Nye overvågningsteknikker til marin vegetation

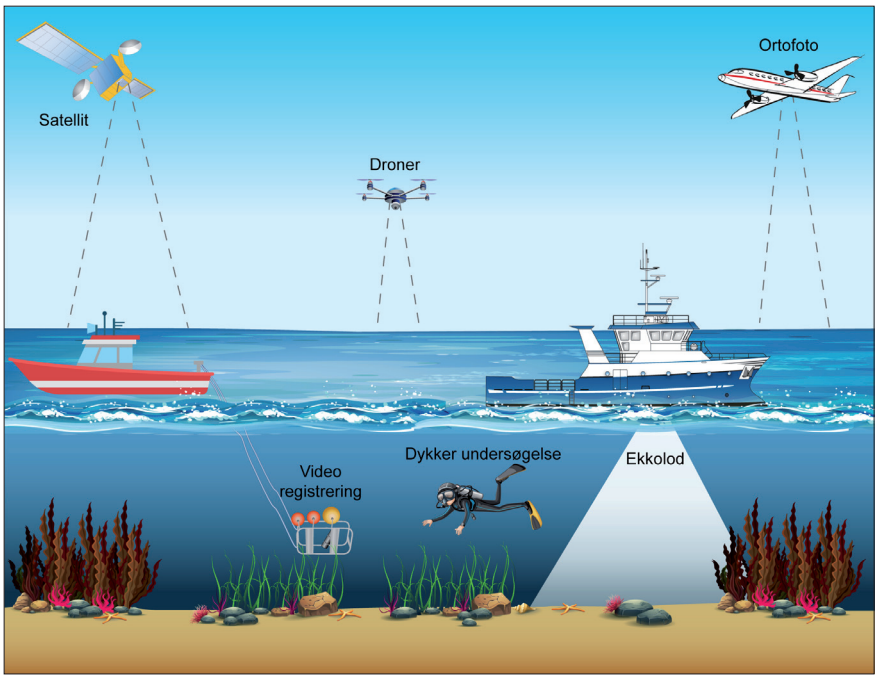
Overvågningen af den marine bundvegetation foregår i dag hovedsageligt ved transekt observationer, som er dyre og tidskrævende, og som ikke giver overblik over den arealmæssige udbredelse af vegetationen. Nye teknologier, som fx droner og satellitter, bliver i stigende omfang anvendt i kystzonen og i SeaStatus projektet har vi undersøgt om og hvordan disse nye teknologier kan bidrage til at forbedre overvågningen af den marine bundvegetation.

Karen Timmermann, Aris Thomasberger, Lars Boye Hansen, Peter A. Stæhr, Mikkel Lydholm Rasmussen, Anders Stockmarr, Sayantan Sengupta, Lisbeth Tangaa Nielsen & Christian Lønborg

Overvågning af marin bundvegetation

Bundlevende marin vegetation udgøres i danske farvande af især blomsterplanten ålegræs og flerårige makroalger, som savtang og blæretang. Vegetationen har afgørende betydning for funktion og struktur af kystnære marine økosystemer, idet udbredt bundvegetation bidrager til primærproduktion og skaber vigtige habitater for andre marine organismer. Da udbredelsen og sammensætningen af bundvegetationen påvirkes af menneskeskabte presfaktorer, som fx eutrofiering, indgår bundvegetationen som et væsentligt element i EUs vandramme-, habitat- og havstrategi-direktiv til vurdering af miljøtilstanden. Bundvegetationens væsentlige økologiske rolle og den centrale betydning som indikator for miljøtilstanden betyder, at der både er et videnskabeligt og et forvaltningsmæssigt behov for at både overvåge og følge udviklingen i bundvegetation.

Udbredelse, tæthed og sammensætning af den marine bundvegetation defineres primært af lystilgængelighed, substratforhold, eksponering og salinitet og omfatter alene for ålegræssets vedkommende potentielt ca. 2200 km^2 af havbunden i de danske farvande /1/.



Figur 1. Illustration af forskellige teknikker (Dykkerundersøgelser, video, droner, satellitter, orto-foto og ekkolod) til monitering af marin bundvegetation.

Bundvegetationen kan findes både i udbredte, sammenhængende bede, men den kan også forekomme i spredte og fragmenterede pletter, omgivet af bar havbund. Bundvegetationen varierer også over tid og ændringer kan ske pludseligt, fx som følge af stormhændelser, eller over længere tidsskalaer (måneder til år). Den store arealmæssige udbredelse samt den rumlige og tidslige heterogenitet gør det udfordrende at overvåge bundvegetationen.

Traditionelt har overvågning af den marine bundvegetation både i Danmark og internationalt foregået ved visuelle observationer foretaget af dykkere. Men i løbet af de seneste dekader er flere nationale moniteringsprogrammer, herunder det danske miljøovervågningsprogram "NOVANA" skiftet helt eller delvist til videobaserede teknikker. Med den teknologiske udvikling indenfor observationsteknologier og billedbehandlingsteknikker er der i de seneste år opstået muligheder for at anvende andre teknologier, som droner, satellitter, orto-foto og ekkolod, til at forbedre overvågningen af den marine bundvegetation.

Dykker - og videobaserede teknikker

Dykkerobservationer af bundvegetation foregår ved, at en dykker enten svømmer tæt på havbunden eller bliver trukket bag en båd. Dykkeren foretager visuel inspektion af specifikke parametre, som fx artssammensætning og dækningsgrad af bundvegetationen og registrerer samtidig det præcise sted inkl. vanddybde for observationen. Resultaterne registreres på elektronisk form. Resultaternes detaljeringsgrad og kvalitet afhænger af dykkerens erfaring samt fysiske forhold som strøm og sigtbarhed. Ved den videobaserede tilgang, filmes havbunden med et videokamera. Detaljeringsgraden afhænger af kameraets opløsning og kvalitet, men også her spiller bl.a. vandets sigtbarhed ind på billedernes kvalitet. Videooptagelser skal transformeres til relevante parametre som fx artssammensætning og tætheder, hvilket kan gøres manuelt eller ved brug af billedbehandlingsrutiner, specielt udviklet til identifikation af bundvegetation fra video /2/. Dykker og videobaserede teknikker er pt de mest anvendte metoder til monitering af bundvegetation og benyttes ofte til validering af de nyere teknologier. Begge metoder har (ift. andre og nyere teknologier) en meget høj rumlig opløsning, men dækker ikke særligt store arealer. Selvom dykker og videobaserede metoder minder meget om hinanden er der væsentligste forskelle. Dykkere kan fx opfange detaljer med op til dobbelt så høj opløsning sammenlignet med et videokamera og med op til 3 gange synsbredde /3/. Til gengæld er dykkerobservationer baseret på ekspertvurderinger, og resultaterne kan ikke gemmes eller umiddelbart reproduceres. Videooptagelser derimod kan gemmes og gen-undersøges både visuelt eller ved brug af automatiserede billedgenkendelses programmer (Figur 2).

Figur 2. Videoobservation af ålegræs i (a) "rå" form og (b) hvor der er anvendt en linje detektions algoritme.

Luftdroner

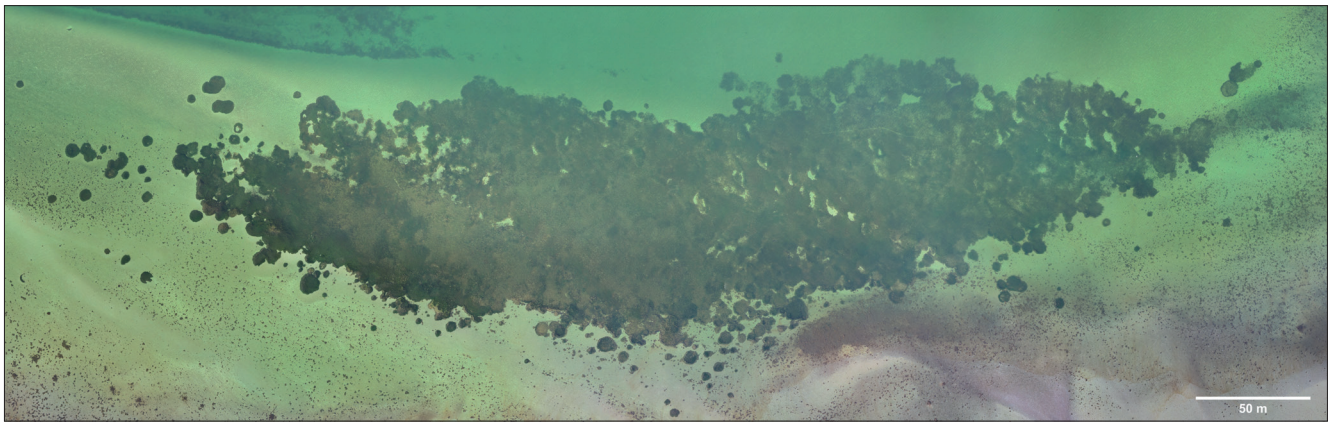
Forbedringer af droneteknologien har de seneste år medført en øget brug af droner til miljøovervågning både til lands og til vands.

Forskellige typer af luftdroner kan udstyres med optiske sensorer, der spænder fra RGB-kameraer til avancerede LIDAR-systemer, hvilket gør, at de kan bruges til undersøgelser af bundvegetation. Luftdroner er i de fleste tilfælde betjent fra landjorden og kan dække et havareal på omkring 20 til 200 hektar per dag /9/. Til overvågning af marin bundvegetation i stor skala skal luftdroner optimalt flyve i en højde af 70-100 m over havoverfladen, hvilket giver en rumlig opløsning på omkring 2 til 5 centimeter. Hvis dronen er højere oppe, øges den arealmæssige dækning, men dette sker på bekostning af opløseligheden og dermed kvaliteten og anvendelsen af optagelserne. Omvendt øges opløsningen ved flyvninger i lavere højder, hvilket muliggør overvågning på mindre skala. Dronebilleder stedlokaliseres ved hjælp af dronens GPS og med de bedste systemer kan man opnå en geo-præcision på få centimeter. Kvaliteten af droneoptagelser afhænger, udover af kamerakvaliteten, i høj grad af de meteorologiske forhold. Luftdroner kan fx ikke fungere under vejrforhold med regn og stærk vind (>10 m/s), men også lavere vindstyrker kan medføre udfordringer i form af optiske forstyrrelser og refleksioner i vandoverfladen samt bevægelser i bundvegetationen, hvilket vil resultere i "slørede" billeder, hvor det er sværere at genkende bundvegetation. Skyer kan også i nogle tilfælde give udfordringer, idet deres skygger kan forveksles med bundvegetation. Mængden af lys på havbunden har stor betydning for kvaliteten af dronebilleder, da det sætter en grænse for, hvor dybt dronen kan observere. Det betyder, at luftdroner ikke altid kan anvendes til at monitere dybdegrænser for bundvegetationen, idet der simpelthen er for lidt lys. Der arbejdes dog intensivt med udvikling af metoder, som vil forbedre den optiske monitering i stærkt lysbegrænsede miljøer og dermed forbedre optisk monitering af den marine vegetations dybdegrænser /4/. Under optimale forhold kan luftdroner monitere store dele af havbunden og hermed den arealmæssige udbredelse af bundvegetationen. Samtidig er opløseligheden relativt stor, hvilket muliggør identifikation af enkeltarter og derfor også muligheden for at adskille fx ålegræs fra makroalger.

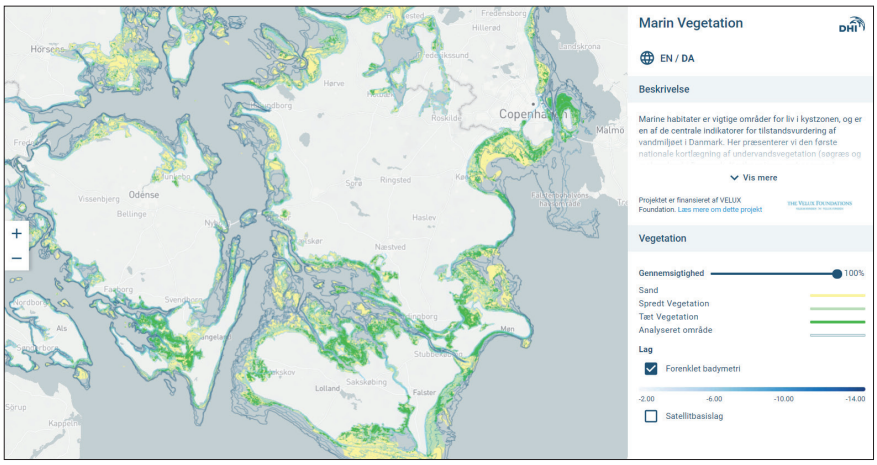
Udtrækning af relevant information fra droneoptagelser sker ofte ved brug af objektbaseret billedanalyse, som kan klassificere forskellige marine habitater, herunder bundvegetation og under optimale forhold også forskellige typer af vegetation. Selvom objektbaseret billedanalyse karakteriseres som en semi-automatisk metode til objektgenkendelse, kræver det en manuel indsats og kan derfor være en tidskrævende proces. Nye metoder, der inkluderer machine learning algoritmer, tyder dog på, at denne del af processen bliver meget hurtigere i fremtiden.

Satellitter

Baseret på frit tilgængelige satellitbilleder fra



Figur 3. Dronefoto af bundvegetation. Foto: Aris Thomasberger



Figur 4. Satellitbaseret storskala kortlægning af undervandsvegetation fra DHI GRAS /5/

fx Sentinel-2 og Landsat 8 er der det nu muligt at lave storskala kortlægning af den kystnære vegetations udbredelse med en opløselighed på hhv. 10 og 30 m /5/. Med højopløselige kommercielle satellitdata kan opløsningen komme ned under 1m. Selv om detaljeringsgraden er betydeligt lavere end for dronerne, kan satellitterne under optimale betingelser identificere områder hhv. med og uden vegetation, så længe områderne er større end cirka 4 x den rumlige opløsning. Den rumlige opløsning er imidlertid for grov til direkte at identificere eller adskille forskellige typer af vegetation eller bestemme vegetationens tæthed i detaljer. Satellitterne registrerer mængden af tilbagereflekteret lys fra havbunden, hvilket begrænser hvor dybt satellitten kan observere et signal fra vegetationen. Typisk kan teknologien anvendes ned til dybder svarende til en secchi-dybde, og metoden egner sig derfor ikke til estimering af vegetationens dybdegrænse. Der er en række faktorer, der påvirker egnetheden af de enkelte billeder (fx skyer, atmosfære forhold og turbiditet), men den højfrekvente overflyvning (2-5 dage for sentinel-2 og 16 dage for Landsat 8) sikrer et stort antal anvendelige billeder hen over sæsonen, og muliggør derved også sæsonmæssig kortlægning af vegetationen /6/. Tolkningen af satellitinformationen er oftest baseret på superviserede klassifikationsalgoritmer, som fx kunstige neurale netværk eller machine learning teknikker. Der arbejdes intenst med at forbedre algoritmerne, hvilket forventes at forbedre genkendelsen af vegetation ud fra satellitbilleder /7/.

Figur 5. Ortofoto af bundvegetation.
Foto: krak.dk

Ortofoto taget fra fly

Ortofoto er billeder taget med fx et digitalkamera, som er korrigeret således at billedets størrelsesforhold overalt er det samme. Ortofoto anvendes traditionelt til overvågning og kortlægning af landområder, men kan også anvendes til kortlægning af marine strukturer, som fx muslingebanker eller bundvegetation /8/. Ortofotos taget fra fly kan dække relativt store områder, og hvis kameraet er af høj kvalitet, bliver den rumlige opløsning så god (centimeter til meter), at man kan identificere selv relativt små områder med vegetation. Der vil dog ofte være betydelige udfordringer med overgange mellem foto, som man på forskelligvis kan korrigere for. Kvaliteten af ortofotos afhænger, udover kamerakvaliteten, også af flyvehøjden og vandets klarhed og ligesom andre optikbaserede metoder, har ortofoto problemer med at detektere vegetationens dybdegrænse, da reflektionssignalet fra vegetationen ofte er for lille. Der er endnu ikke udviklet billedgenkendelsesalgoritmer, som muliggør sikker identifikation af fx bundvegetation fra ortofoto og derfor kan det være vanskeligt at adskille fx muslingebanker, sten og vegetation. Det er på nuværende tidspunkt heller ikke muligt at identificere enkeltarter af makrovegetationen. Dette medfører at god validering, fx fra dykkerundersøgelser, er nødvendig når ortofotos anvendes til overvågning af bundvegetation. Til gengæld har man siden 1930'erne taget ortofotos, som dækker kystzonen, hvilket giver en unik mulighed for at undersøge lang tids ændringer i udbredelsen af bundvegetationen for det meste af Danmarks kystnære farvande /8/.

Ekkolod

Ekkolod er en akustisk metode som med fordel kan anvendes til vegetationskortlægning i uklart vand og på større dybder. Ekkolod metoden er baseret på, at forskellige strukturer reflekterer lyd på en særegen måde, som kan oversættes til et mønster, som karakteriserer hhv. sten, muslinger, vegetation mv. Særligt havgræsser som ålegræs reflekterer lyd på en meget karakteristisk måde og ekkolod er derfor særligt velegnet til monitering af ålegræs. Lyd fra ekkolod udsendes fra et skib, hvilket gør det muligt at kortlægge større arealer. Der findes forskellige akustiske metoder som fx single beam, multi beam og side scan. Fælles for dem alle er, at de er meget afhængige af korrekt kalibrering med direkte feltobservationer, da lydreflektionen vil ændre sig afhængig af vegetationens art, tæthed og højde. Processering af akustiske data kan enten ske ved visuel inspektion og fortolkning, men også her foregår der en intens udvikling indenfor automatiserede rutiner til tolkning af store mængder af lyddata.

Sammenligning af metoder til monitering af bundvegetation

De undersøgte metoder til monitering af bundvegetation har forskellige styrker og svagheder og tabel 1 giver en kort oversigt over metodernes karakteristika og anvendelsesmuligheder. Traditionelt er monitering af bundvegetation baseret på direkte feltobservationer enten ved dykker eller video. Dykker - og video metoderne er relativt lavteknologiske, og er stadig den observationsform, som kan give den mest detaljerede information om bundvegetationen, herunder økologisk relevante parametre som dækningsgrad, biomasse, dybdegrænse og artssammensætning. Men metoden har også begrænsninger. Feltundersøgelser er, af praktiske hensyn, baseret på transekter eller undersøgelser inden for en mindre kvadrant og giver derfor kun meget begrænset viden om den arealmæssige udbredelse og dækning af bundvegetation på større arealer. Da bundvegetationen ofte vokser i fragmenterede pletter, er det ikke umiddelbart muligt at ekstrapolere fra transekt/kvadrant observationer til fx dele af eller hele fjordområder. De nye teknologier kan alle bidrage til

større viden om den arealmæssige udbredelse af bundvegetationen, men det sker på bekostning af detaljeringsgraden. Satellitobservationer giver den største arealmæssige dækning, men har også den laveste detaljeringsgrad. Med de nyeste billedbehandlingsalgoritmer kan satellitter detektere tilstedeværelse/fravær af bundvegetation og dermed dækningsgrader, men ikke fx adskille de enkelte arter. Ortofoto har større rumlig opløsning end satellitter, men her er post processeringen svær, hvilket betyder at man kan se strukturer på havbunden, men det er svært at klassificere dem. Droner udgør bindeleddet mellem satellitter og feltundersøgelser. Dronernes arealmæssige dækning er meget større end feltundersøgelser, men mindre end satellittens og deres rumlige opløsning og detaljering er stadig ringere end feltundersøgelserne, men meget bedre end satellitten.

Vores gennemgang viser, at mange nye teknologier er parate til at kunne bruges i overvågningssammenhæng. Samtidigt er det vigtigt, at man overvejer fordele og begrænsninger ved de forskellige metoder inden de tages i brug. Ingen af de undersøgte teknologier kan alene observere alle økologisk relevante parameter for bundvegetation og de kan ikke umiddelbart erstatte hinanden. Men da teknologierne har forskellige styrkeområder, kan de supplere hinanden og samlet forbedre den fremtidige monitering af bundvegetation.

Referencer:

/1/ Staehr, P.A., Göke, C., Holbach, A.M., Krause-Jensen, D., Timmermann, K., Upadhyay, S. and Ørberg, S.B. 2019. Habitat model of eelgrass in Danish coastal waters: development, validation and management perspectives. Frontiers in Marine Science 6(175).

/2/ Sengupta S, Ersbøll BK, Stockmarr A. 2020: SeaGrassDetect: A Novel Method for the Detection of Seagrass from Unlabelled Underwater Videos. Ecological Informatics 57

/3/ Bainbridge, S., and Gardner, S. 2016. Comparison of Human and Camera Visual Acuity—Setting the Benchmark for Shallow Water Autonomous Imaging Platforms. J. Marine Sci. and Eng. 4.

/4/ Rasmussen, M.B., Krause-Jensen, D. & Balsby, T.J.S. 2020. Udvikling og test af dronemetode og interkalibrering af eksisterende metode til undersøgelse af ålegræs og anden vegetation på blød bund. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 174

/5/ DHI GRAS, 2020: https://marine-vegetation.satlas.dk/ (accessed December 2020)

/6/ Zoffoli M.L., Gernez P., Rosa P., Le Bris A.. Brando V.E., Barillé A., Harin N., Peters S., Poser K., Spaias L., Peralta G., Barillé L. 2020. Sentinel-2 remote sensing of Zostera noltei-dominated intertidal seagrass meadows, Remote Sensing of Environment 251, 112020, ISSN 0034-4257

/7/ Dierssen, H M, K J Bostrom, A Chlus, K Hammerstrom, D R Thompson, and Z Lee. 2019. "Pushing the Limits of Seagrass Remote Sensing in the Turbid Waters of Elkhorn Slough, California." Remote Sensing 11, no. 14:13–15

/8/ Ørberg, S.B., Groom, G.B., Kjeldgaard, A., Carstensen, J., Rasmussen, M.B., Clausen, P. & Krause-Jensen, D. 2018. Kortlægning af ålegræsenge med ortofotos - muligheder og begrænsninger. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 265

/9/ Stæhr, P.A., Groom, G.B., Krause-Jensen, D., Hansen, L.B., Huber, S., Jensen, L.Ø., Rasmussen, M.B., Upadhyay, S. and Ørberg, S.B. 2019. Use of remote sensing technologies for monitoring Chlorophyll-a and submerged aquatic vegetation in Danish coastal waters. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 139

Karen Timmermann (karti@aqua.dtu.dk) er professor og Aris Thomasberger PhD ved DTU Aqua. Anders Stockmarr er lektor og Sayantan Sengupta er PhD ved DTU. Peter A. Stæhr er professor og Christian Lønborg specialkonsulent ved Aarhus Universitet. Lars Boye Hansen er operations director, Mikkel L. Rasmussen er senior remote sensing specialist og Lisbeth T. Nielsen er data science engineer.le ved DHI GRAS.

Tabel 1. Oversigt over forskellige metoders karakteristika og anvendelighed ift. overvågning af marin bundvegetation

Metode	Pre-/Post-processing	Tidslig opløsning	Rumlig dækning	Rumlig opløsning	Enkelt art/ Arts-sammensætning	Vegetations dæk-ningsgrad	Dybdegrænse	Vejr afhængig
Dykker	Visuel inspektion	On-demand	Transekt	Høj (mm-cm)	Ja	Ja	Ja	Ja (vind/ strøm, lys)
Video	Visuel inspektion Semi-automatisk Automatisk	On-demand	Transekt	Høj (mm-cm)	Ja	Ja	Ja	Delvis
Luftdrone	Visuel inspektion Semi-automatisk – automatisk	On-demand	Medium	Medium (cm)	Ja	Ja	Ja i nogle områder, nej for andre. Forskning kan forbedre muligheder	Ja (vind, skyer, lysintensitet)
Satellitter	Visuel inspektion Pixel-baseret klassifikation Semi-automatisk Superviseret klassifikation	Nye billeder kan fremskaffes hver 2. til 3. dag	Stor skala (100x100 km pr billede)	Lav (2m til 10m)	Nej	Ja	Ja I nogle områder, nej i andre. Forskning kan forbedre muligheder	Ja (skydække og lysintensitet er afgørende), men nye billeder er tilgængelige hver 2.-3. dag
Ortofoto	Visuel inspektion Semi-automatisk	Årlig	Medium (m-km)	Medium (cm-m)	Nej	Ja	Nej, kan primært anvendes i lavvandede (< 5 m) områder	Delvis, vejrforhold mest optimale i sommerperioden
Ekkolod	Visuel inspektion Semi-automatisk		0.1 til 1000 km²	Medium 10 til 100 cm	Nej	Ja	Ja	Lav