving die het vliegen boven mensenmenigten, los van de privacy aspecten, beperkt.

Het is ook mogelijk om aangespoelde rommel op het strand te herkennen (o.a. Martin et al., 2018; Gonçalves et al., 2020). In algemene zin wordt verwacht dat er veel sneller kan worden geïnspecteerd dan met een visuele inspectie op de grond (Martin et al., 2018). Voor een strand in Zuid-Italië is bijvoorbeeld geïnventariseerd waar rommel aanwezig was, hoe groot het was én wat voor materiaal het betrof (Merlino et al., 2020; Figuur 3.16). Objecten groter dan 15 cm werden over het algemeen wel goed herkend, terwijl dit voor kleinere objecten meestal niet het geval was (~20%). Glas en metaal werden het beste herkend, waarschijnlijk omdat dit meestal middelgrote tot grote objecten zijn met een langwerpige vorm (o.a. blikjes en flesjes). De kleur van de rommel kan het detecteren van de objecten bemoeilijken.



Figuur 3.16 Boveraanzicht en detailfoto's van het strand met aangespoelde rommel (Merlino et al., 2020).

Vergelijkbare analyses zijn gedaan voor het strand van Quiaios (Portugal) waar ~75% van de rommel werd herkent (Gonçalves et al., 2020). Op basis van de survey konden kaarten gemaakt worden waarop de verspreiding van rommel is weergegeven (Figuur 3.17). Daarbij moet ook meegewogen worden dat er al veel natuurlijk materiaal op het strand was aangespoeld, wat de herkenning moeilijker maakte.



Figuur 3.17 Bovenaanzicht en detailfoto's van het strand met aangespoelde rommel (Gonçalves et al., 2020).

Het proces van het vaststellen van de aanwezigheid (en het type) rommel op de foto's is echter niet volledig geautomatiseerd in de genoemde voorbeelden, wat natuurlijk wel wenselijk is voor dergelijke toepassingen. Er zijn allerlei standaard classificatie methodes beschikbaar, maar niet bekend is welke bruikbaar zijn.

4 Relevantie voor kustbeheer

Drones kunnen worden ingezet voor een heel breed scala aan analyses die relevant zijn voor kustbeheer, zoals blijkt uit de toepassingen die in het hoofdstuk 3 zijn beschreven. Dat betekent niet dat deze technieken allemaal even effectief zijn voor het beheer van de kust. De doelmatigheid en mogelijkheden van deze technieken worden daarom toegelicht voor typische beheersvragen voor de kust:

- Onderhoud van de kust en duinen
- Natuurbeheer duinen
- Recreatieveiligheid
- Invloed baggeren en storten op omgeving
- Kennisontwikkeling over de kust (o.a. verspreiding pilot-suppleties)
- Fauna
- Strandgebruik

Onderhoud van kust en duinen

Om het onderhoud van de kust en duinen te kunnen uitvoeren dient kennis vergaard te worden van de staat en veranderingen van de bodemhoogte van de natte kustzone en het strand. Deze bodemhoogte informatie van de kust moet kust-dekkend zijn, maar hoeft voor het grootste deel van de kust slechts één of enkele keren per jaar ingemeten te worden. De nauwkeurigheid dient tenminste in de orde van enkele centimeters te zijn, omdat de natuurlijke veranderingen van deze grootte zijn. Het volstaat daarom niet om de bodemhoogte van (het onderwaterdeel van) de kust alleen vast te leggen met van drone-beelden afgeleide bodems (bijv. drone of ARGUS beelden van golven in combinatie met cBathy), omdat deze een te grote afwijking hebben om bruikbaar te zijn voor het vaststellen van volumeveranderingen onderwater. In-situ survey's van de bodemhoogte blijven daarom nodig om de natte kustzone in te meten (tot circa 10 meter waterdiepte). Met behulp van de drone beelden kan wel aanvullende visuele informatie gegeven worden over ontwikkeling van een gebied én kan kustonderzoek worden gedaan naar bodemveranderingen op korte tijdschalen.

Op het droge strand kan wel gebruik gemaakt worden van laseraltimetrie surveys met drones (of eventueel nauwgezet uitgevoerde stereofotografie). De grootte van het in te meten gebied mag echter niet te groot zijn (tot 15 km voor normale stranden en ~3 km² voor moeilijk toegankelijke gebieden). Het inwinnen van de gegevens voor de hele Nederlandse kustzone zal relatief veel tijd kosten met een drone, en mogelijk duurder zijn. Het kan zeer nuttig zijn om lokaal extra informatie te verzamelen in gebieden waar een snellere verandering van de morfologie optreedt dan in de omgeving. Dat geldt bijvoorbeeld voor grootschalige suppleties of daarmee vergelijkbare haken op de koppen van de Waddeneilanden. Er wordt een veel gedetailleerder beeld verkregen van de morfologie van het gebied dan mogelijk is met een handmatige meting. Hier is de drone een alternatief voor LiDAR vluchten, waarmee de morfologische verandering van afgelegen snel veranderende gebieden ook ingemeten kan worden.

Ook is een meting met een drone heel praktisch voor afgelegen gebieden, die niet bereikbaar zijn met andere middelen zoals quads. Gedacht kan worden aan intergetijdengebieden of kleine eilandjes op korte afstand van het vaste land. Voor het inmeten van intergetijdengebieden is fotogrammetrie iets minder geschikt dan laseraltimetrie, omdat reflecties van zonlicht een probleem zijn bij de foto-techniek. Ook vergt laseraltimetrie de inzet van minder GCP's. Al zal voor het inmeten van intergetijdengebieden op systeem-schaal laseraltimetrie vanuit een vliegtuig toch praktischer zijn.

Natuurbeheer duinen

Er worden op dit moment veel kerven aangelegd langs de Nederlandse en Belgische kust om doorstuiving mogelijk te maken, waarvoor de drone een zinvol middel van monitoring kan zijn. Met ortho-foto's en laseraltimetrie bodemhoogte kan een goed beeld verkregen worden van de ontwikkeling van zowel de duinmorfologie als de vegetatieontwikkeling. Het type vegetatie kan namelijk beoordeeld worden op basis van de ortho-foto's, wat erg nuttig is als input voor habitat studies. Mogelijk zal er in aanvulling nog in het veld moeten worden gekeken naar individuele planten, maar het meeste werk kan al worden gedaan op basis van de resultaten van de ortho-foto's.

Ook voor het monitoren van de vegetatieontwikkeling op embryonale duinen is de drone zeer geschikt. Naarmate de vegetatie en het aantal embryonale duinen groeit zal het namelijk steeds lastiger worden om handmatige metingen te doen. Daarnaast verstoort de meting met een drone de vegetatie niet. Metingen van (embryonale) duinen met vegetatie kunnen overigens beter met laseraltimetrie worden uitgevoerd dan met fotogrammetrie, omdat de laseraltimetrie zowel de bovenkant van de vegetatie als de zandige bodem scant. Fotogrammetrie is hiervoor dus geen goede methode, omdat daarmee enkel de bovenkant van de vegetatie wordt gemeten, waardoor niet duidelijk is wat de morfologie van de bodem is.

Recreatieveiligheid

Vanuit beheerders wordt ook informatie gevraagd over muistromingen op de kust. Hiervoor dient met hoge frequentie informatie beschikbaar te zijn gedurende het zomerseizoen. Het is dan niet voldoende om de muien slechts een paar keer te monitoren, omdat er zelfs gedurende de dag aanzienlijke veranderingen kunnen optreden in de muistromingen als de wind draait. Observaties van muistromingen met een drone zijn daarom vooral nuttig ter verificatie van hydrodynamische modellen. De modellen worden dan gebruikt om de invloed van de temporele variatie van de wind- en golfcondities op de stromingen te bepalen. Het meest bruikbaar zijn numerieke modellen, die aangestuurd worden met operationele offshore metingen van golven. De bodem is van groot belang voor een goede voorspelling van de muistromen in deze modellen, en dient daarom voorafgaand aan het badseizoen wel op een nauwkeurige wijze insitu gemeten te worden (o.a. single- of mutibeam vanaf een schip of jetski).

Een vraag met betrekking tot deze zwemveiligheidsmodellen is, of de (in het zomerseizoen) 'relatief statische' bodem te herleiden is uit beelden van drones. Door het toepassen van inverse technieken op geobserveerde golfeigenschappen kan de bodemhoogte immers worden herleidt. Op dit moment wordt de kwaliteit van deze uit remote-sensing verkregen bodemhoogte echter niet voldoende geacht voor 'toepassing in operationeel kustbeheer. Het bleek bijvoorbeeld niet eenvoudig om muistromen te voorspellen bij de Zandmotor op basis van cBathy analyses van de ARGUS-camera's (Radermacher et al, 2018).

Het is echter niet uitgesloten dat er in de toekomst correcties kunnen worden aangebracht op de meetdata (én de herleide bodemhoogte) om deze terug te vertalen naar een bathymetrie die geschikt is voor het voorspellen van muistromen. De bruikbaarheid hiervoor zal dan eerst in de praktijk onderzocht moeten worden. Onderzocht kan worden of er op basis van de ruimtelijke patronen van de uit remote-sensing herleide bodem toch een inschatting gemaakt kan worden. Hierin zal dan ook de afweging meegenomen moeten worden of er beter gebruik gemaakt kan worden van vaste camera stations, drones of satellietbeelden. Verondersteld wordt dat satellietbeelden meest geschikt zijn, omdat er dan vaker én in een groter gebied gemeten wordt.

Invloed baggeren en storten op omgeving

Drone-opnames van de sedimentpluimen van suppleties kunnen zeer nuttig zijn voor het analyseren van de verspreiding van het (fijne) sediment tijdens het baggeren in het wingebied en het storten van suppleties. Naast een (kwalitatief) beeld van de verspreiding, kan deze informatie ook gebruikt worden als vergelijkingsmateriaal voor numerieke modellen. Dit is het meest relevant als de suppletie (of landaanwinning) in de buurt ligt van een gebied met veel natuurwaarde (i.e. waar soorten leven die gevoelig zijn voor de lichtdoorlatendheid en/of voedselrijkheid van het water) of economische waarde (bijv. mosselpercelen).

Kennisontwikkeling over de kust

Voor kennisontwikkeling bij suppleties kan het belangrijk zijn om de ontwikkeling in de beginfase intensief te monitoren met drone-opnames (i.e. eenvoudige beelden / video's). Op deze manier kan snel een kwalitatief beeld verkregen worden van de verspreiding van het sediment waardoor veldmetingen beter geïnterpreteerd kunnen worden, en eventueel ook bijstelling kan plaats vinden van het meetplan en hypothesen. Naar mate de suppletie er langer ligt zullen er minder verrassingen zijn, en zal de noodzaak van deze monitoring afnemen.

Door onderzoek te doen naar de ontwikkeling van embryonale duinen en vegetatie op de Zandmotor is het op termijn beter mogelijk om de dynamiek van het strand en duinen in te schatten als gevolg van zandige ingrepen. Daarnaast kan ook kennis worden verzameld over de invloed van (intensief) recreatief gebruik nabij badplaatsen op de duinvorming, en daarmee de effectiviteit van zandige oplossingen.

Fauna

Het tellen van dieren op het strand is met name zinvol voor zoogdieren (zeehonden), omdat die groot genoeg zijn om waargenomen te kunnen worden op de beelden. Dat zou nuttig kunnen zijn voor de Waddenzee en Zuid-Westelijke delta, maar er is geen toegevoegde waarde voor de Hollandse kust (en Zandmotor) omdat het kleine aantal zeehonden makkelijk te tellen is. Ook zijn drone metingen geen vervanging voor vogeltellingen in het veld. In Nederland is de verscheidenheid van soorten vogels heel erg groot én zijn de meeste vogels relatief klein, wat maakt dat vogels in Nederland toch gewoon in het veld geteld zullen moeten worden.

Strandgebruik

Met drones kan onderzoek gedaan worden naar het gebruik van het strand (o.a. wandelen, zonnen, lopen, surfen, vissen). Hiervoor zijn drones meer geschikt dan ARGUS camera's, omdat ze voor het hele strand een bovenaanzicht geven met eenzelfde perspectief, waardoor individuele strandgebruikers beter te herkennen zijn. Of het vanuit privacy en andere regelgeving wenselijk en/of mogelijk is om gebruik te maken van drones is natuurlijk een belangrijke vraag. Dit hangt af van de situatie en tijd van het jaar.

Als er een inventarisatie moet worden gemaakt van aangespoelde rommel dan zou een drone kunnen worden ingezet als het rommel met grote afmetingen betreft. Ten behoeve daarvan zullen dan wel eerst automatische classificatie methodes moeten worden getest en toegepast op een Nederlandse situatie.

Kortom, er is een grote verscheidenheid aan toepassingen van drones die zinvol zijn voor het Nederlandse kustbeheer. Bij elke toepassing zijn er haken en ogen, maar de inzet van drones is zeker een alternatief dat bij monitoringscampagnes in de Nederlandse kustsystemen kan worden overwogen. We raden aan om de kennisontwikkeling op dit gebied die bij de universiteiten en kennisinstututen plaatsvindt actief te volgen.

Referenties

- Aarnink, J.L. (2017). Bathymetry Mapping using Drone Imagery. MSc Thesis, Delft University of Technology.
- Arens, S.M. (2020). Procedure analyse embryonale duinen. Notitie 13 februari 2020, NOT2020.01.10, tweede concept. Project Zandmotor monitoring 2017-2021. In opdracht van Deltares en Rijkswaterstaat.
- Benassai G., Aucelli P., Budillon G., De Stefano M., Di Luccio D., Di Paola G., Montella R., Mucerino L., Sica M., Pennetta, M. (2017) Rip current evidence by hydrodynamic simulations, bathymetric surveys and UAV observation. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 17(9):1493–150
- Kelaher, B.P., Peddemors, V.M., Hoade, B., Colefax, A.P., Butcher, P.A. (2019). Comparison of sampling precision for nearshore marine wildlife using unmanned and manned aerial surveys. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*. 8(1): 30-43.
- Brouwer, R.L., De Schipper, M.A., Rynne, P.F., Graham, F.J., Reniers, A.J.H.M., Macmahan, J.H. (2015). Surfzone Monitoring Using Rotary Wing Unmanned Aerial Vehicles. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Volume 32, pp. 855-863, April 2015.
- Casella, E., Rovere, A., Pedroncini, A., Mucerino, L., Casella, M., Cusati, L.A., Vacchi, M., Ferrari, M., Firpo, M. (2014). Study of wave runup using numerical models and low-altitude aerial photogrammetry: A tool for coastal management", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 149, pp. 160 - 167.
- Casella, E., Rovere, A., Pedroncini, A. et al. Drones as tools for monitoring beach topography changes in the Ligurian Sea (NW Mediterranean). *Geo-Mar Lett* 36, 151–163 (2016).
- Casella, E., Drechsel, J., Winter, C. et al. Accuracy of sand beach topography surveying by drones and photogrammetry. *Geo-Mar Lett* 40, 255–268 (2020).
- Dérian, P., Almar, R. (2017). Wavelet-Based Optical Flow Estimation of Instant Surface Currents From Shore-Based and UAV Videos. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017, pp.1 - 8
- De Schipper, M.A. (2018). Field class 2018 Dye Release #1 : Drone-opname van verspreiding van kleurstof bij de Zandmotor (<https://youtu.be/DouVRC9TT4Y>).
- De Schipper, M.A. (2018b). Flow separation at the tip of the Sand Engine : drone-opname van de verspreiding van een sedimentpluim op de Zandmotor (<https://youtu.be/yZerbknKS1I>).
- Duffy, J.P., Pratt, L., Anderson, K., Land, P.E., Shutler, J.D. (2018). Spatial assessment of intertidal seagrass meadows using optical imaging systems and a lightweight drone. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 200, pp. 169-180.
- Galimberti, F., Sanvito, S. (2017). Using an unmanned aerial vehicle for environmental research and monitoring at Sea Lion Island. Project report - Update 2016/2017. Elephant Seal Research Group.
- Gonçalves, G., Andriolo, U., Pinto, L., Bessa, F (2020). Mapping marine litter using UAS on a beach-dune system: A multidisciplinary approach. *Science of the Total Environment*, 706, 135742.

- 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.
- Houbiers, E., Scheijmans J. (2019). Hydraulic Fieldwork at the Sand Engine: Lagoon exchange. TU-Delft studenten project CIE5318. Begeleiders : Matthieu de Schipper, Sander Vos en Pieter van de Gaag.
- Jaud, M., Grasso, F., Le Dantec, N., Verney, R., Delacourt, C., Ammann, J., Deloffre, J., Grandjean, P. (2016). Potential of UAVs for Monitoring Mudflat Morphodynamics (Application to the Seine Estuary, France). *International Journal of Geo-Information*, 5, 50.
- Long, N., Millescamps, B., Guillot, B., Pouget, F., Bertin, X (2016). Monitoring the Topography of a Dynamic Tidal Inlet Using UAV Imagery. *Remote Sensing*, 8, 387.
- Martin, C., Parkes, S., Zhang, Q., Zhang, X, McCabe, M.F., Duarte, C.M. (2018). Use of unmanned aerial vehicles for efficient beach litter monitoring. *Marine Pollution Bulletin*, 131, 662–673.
- Merlino, S. , Paterni, M., Berton, A., Massetti, L. (2020). Unmanned Aerial Vehicles for Debris Survey in Coastal Areas: Long-Term Monitoring Programme to Study Spatial and Temporal Accumulation of the Dynamics of Beached Marine Litter. *Remote Sensing*, 12, 1260.
- Nahirnick, N.K., Reshitnyk, L., Campbell, M., Hessing-Lewis, M., Costa, M., Yakimishyn, J., Lee, L. (2019). Mapping with confidence; delineating seagrass habitats using Unoccupied Aerial Systems (UAS). *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 5, pp. 121–135.
- Nolet, C., Van Puijenbroek, M.E.B., Suomalainen, J.M., Limpens, J., Riksen, M.J.P.M. (2018). UAV-imaging to model growth response of marram grass to sand burial: Implications for coastal dune development. *Aeolian Research* 31A:50-61.
- Provost, E.J., Butcher, P.A., Colefax, A.P., Coleman, M.A., Curley, B.G., Kelaher, B.P. (2019). Using drones to quantify beach users across a range of environmental conditions. *Journal of Coastal Conservation* 23, 633–642.
- 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.
- Rijksoverheid (2020). Regels vergunning professionele ROC.
<https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/drone/vraag-en-antwoord/vergunning-drone>
- Rijksoverheid (2020b). Regeling gebieden met beperkte toegankelijkheid luchtruim voor drones. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/drone/vraag-en-antwoord/vliegen-met-drone>
- Seymour, A., Dale, J., Hammill, M. et al. (2017). Automated detection and enumeration of marine wildlife using unmanned aircraft systems (UAS) and thermal imagery. *Sci Rep* 7, 45127.
- Shore, 2016. Drone-opname van de instroming van de lagune van de Zandmotor. In opdracht van Provincie Zuid-Holland (https://youtu.be/zaP-T_egqQc)
- Shore, 2019. Zandmotor LiDAR Survey: Field Report. N201910-02 DLTRS ZMLiDAR, L. Veltman & R.C. de Zeeuw.

- 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.
- Taddia, Y., Corbau, C., Zambello, E., Pellegrinelli, A. (2019). UAVs for Structure-From-Motion Coastal Monitoring: A Case Study to Assess the Evolution of Embryo Dunes over a Two-Year Time Frame in the Po River Delta, Italy. *Sensors*, Vol. 19, 1717
- Turner, I.L., Harley, M.D., Drummond, C.D. (2016). UAVs for coastal surveying. *Coastal Engineering*, Vol. 114, 2016, pp. 19-24.
- Van Gijzen, L. (2018). Drone Imagery of dye release at the Sand Engine. TU-Delft studenten project CIE5318. Begeleiders : Matthieu de Schipper, Sander Vos en Pieter van de Gaag.
- Van Puijenbroek, M.E.B., Nolet, C., De Groot, A.V., Suomalainen, J.M., Riksen, M.J.P.M., Berendse, F., Limpens, J. (2017). Exploring the contributions of vegetation and dune size to early dune development using unmanned aerial vehicle (UAV) imaging. *Biogeosciences* 14:5533-5549.
- Wengrove, M.E., Henriquez, M., de Schipper, M.A., Holman, R., Stive, M.J.F. (2013). Monitoring Morphology of the Sand Engine Leese. Using Argus' cBathy. *Proceedings of Coastal Dynamics*, pp. 1893-1904.
- Yoo, C.I., Oh, T.S. (2016). Beach volume change using UAV photogrammetry Songjung beach, Korea. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLI-B8, 2016. XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl