



METODEUDVIKLING OG STANDARDISERING AF OVERVÅGNING AF EPIFAUNA

Delrapport: AP1: Undersøgelse af velegnede metoder til kortlægning
og overvågning af epifauna

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 400

2026



AARHUS
UNIVERSITET
DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Metodeudvikling og standardisering af overvågning af Epifauna

Delrapport: AP1: Undersøgelse af velegnede metoder til kortlægning og
overvågning af epifauna

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 400

2026

Lasse Tor Nielsen
Peter AU Stæhr
Hans H. Jakobsen

Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer: Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 400

Kategori: Rådgivningsrapporter

Titel: Metodeudvikling og standardisering af overvågning af Epifauna
Undertitel: Delrapport: AP1: Undersøgelse af velegnede metoder til kortlægning og overvågning af epifauna

Forfattere: Lasse Tor Nielsen, Peter AU Stæhr, Hans H Jakobsen
Institution: Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience

Udgiver: Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL: <https://dce.au.dk>

Udgivelsesår: 2026
Redaktion afsluttet: 17. april 2026

Faglig kommentering: Karsten Dahl
Kvalitetssikring, DCE: Anja Skjoldborg Hansen
Sproglig kvalitetssikring: Else Vihlborg Staalsen

Ekstern kommentering: Miljøstyrelsen har ikke ønsket at kommentere på rapporten

Rekvirent: Miljøstyrelsen

Bedes citeret: Nielsen, L.T., Stæhr, P.A.U., Jakobsen, H.H. 2026. Metodeudvikling og standardisering af overvågning af Epifauna. Delrapport: AP1: Undersøgelse af velegnede metoder til kortlægning og overvågning af epifauna. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 28 s. - [Teknisk rapport nr. 400](#)

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Sammenfatning: Denne rapport leverer en sammenligning af metoder, som anvendes i Danmarks nabolande til at kortlægge og overvåge dyr knyttet til hårdt substrat på havbunden (epifauna). Formålet med analysen er at vurdere egnetheden af forskellige metoder til at registrere epifaunaens udbredelse og tilstedeværelse på et niveau, der understøtter forvaltning og naturtypebestemmelse på EUNIS-niveau 4. Gennemgangen omfatter både eksisterende visuelle, akustiske og nyere fremvoksende teknikker og vurderer deres anvendelighed i danske farvande.

Emneord: epifauna, EUNIS, marin overvågning, metoder

Foto forside: Fjernbetjent undervandsfartøj (ROV) i brug ved Aarhus Universitet. Foto: Karsten Dahl

ISBN: 978-87-7648-080-6
ISSN (elektronisk): 2244-999X

Sideantal: 28

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	6
Summary	7
1 Baggrund	8
2 Landetjek	10
2.1 Norge	10
2.2 Sverige	12
2.3 Storbritannien	14
2.4 Væsentlige observationer fra andre lande	15
3 Opsummering af anvendte metoder	16
3.1 Visuelle og video-baserede metoder	16
3.2 Akustiske metoder	19
4 Konklusioner og anbefalinger	23
5 Referencer	25

Forord

Dette projekt, *“Undersøgelse af velegnede metoder til kortlægning og overvågning af epifauna”*, er bestilt af Miljøstyrelsen som en delleverance til et større projekt. Hovedformålet med det overordnede projekt er at undersøge mulighederne for at standardisere de teknologiske metoder, der anvendes til monitorering af epifauna og habitatområder i Danmark. Det samlede projekt blev indledt i december 2025 og afsluttes i efteråret 2026. Nærværende rapport udgør en delleverance med aflevering i april 2026 og indgår som grundlag for det videre arbejde i hovedrapportens øvrige arbejdsplaner.

Projektet understøtter implementeringen af krav i naturgenopretningsforordningen, som indfører skærpede krav til både præcision og detaljeringsgrad i kortlægningen. Fremover skal naturtyper bestemmes på EUNIS-niveau 4, hvilket forudsætter en mere nuanceret og målrettet tilgang til både kortlægning og overvågning – herunder et øget fokus på epifauna. For at kunne identificere, vurdere og følge udviklingen i de marine naturtypers tilstand og udbredelse er det nødvendigt at anvende metoder, der mere præcist og systematisk kan registrere epifaunale samfund på tværs af forskellige havbundstyper og miljøforhold. Rapporten har været til kommentering hos Miljøstyrelsen inden den er endeligt offentliggjort.

Sammenfatning

Denne rapport leverer en sammenligning af metoder, som anvendes i vores nabolande til at kortlægge og overvåge dyr knyttet til hårdt substrat på havbunden (epifauna). Formålet med analysen er at vurdere egnetheden af forskellige metoder til at registrere epifaunaens udbredelse og tilstedeværelse på et niveau, der understøtter forvaltning og naturtypebestemmelse på EUNIS-niveau 4. Gennemgangen omfatter både eksisterende visuelle, akustiske og nyere fremvoksende teknikker og vurderer deres anvendelighed i danske farvande, herunder muligheder og begrænsninger i områder med komplekse habitatstrukturer eller betydelig epifyt- og makroalgbevækst.

Landetjekket viser, at Norge og Sverige anvender en række forskellige visuelle og akustiske metoder, herunder dykkerbaserede transekter, slæbekamera (UWTV), ROV og AUV samt multibeam-ekkolod og sidescan-sonar. Norge har med MAREANO-programmet udviklet en omfattende kombination af akustiske data, videotransekter og fysiske prøver, som muliggør både storskala kortlægning og finmasket karakterisering af benthiske habitater. Sverige har særligt erfaring med standardiseret brug af videoslæder og har arbejdet aktivt med udvikling af automatiseret billedgenkendelse. Storbritannien anvender en bred palet af videobaserede systemer, herunder dropkamera, slæder, glide, ROV og AUV.

Sammenligningen viser, at ingen enkeltmetode alene kan dække behovet for både rumlig dækning, taksonomisk opløsning og identifikation af flerlaget epifauna. Akustiske metoder, som multibeam-ekkolod og sidescan-sonar, giver stor geografisk dækning og værdifuld information om bundmorfologi og substratvariationer sammenfaldende med EUNIS 3, men har begrænset evne til at dokumentere fauna direkte og kræver omfattende visuel *ground-truthing*. Visuelle metoder, som dykning, ROV og slæbekamera giver derimod bedre taksonomisk opløsning, men har lav rumlig dækning og større omkostninger. Kombinationen af akustik og visuelle data – eventuelt suppleret med modelleringsmetoder, som det ses i Tyskland og Polen – vurderes derfor som den mest lovende vej til en effektiv og troværdig kortlægning af epifauna i danske farvande.

Billedanalyse og artsidentifikation med kunstig intelligens vinder hastigt frem, og det vurderes, at de potentielle fordele er så tilpas store, at tiden er ved at være moden til at afprøve og anvende teknikkerne i den danske overvågning, også selvom det er et felt, som fortsat udvikler sig meget hurtigt.

Nye teknikker som fotogrammetri og hyperspektral video vurderes at have potentiale til fremtidig brug i udvalgte områder, men kræver yderligere modning, standardisering og dokumentation. Samlet peger gennemgangen på, at et fremtidigt dansk program bør baseres på en kombination af storskala akustisk screening og målrettet visuel dokumentation, understøttet af standardiserede metoder, lagring af primærdata og klare retningslinjer for reproducérbarhed.

Overordnet anvender ingen af de omkringliggende lande ISO 23731-standarden (ISO:23731 2021) i deres overvågning af epifauna.

Summary

This sub-report provides a review of methods used for mapping and monitoring of benthic fauna attached to the seafloor (epifauna). The objective is to assess existing and potentially suitable methods for documenting the distribution and presence of epifauna at a level that supports management needs and habitat classification at EUNIS level 4. The review covers visual, acoustic, and emerging techniques, and evaluates their applicability in Danish waters, including opportunities and limitations in areas with complex habitat structures or substantial epiphytic and macroalgal growth.

The country review shows that Norway and Sweden employ a range of visual and acoustic methods, including diver-based transects, towed video sledges (UWTV), ROVs and AUVs, as well as multibeam echosounders and sidescan sonar. Through the MAREANO programme, Norway has developed an extensive combination of acoustic data, video transects, and physical sampling that enables both large-scale mapping and fine-scale characterisation of benthic habitats. Sweden has considerable experience with the standardised use of video sledges and has been actively engaged in developing automated image analysis. The United Kingdom employs a broad suite of video-based systems, including drop cameras, sleds, gliders, ROVs, and AUVs.

The assessment of methods shows that no single approach can meet the combined need for spatial coverage, taxonomic resolution, and the ability to identify vertically stratified epifauna. Acoustic methods such as multibeam echosounders and sidescan sonar provide extensive spatial coverage and valuable information on seabed morphology and substrate variation but have limited capacity to document fauna directly and require substantial visual ground-truthing. Visual methods such as diving, ROVs and towed video sledges offer better taxonomic resolution but have lower spatial coverage and higher operational costs. A combined approach – integrating acoustic and visual data and potentially supported by modelling techniques as demonstrated in Germany and Poland – is therefore considered the most promising path towards effective and reliable Danish epifauna mapping.

Image analysis and species identification using artificial intelligence are advancing rapidly, and the potential benefits are now substantial enough that the time is ripe to begin testing and applying these techniques in Danish monitoring – even as the field continues to evolve quickly.

Emerging techniques such as photogrammetry and hyperspectral video show promise for future use in selected areas but require further technological maturation, standardisation, and documentation. Overall, the review indicates that a future Danish monitoring programme should be based on a combination of large-scale acoustic screening and targeted visual documentation, supported by standardised methods, archiving of primary data, and clear guidelines to ensure reproducibility.

To that end, none of the neighbouring countries uses the ISO standard (ISO:23731 2021) in their monitoring of epifauna.

1 Baggrund

Miljøstyrelsen ønsker at styrke den danske kortlægning og overvågning af epifauna i danske havområder. Til at understøtte dette formål har Miljøstyrelsen bedt om en faglig gennemgang og vurdering af metoder, der anvendes i vores nabolande til at registrere tilstedeværelse og udbredelse af epifauna med henblik på at kunne bestemme naturtyper på EUNIS-niveau 4. Miljøstyrelsen har rekvireret DCE/AU til at udarbejde denne gennemgang og vurdering.

Arbejdet indebærer en vurdering af metodernes styrker og begrænsninger, herunder deres anvendelighed i situationer, hvor begroning med makroalger eller ålegræs kan vanskeliggøre identifikation af underliggende epifauna. Derudover vurderes metodernes egnethed til større geografiske områder og potentialet for at kombinere biologiske observationer med geofysiske data for at opnå en balance mellem rumlig dækning og taksonomisk opløsning.

En central del af opgaven er at undersøge mulighederne for standardisering og reproducerbarhed, så overvågningen kan harmoniseres og udføres på en kvantitativ og sammenlignelig måde.

I rapporten skelnes ikke skarpt mellem overvågning og kortlægning som adskilte aktiviteter, idet de metodisk delvist overlapper hinanden, særligt når overvågning gennemføres arealbaseret. Overvågning vil typisk være baseret på detaljerede biologiske observationer på udvalgte punktlokaliteter, mens kortlægning har til formål at beskrive fordelingen af naturtyper og epifauna på større, sammenhængende arealer. Overgangen fra punktbaserede biologiske (og geologiske) observationer til fladedækkende kortlægning forudsætter interpolation og ekstrapolation, ofte understøttet af geofysiske data såsom multibeam. Fordelingen af epifauna på større skalaer påvirkes imidlertid også af en række biotiske og abiotiske faktorer – herunder substrathistorik, hydrografi, eksponering, fødegrundlag og biologiske interaktioner – som ikke nødvendigvis kan aflæses direkte af de geofysiske data. Dette understreger behovet for en integreret tilgang, hvor biologiske observationer anvendes til at validere og kvalificere fladedækkende kortlægning.

Som led i opgaven gennemføres først et landetjek af metoder og praksis i nabolande. Dette skal afdække muligheder for harmonisering og erfaringsudveksling på tværs af landegrænser. Landetjekket omfatter blandt andet anvendt udstyr, survey design, geografisk dækning, overvågningsfrekvens samt brug af internationale guidelines og standarder, herunder ISO:23731:2021 (2021).

ISO 23731:2021-standarden giver retningslinjer for indsamling af videomateriale til at vurdere udbredelse, forekomst og adfærd hos epifaunale og benthopelagiske organismer, der fungerer som indikatorer for miljøtilstanden. ISO:23731 (2021) standarden tager specifikt udgangspunkt i *deep sea floor*, uden egentligt at forholde sig til denne definition, og fokuserer primært på at fastlægge præstationsspecifikationer for *in situ* videoundersøgelser i dybhavsmiljøer, er i en bredere kontekst knyttet til aktiviteter såsom havbundsminedrift på større dybder og har til formål at vurdere effektiviteten af standardiserede billedbaserede undersøgelsesmetoder.

Resultaterne vurderes i forhold til deres relevans for kortlægning og overvågning af epifauna i danske farvande, og derefter beskrives metoderne emnevis i en efterfølgende metodegennemgang baseret på den relevante litteratur. Dette landetjek afrapporteres særskilt i denne rapport. Den resterende del af projektet afrapporteres senere i 2026.

2 Landetjek

AU/DCE har i forbindelse med projektet kontaktet forskere og forvaltere i Sverige, Norge, Storbritannien, Frankrig og Tyskland. Sverige og Norge svarede med grundig information, links og referencer. For disse lande har det således været muligt at lave en gennemgang baseret på svar fra nationale eksperter. Den franske kontakt svarede, men vi har vurderet, at den overvågning af epifauna, der blev skitseret i det medsendte materiale, og links var af en så begrænset værdi, at dette ikke er relevant at gennemgå i detaljer her. Det har derimod ikke været muligt at få svar fra hverken de tyske eller britiske kontakter inden for tidsrammen for dette projekt. Da Storbritannien har en relativt lang tradition for marin undervandsvideo, og metoderne er relativt veldokumenterede og tilgængelige online, har vi gennemgået det tilgængelige materiale uden kontakt til nationale eksperter.

Fokus i dette afsnit er derfor på de metoder, der anvendes i Sverige, Norge og Storbritannien, og i afsnittet nedenfor gennemgås de tre landes metoder enkeltvis. Desuden nævnes til sidst enkelte observationer fra Tyskland og Polen.

2.1 Norge

Den marine epifaunaovervågning i Norge består primært af to forskellige programmer: 1) MAREANO-programmet, som fokuserer på kortlægning og undersøgelser af dybhavet, og 2) dykkerundersøgelser på faste, kystnære transekter på hård bund.

2.1.1 Kortlægning af dybhavet: MAREANO programmet

MAREANO (Marine Areal Database for Norwegian Waters) blev etableret i 2005 som et statsligt initiativ for at kortlægge norsk kontinentalsokkel og dybhavsområder. Programmet drives af Havforskningsinstituttet (IMR), Norges geologiske undersøgelse (NGU) og Kartverket, med finansiering fra Miljødirektoratet. Formålet er at levere detaljeret viden om dybde, bundtype, biotoper, biodiversitet og forurening som grundlag for økosystembaseret forvaltning, rumlig planlægning og beskyttelse af sårbare marine habitater, se fx Buhl-Mortensen et al. (2014).

Siden 2011 er der årligt bevilliget omkring 100 mio. NOK til programmet, og siden 2005 er der samlet set bevilliget næsten 1,8 mia. NOK (https://www.mareano.no/om_mareano).

MAREANO dækker områder fra Lofoten til Barentshavet, inklusive Norskehavet og dybe dele af kontinentalskråningen. Dybder spænder fra kystnære områder (0–40 m) til abyssale zoner (>3.400 m). Der er gennemført flere hundrede togter med omfattende dataindsamling, og kortlægningen omfatter bl.a. bathymetri og bundtekstur, biologiske data (epifauna, infauna, makroalger), sedimentprøver og kemiske analyser.

Der anvendes multibeam-ekkolod til at skabe bathymetriske kort med opløsning ned til 5 m. Data anvendes også til at skabe back-scatter kort, som bruges til at analysere sedimentforhold (https://static.ngu.no/upload/Publikasjoner/NGU-Fokus/infoark_mareano_fokus1.pdf). Programmet arbejder desuden med at implementere autonome undervandsfartøjer, som kan kortlægge

havbunden med ultrahøj opløsning på ned til få cm ved hjælp af *synthetic aperture sonar*.

Videooptagelser udføres med en undervandsrig (CAMPOD), der trækkes bag forskningsskibet langs planlagte transekter på omkring 1.000 meter (<https://www.mareano.no/metoder/videoobservasjoner>). Riggen er udstyret med to kameraer (CCD og HD) samt kraftigt lys. Videoerne dækker visuelt typisk en bredde på 1-2 meter. Samtidig dokumenteres miljøforholdene ved indsamling af data fra sensorer, herunder CTD (temperatur, salinitet, tryk), turbiditetsmåler og strømmåler. Et altimeter og laserlinjer anvendes til at holde en konstant afstand til havbunden og til at kalibrere størrelsen af objekter i billedfeltet. Videooptagelserne foretages før fysisk prøvetagning for at undgå forstyrrelse af sedimenter og giver et visuelt grundlag for vurdering af bundtype, megafauna og spor efter menneskelig aktivitet.

Hidtil er videoobservationerne i MAREANO programmet blevet analyseret manuelt. Der registreres epifauna over ca. 2 cm størrelse samt bundtype og eventuelle spor efter menneskelig påvirkning, fx trawlspor. Der arbejdes på at inkludere AI i videoanalysen, og det må forventes, at dette vil kunne bidrage til en hurtigere og mere omkostningseffektiv dataindsamling i fremtiden (<https://www.hi.no/en/hi/news/2024/may/one-million-photos-to-help-identify-the-animals-at-the-bottom-of-the-sea>). Det skal dog her bemærkes, at MAREANO-programmet med dets mangeårige indsamling af ensartet videomateriale er et unikt træningsmateriale, som anvendes til at træne en AI-model til automatisk artsdetektion. Datasættet er for nylig blevet anvendt til at demonstrere potentialet ved automatiseret billedgenkendelse. Ved at anvende AI arkitekturen YOLO v.8 lykkedes det at forøge annoteringshastigheden betragteligt (>1000 gange) sammenlignet med manuel identifikation og samtidig beholde en stor grad af sikkerhed i observationerne (Iyer 2025).

I tillæg til akustiske metoder og videotransekter indsamles også en række forskellige fysiske prøver af organismerne i, på og lige over bunden (grab, boxcorer, epibentisk slæde og bomtrawl).

Biotopklassifikation udføres med statistiske metoder (TWINSPAN, DCA) baseret på biologiske og miljømæssige data.

Data er tilgængelige via MAREANO-programmets hjemmeside og deles også via internationale platforme som EMODnet og GEBCO. Desuden udgives rapporter og videnskabelige artikler, hvor data anvendes.

2.1.2 Dykkerundersøgelser på kystnære transekter

I kystnære områder anvendes dykkerbaserede transekter til overvågning af hårbundsfauna og flora. Metoden dækker typisk dybder fra 0-30 m og fokuserer udelukkende på hårde substrater som klippe og stenede skrånninger (45-90°). Der gennemføres to dyk pr. station, ét med fokus på fauna og ét dyk på flora. Dykkeren registrerer visuelt fastsiddende epifauna for hver anden meter langs linjen. Krebsdyr indgår ikke i registreringen, men nøgensnegle noteres lejlighedsvis.

Dykkeren kan anvende et hjelmkamera til dokumentation, men det er ikke obligatorisk. Observationerne kommunikeres via radio til en observatør, som noterer dem ved overfladen. Stillbilleder tages med et separat kamera, og der kan foretages skrab af individer til nærmere identifikation i laboratoriet.

Hjelmkameraet bruges primært til kontrol og dokumentation – der anvendes ikke automatisk billedgenkendelse.

Programmet omfatter 16 stationer i Skagerrak, hvoraf min. 10 besøges årligt (de fleste én gang om året). Derudover findes ekstra stationer i indre og ydre Oslofjord (7 stationer hver), som undersøges hvert tredje år. Nogle stationer har tidsserier tilbage til 1990. Bergen er den nordligste lokalitet i programmet.

Epifaunadata indsamles, men anvendes ikke til tilstandsvurdering eller indeksberegning og ligger primært i databaser. Fokus er på makroalger, herunder overvågning af den nedre voksegrænse.

Dykkerundersøgelserne har netop været i udbud og vil fremover blive udført lidt anderledes. Som noget nyt anvendes bl.a. ROV-transekter, men kun til registrering af makroalgernes nedre voksegrænse. Det omfatter ca. 40 stationer uden for Skagerrak.

Intetsteds i beskrivelserne af den norske epifaunaovervågning er vi stødt på henvisninger til ISO-standard (ISO:23731 2021).

2.2 Sverige

2.2.1 Dykkerundersøgelser

Sverige har gennemført dykkerundersøgelser i de kystnære farvande siden 1993 (Vegetationsklädda botten - Miljöövervakning - Övervakning och uppföljning - Havs- och vattenmyndigheten). Fokus har altid hovedsageligt været på forekomster af ålegræs og makroalgevegetation, mens fauna kun registreres sporadisk. Den kvantitative svenske epifaunaregistrering med dykker omfatter et begrænset antal transekter, hvor der undervejs registreres forekomster i et begrænset antal 20x20 cm prøvetagningsrammer. Data er tilgængelige via SMHI's officielle database (<https://shark.smhi.se/hamta-data>), men data på epibenthos synes at være meget begrænset.

Det er muligt, at den benyttede metode kan anvendes til at følge tilstanden af epifauna på den enkelte lokalitet over tid, men vi vurderer ikke, at den er relevant i forhold til hverken kortlægning eller overvågning af større områder af den danske havbund.

2.2.2 Under Water TeleVision (UWTV)

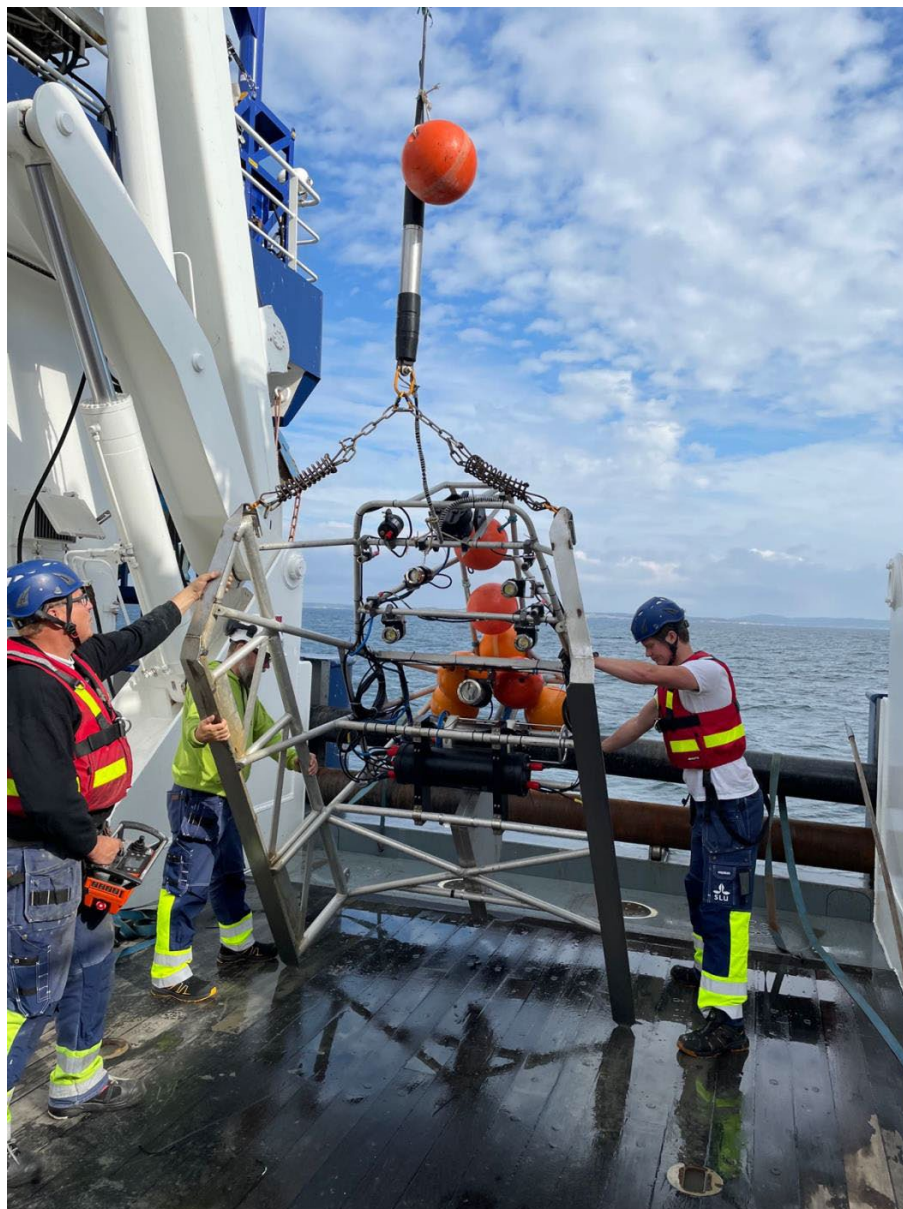
Sverige anvender en undervandsslæde med kamera til at undersøge epifauna, særligt på flad bund (fig. 1). Systemet klassificeres som et Under-Water TeleVision (UWTV) system og er beskrevet i detaljer i Sköld (2021). Slæden trækkes langs havbunden og leverer højopløsnings-, standardiseret video. Ved at overgå til at anvende et moderne forskningsfartøj med dynamisk positionering og automatisk bølgekompensation, har det været muligt at forbedre stabiliteten og kvaliteten af videoerne. Slæden trækkes frem med 0,6 knob ($\approx 0,3 \text{ m s}^{-1}$) og dækker en bredde på 0,8 m. Den slæbes i ca. 10 min., hvorfor det samlede undersøgte areal bliver ca. 150 m² per transekt.

Den svenske UWTV-overvågning anvendes først og fremmest til bestandsanalyser af jomfruhummer (*Nephrops norvegicus*), i forbindelse med erhvervs-mæssig udnyttelse. Dataindsamlingen følger ICES' metodik, og data indgår i ICES' bestandsvurderinger (Leocádio *m.fl.*, 2018). Det anvendte setup tillader,

at videomaterialet i tillæg anvendes til at undersøge forekomster af større epifauna-arter, herunder bl.a. søfjer, slangestjerner, krabber og snegle. En del arter må dog klassificeres sammen i den laveste fælles taxa, da det er vanskeligt at opnå en fuldstændig artsidentifikation (fx *Virgularia* arter). Da det undersøgte areal er kendt, kan observationerne omsættes til kvantitative tætheder per m².

I særligt følsomme, eller mere komplekse, habitater kan slæden i stedet anvendes som dropkamera, eller der kan anvendes undervandsdroner.

Figur 1. Undervandsslæden som anvendes i den svenske epifaunaovervågning, primært på flad bund i Kattegat. Slæden trækkes langs bunden efter et skib, mens der optages video. Billedet er gengivet fra Sköld (2021) med tilladelse.



2.2.3 Automatisk billedgenkendelse

Der arbejdes i Sverige med at udvikle og anvende automatisk billedgenkendelse i den marine overvågning. Projektet SUBSIM (www.subsim.se) har udviklet en samlet platform til formålet og har for nylig demonstreret, hvordan videomaterialet kan oparbejdes og anvendes videnskabeligt (Nilsson *m.fl.*, 2025). SUBSIM har også for nylig været brugt til at overvåge fisk på et kunstigt rev ved brug af Baited Remote Underwater Video (BRUV) (Fiorina 2025).

2.2.4 Iso-standard

Intetsteds i beskrivelserne af den svenske epifaunaovervågning er vi stødt på henvisninger til ISO-standarden (ISO:23731 2021), og den svenske ekspert, som har besvaret spørgsmålene, kendte heller ikke til konkret anvendelse af standarden i den svenske overvågning.

2.3 Storbritannien

Det har ikke været muligt at tilvejebringe svar fra relevante britiske eksperter vedrørende den britiske kortlægning og overvågning af marin epifauna inden udarbejdelsen af nærværende rapport. Nedenstående information om den britiske epifaunaovervågning er derfor begrænset til at basere sig på offentligt tilgængeligt online materiale.

Den britiske marine overvågning er omfangsrig og veludviklet, og kvalitets-sikres og standardiseres i samarbejdet "NE Atlantic Marine Biological Analytical Quality Control (NMBACQ) Scheme" (<https://nmbaqcs.org/>).

2.3.1 Video dokumentation

I Storbritannien (UK) anvendes en række forskellige systemer til indsamling af undervandsvideo til brug for epibenthos-kortlægning og overvågning. Joint Nature Conservation Committee (JNCC 2018) (JNCC) anvender mindst fire forskellige systemer: 1) en slæde som trækkes hen over bunden, 2) drop-kamera som sænkes ned til bunden, 3) en glider som trækkes gennem vandet over bunden og 4) ROV (<https://jncc.gov.uk/our-work/data-collection-survey-methods-and-equipment/>). Desuden har Storbritannien gennem en lang årrække udviklet autonome undervandsfartøjer (AUV) udstyret med forskellige sensorer og kameraer og med tiltagende rækkevidde og operationstid (<https://noc.ac.uk/facilities/marine-autonomous-robotic-systems/autosubs>). I 2024 gennemførtes fx en bentisk undersøgelse af det beskyttede havområde Central Fladen i Nordsøen med et fuldt autonomt undervandsfartøj udstyret med kameraer til fotografering af havbunden (<https://jncc.gov.uk/news/-blog-2024-world-creativity-and-innovation-week-blog-2/>). Nogle undervandsfartøjer kan søsættes fra land eller lavt vand og er derfor ikke, eller kun i begrænset omfang, afhængig af omkostningstung skibstid.

2.3.2 Akustiske metoder

I lighed med Danmark og mange andre lande, anvender UK også både multibeam-ekkolod og sidescan sonar til at kortlægge bundens morfologi og topografi. Metoderne, der anvendes, synes i al væsentlighed at minde om de danske, og de beskrives derfor ikke nærmere her. Guidelines for de to metoder er tilgængelige online (https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20101014084842/http://www.search-mesh.net/PDF/GMHM3_Swath_Bathymetry_ROG.pdf og https://emodnet.ec.europa.eu/sites/emodnet.ec.europa.eu/files/public/mesha_rog_sidescan_sonar_v40.pdf). Desuden anvendes Sub Bottom Acoustic Profiler til at karakterisere sedimentets dybere lag, men vi er ikke umiddelbart bekendt med, at dette kan anvendes i forbindelse med kortlægning og overvågning af epifauna eller marine naturtyper.

2.3.3 ISO-standard

Vi er ikke stødt på henvisninger til ISO-standarden (ISO:23731 2021) i gennemgangen af den britiske marines epifaunaovervågning. Til gengæld skal det nævnes, at NMBAQC har udgivet guidelines som henviser til, og anvender, en lang række andre nationale og internationale guidelines, herunder også forskellige ISO-standarder (Hitchin *m.fl.*, 2015, Turner *m.fl.*, 2016).

2.4 Væsentlige observationer fra andre lande

2.4.1 Tyskland

Den tyske epifaunaovervågning gennemgås ikke i detaljer i nærværende notat. Det skal dog nævnes, at tyske forskere for nylig gennemførte en geografisk fuldstændig dækkende modellering af habitater og biotoper i den tyske del af Østersøen (Marx *m.fl.*, 2023). Modelleringen er baseret på akustiske og biologiske (infauna, towed underwater video og dykkere) undersøgelser, og resulterede i et kort med 1x1 km geografisk opløsning. Modellen var i stand til at beskrive ni klasser af Broad Habitat Types (BHT), fem klasser af Other Habitat Types (OHT) (begge terminologier og definitioner fra EU's Havstrategidirektiv) og 84 klasser af HELCOM Underwater Biotope and Habitats (HUB). Der blev ikke gjort forsøg på at relatere resultaterne til EUNIS-systemets klassifikationer, men konceptuelt er systemerne delvist sammenlignelige med EUNIS-systemet, og det bør derfor være muligt på samme vis at modellere udbredelsen af EUNIS-naturtyper på tilstrækkeligt niveau.

2.4.2 Polen

I lighed med Tyskland, har polske forskere også for nylig modelleret de benthiske habitater i polsk farvand (Janowski *m.fl.*, 2025). Her blev akustiske data fra multibeam-ekkolod og sidescan-sonar kombineret med data om både infauna og epifauna. Over 7000 km² blev kortlagt med akustik, og de modellerede habitater var på EUNIS-niveau 5 med angivelse af en meget høj grad af præcision.

3 Opsummering af anvendte metoder

I dette afsnit vurderes egnetheden af nabolandenes metoder til kortlægning og overvågning af epifauna i danske farvande. Foruden nabolandene har vi inddraget erfaring med relevante metoder fra litteraturen. Metoderne er beskrevet og vurderet i de nedenstående afsnit opdelt i visuelle og akustiske metoder, og en samlet oversigt fremgår af tabel 1.

3.1 Visuelle og video-baserede metoder

Videobaserede tilgange er bredt anvendt i epifaunaovervågningen i både Nordsø- og Østersøregionerne, og der anvendes en række forskellige platformstyper og specifikationer, uden at der findes nogen egentlig standardmetode.

3.1.1 Dykkerundersøgelser

Dykkerundersøgelser gennemføres regelmæssigt i Danmark og de fleste andre lande omkring os. Der findes relativt lange tidsserier for disse dykkerundersøgelser, men de udføres typisk på få udvalgte hårbundslokaliteter. Der gennemføres korte (ofte <100m) transekter, og der arbejdes på relativt lavt vand (<30m, i praksis ofte mindre). Dykkerundersøgelser kan dokumenteres med video, men det sker ikke altid. Hertil kommer, at dykkeren kan indsamle prøver til artidentifikation i laboratoriet, hvilket erfaringsmæssigt øger antallet af identificerede arter betragteligt og giver større sikkerhed i artsbestemmelserne. I modsætning til alle andre metoder beskrevet her muliggør dykkerundersøgelserne desuden kortlægning af epifauna (og -flora), som sidder i flere lag, fx under makroalger eller epifytter, og giver oftest det bedste grundlag i den fotiske zone til at vurdere biodiversiteten. Dykkerundersøgelser er desuden velegnede i fysisk komplekse habitater (fx huledannende rev), hvor autonome systemer kan have vanskeligt ved at komme tæt på substratet. Den geografiske dækning ved dykkerundersøgelser er desværre bekostelig, da det kræver højtuddannet personel, skibstid og høj grad af sikkerhed. Den efterfølgende artsgenkendelse i laboratoriet kræver ressourcer. Til gengæld er der et væsentligt mindre tidsforbrug til oparbejdning af de indsamlede data ift. gennemgang af videomateriale.

3.1.2 Dropkamera

Dropkamarasystemer, hvor en fast ramme sænkes ned på eller lige over bunden, kan være et simpelt, ubemandet alternativ til dykkerundersøgelser. Kamera-riggen sendes blot ned, og der tages et eller flere billeder af havbunden. Der kan produceres billeder af ensartet, reproducerbar kvalitet inden for en overkommelig økonomisk ramme. Dropkamarasystemer er fx blevet anvendt til visuel verifikation af potentielle forekomster af arter/naturtyper identificeret ud fra akustiske data (Jenkins *m.fl.*, 2018).

Dropkameraer er typisk begrænset til ensartede, flade sedimenter og dækker kun et lille areal. De kan dog relativt nemt anvendes til at tage serier af billeder af havbunden i et systematisk punktnet, og data kan derefter anvendes til interpolation, modellering eller visuel verifikation. Aarhus Universitet har tidligere brugt dropkamera i forbindelse med habitatkortlægning. Erfaringerne herfra var blandt andet, at kvaliteten af optagelserne kan påvirkes af strøm og bølger, der flytter rammen.

Der kan ikke identificeres epifauna, som sidder placeret under fx epifytter eller makroalger. Ved brug af laser kan observationer størrelsesbestemmes.

3.1.3 Towed underwater video

Systemer til undervandsvideo kan også trækkes gennem vandet af et skib mens de optager. Sådanne systemer anvendes både i Danmark (i overvågningen af jomfruhummere i Kattegat og de danske myndigheders kortlægning af ålegræsudbredelse) og i mange af vores nabolande, fx i Aguzzi & Aristegui-Ezquibela (2022).

Ved at trække slæden efter et skib hen over bunden er det muligt at dække et langt større fotograferet areal end ved brug af dropkamera. Systemet er dog i endnu højere grad end et dropkamera afhængigt af, at bunden i området skal være et ensartet, fladt sediment.

Med de fleste systemer trækkes slæden hen over bunden, hvilket dog kan give udfordringer med negativ påvirkning af bunden og ustabile optagelser. Der findes også eksempler på systemer, som trækkes frit gennem vandsøjlen uden eller med minimal kontakt med bunden (Sheehan *m.fl.*, 2010), og forskellige systemer er tidligere blevet sammenlignet (Sheehan *m.fl.*, 2016).

Hvis der anvendes tilstrækkeligt gode kameraer og lyskilder, og slæden trækkes gennem vandet af et tilstrækkeligt stort, stabilt skib, kan der opnås videooptagelser af høj, ensartet kvalitet, der egner sig til senere artsidentifikation – enten manuelt eller med kunstig intelligens.

Typisk trækkes systemet i transekter på nogle få hundrede meter, og det observerede synsfelt er omkring 1 m bredt. Det er således realistisk at dække områder fra nogle hundrede m² til få km². I det norske MAREANO-program er dog væsentligt større arealer blevet undersøgt. Typisk vil organismer fra omkring > 5 cm i størrelse kunne identificeres.

Ligesom med dropkamera kan observationer størrelsesbestemmes ved brug af laser, men det er ikke muligt at identificere vertikalt stratificerede organismer, hvilket kan være en udfordring i den fotiske zone, hvor flerlags-biotoper bestående af makrolager og fauna kan forekomme.

3.1.4 Fjernbetjente undervandsfartøjer (ROV)

Fjernbetjente undervandsfartøjer (ROV'er) bliver anvendt i stort omfang og spænder fra store, professionelle ROV'er udstyret med højopløselige kameraer og kraftige lyskilder (Shashkov *m.fl.*, 2012) til mindre, kommercielle enheder som BlueRobotics BlueROV2 (Vedenin *m.fl.*, 2025) eller SRV-8 fra oceanbotics, anvendt af DCE på adskillige projekter bl.a. på energiprojektet (Hansen et al, in prep) og ved Anholt vindpark (Göke et al, 2025)

ROV-undersøgelser omfatter typisk videotransekter på mellem 100–1000 meter (Gates og Jones 2010, Buhl-Mortensen *m.fl.*, 2012, Monk *m.fl.*, 2024a), med surveyhastigheder på 0,3–0,7 knob og en højde over havbunden på 1–1,5 meter (Buhl-Mortensen *m.fl.*, 2014, Dunlop *m.fl.*, 2020, Hoffmann *m.fl.*, 2022). Afhængigt af videoopløsningen og kvaliteten af belysningen i forhold til kameraets følsomhed vil organismer og strukturer på over 5 cm forventes at kunne identificeres.

Sammenlignet med andre videosystemer er ROV'er typisk i stand til at operere i mere komplekse habitater (fx stenrev). De er dog typisk ikke i stand til at undersøge og dokumentere epifauna, der sidder i lag under fx epifytter.

DCE har allerede en del gode erfaringer med ROV'er i vores samarbejdsprojekter med ministerierne i Danmark omkring stenrevsovervågningen. Reelt er det et begrænset antal epifauna organismer, man er i stand til at genkende til artsniveau.

3.1.5 Autonome undervandsfartøjer (AUV)

Autonome undervandsfartøjer (AUV'er) anvendes i stigende grad til marin overvågning og benthiske undersøgelser. Det er fartøjer, der navigerer uden operatør, typisk ved at følge præcist definerede ruter og/eller reagere på simple signaler. Nogle modeller kan operere i uger eller måneder ad gangen og kan tilbagelægge flere tusind kilometer, før de skal lades op og serviceres. Dette gør dem særligt velegnede til standardiserede og gentagelige transekter (JNCC 2018) og referencer deri, herunder også langt fra land og på dybt vand. AUV'er spænder fra små systemer under 3 meter, såsom Kongsberg REMUS-serien, til større platforme som Autosub-familien, og de er typisk udstyret med kameraer, sonar og sensorer til indsamling af geofysiske og biologiske data. I modsætning til ROV'er, der kræver konstant menneskelig styring, kan AUV'er gennemføre lange missioner autonomt, hvilket potentielt kan mindske omkostningerne. De genererer ofte højopløselige fotomosaikker og detaljerede digitale højdemodeller med opløsninger på 1–10 cm, hvilket muliggør en detaljeret karakterisering af benthiske habitater og strukturel kompleksitet. AUV-baserede billedserier har vist sig særligt effektive til tidsserier og overvågning af ændringer i epifaunasammensætning (Williams *m.fl.*, 2012, Hill *m.fl.*, 2014, Monk *m.fl.*, 2024b). Sammenlignet med ROV'er er AUV'er dog mindre egnede til tæt manøvrering i komplekse habitater, da de normalt opererer i mere faste, planlagte ruter og derfor ikke i samme grad kan respondere fleksibelt på strukturelle variationer i felten (NOAA Fisheries 2026). Ligeledes kan det være en væsentlig udfordring for AUV-operationer i Danmark, at de danske farvande er tæt trafikeret, at der foregår fiskeri med både passive og aktive fiskeredskaber, og at der foregår andre maritime aktiviteter. Dette vil forventeligt medføre en betydelig risiko for fx kollisioner, tab af AUV-udstyr eller lignende.

Foruden de mere veletablerede metoder, som allerede er i brug i de omkringliggende lande, og som er beskrevet i det forrige afsnit, udvikles der konstant en række forskellige nye teknikker. Et par af disse metoder omtales kort i dette afsnit, da DCE vurderer, at disse metoder i fremtiden kunne blive relevante at overveje i den danske epifaunaovervågning.

3.1.6 Yderligere videobaserede teknikker under udvikling

Fotogrammetri

Undervandsfotogrammetri er en billedbaseret metode, hvor overlappende fotos eller videosekvenser anvendes til at skabe detaljerede, målbare 3D-modeller af havbundens strukturer og epifauna (Price *m.fl.*, 2019). Metoden bygger på princippet om at identificere fælles punkter i flere billeder og rekonstruere disse i et digitalt tredimensionelt miljø. I praksis udføres optagelserne typisk med ROV'er, AUV'er eller dykkere. Fotogrammetri gør det muligt at dokumentere både fysiske habitatstrukturer og biologiske elementer med høj præcision.

Fotogrammetri kan give meget høj rumlig opløsning, hvor ROV-baserede undersøgelser kan producere både fotomosaikker og digitale højdemodeller med 1–10 cm opløsning. Dette gør teknikken særdeles velegnet til kortlægning af epifauna, biogene rev og andre komplekse habitater i meget stor detaljegrad. Metoden muliggør også kvantificering af substratdækning og strukturel kompleksitet samt sammenligning på tværs af tid i overvågningsprogrammer (Monk *m.fl.*, 2024a).

Fotogrammetri er dog afhængig af god sigtbarhed, stabil belysning og rolig kameraføring. Dataindsamlingen kan derfor være udfordret i uklare eller turbulente vande, hvilket begrænser brugen i fx stærkt eutrofierede kystområder. De store datamængder kræver desuden betydelig efterbehandling og beregningskraft, og systemet er følsomt over for navigationsfejl, som kan give skævheder i de endelige modeller.

Metoden vil formentlig primært være egnet til nogle få små områder.

Hyperspektral video

Der eksperimenteres en del med brug af hyperspektral foto/video i den marine overvågning (Nevstad 2022, Allentoft-Larsen *m.fl.*, 2025), og dette er en teknik, som i fremtiden kan være anvendelig.

Metoden er baseret på kameraer, som kan registrere elektromagnetisk stråling i snævre, kontinuierlige bølgelængdebånd på tværs af det synlige og nær-/kortbølgede infrarøde spektrum. Hver pixel indeholder et komplet spektrum, hvilket muliggør præcis identifikation af karakteristiske materialer, og visuelt vanskelige adskillige arter gennem spektrale signaturer. Dette indebærer en langt større datamængde pr. pixel og dermed bedre muligheder for at identificere og gruppere relevante taksonomiske enheder sammenlignet med almindeligt foto/video.

DCE arbejder i dag med teknologien som led i et forskningsprojekt, men det vurderes, at der fortsat udestår en del udviklingsarbejde, før udstyr og metoder til hyperspektral billedindsamling er modnet tilstrækkeligt til, at de kan anvendes i den standardiserede marine overvågning.

Som med fotogrammetri forventer DCE ligeledes, at behovet for, og fordelene ved, at anvende hyperspektral foto/video til kortlægning og overvågning af de danske marine områder vil begrænse sig til udvalgte, små områder.

3.2 Akustiske metoder

3.2.1 Multibeam ekkolod

Multibeam ekkolod (MBES) er i dag blandt de mest anvendte hydroakustiske teknologier til detaljering af havbundens morfologi og akustiske egenskaber, herunder også i Danmark. Systemerne indsamler simultant højopløselig bathymetri og backscatter-data, som tilsammen beskriver både overfladestruktur og substratvariationer (Parnum *m.fl.*, 2009). Moderne MBES-systemer kan producere terrænmodeller og backscatter-mosaikker med meter- til submeteropløsning, hvilket muliggør identifikation af heterogene habitatstrukturer, såsom stenrev, sandbølger og biogene elementer. Kombinationen af bathymetri og informationer om hårdhed (og efterfølgende om tekstur) fra backscatter har vist sig anvendelig i bentiske habitatkortlægninger, hvor klassifikationsmodeller

kan forudsige substrat- og habitatklasser med høj nøjagtighed (Janowski *m.fl.*, 2018, Janowski *m.fl.*, 2025) efter video- og prøvebaseret *ground-truthing* (Porskamp *m.fl.*, 2022, Marx *m.fl.*, 2023). MBES muliggør stor-skala og gentagelig kortlægning af topografiske og strukturelle egenskaber, som kan fungere som proxy for epifaunas fordeling, særligt i områder med komplekse fysiske habitater. MBES anvendes allerede i Danmark som et omkostningseffektivt screeningsværktøj til udpegning af prioriterede felter til mere detaljerede kamera- eller dykkerbaserede undersøgelser, samtidig med at teknologien leverer kontinuerlige, standardiserede storskala datasæt, som er egnede til både kortlægning og langtidsmonitorering.

3.2.2 Sidescan sonar

Sidescan-sonar er en type sonar, der udsender lyd-pulser ud til siderne af det trækkende fartøj, hvilket giver detaljerede billeder af struktur og små objekter på havbundens overflade (Kenny *m.fl.*, 2001). Denne akustiske metode gør det muligt at identificere variationer i sedimentoverfladen og registrere akustiske skygger fra selv relativt små elementer, herunder biogene strukturer og bundtopografi. Med tilhørende *ground truthing* kan nogle bentiske habitattyper ofte adskilles ud fra deres karakteristiske akustiske signaturer, og sidescan-sonar er derfor bredt anvendt inden for habitatkortlægning af makrobentiske miljøer, herunder hårbundshabitater, mærl-banker og biogene rev (Ehrhold 2009). Sidescan-sonar kan dermed anvendes som screenings- og kortlægningsværktøj.

Systemet kan hurtigt afdække rumlig heterogenitet i substrat og havbundsstrukturer. Sidescan-baserede habitatklassifikationer har vist sig anvendelige til at udpege funktionelle habitatklasser, som stemmer overens med variationer i faunaens sammensætning (Switzer *m.fl.*, 2020, Marx *m.fl.*, 2023). Desuden kan integration af sidescan-data med andre akustiske eller optiske teknologier forbedre nøjagtigheden i habitatmodeller (Yeong *m.fl.*, 2023). Samlet set fungerer sidescan-sonar som et oplagt og omkostningseffektivt supplement til både dykkerundersøgelser, videoteknologier og multibeam-ekkolod i dansk epifaunaovervågning.

3.2.3 LIDAR

LIDAR (Light Detection and Ranging) er en aktiv fjernmålingsmetode, hvor afstande måles ved hjælp af laserpulser og registrering af den tid, det tager for lyset at blive reflekteret tilbage til sensoren. Bathymetrisk LIDAR benytter typisk to lasere: en infrarød, som reflekteres ved vandoverfladen, og en grøn laser (ca. 532 nm), som kan penetrere vandsøjlen og reflekteres fra havbunden. Afstanden mellem disse refleksioner anvendes til at beregne vanddybden. Metoden er særligt velegnet i klare, lavvandede områder, hvor akustiske metoder som multibeam-ekkolod kan være vanskelige at anvende eller er forbundet med betydelige logistiske omkostninger. Kortlægningen foregår typisk fra et fly.

I kortlægning af marin natur anvendes LIDAR primært til at generere højop-løselige bathymetriske modeller, afhængigt af vandets klarhed og bundens refleksivitet, men vil i bedste fald nå ned til maksimalt 10 meter i danske farvande. Disse data bruges til at identificere geomorfologiske strukturer såsom sandbanker, render, rev og stenfelter samt til at aflede terrænparametre som hældning og ruhed, der har betydning for fordelingen af marine naturtyper.

LIDAR giver ikke direkte information om biologisk sammensætning eller epifauna, men kan indirekte indikere biologiske strukturer, eksempelvis tæt vegetation eller biogene hårdbunde, der påvirker bundens reflektans. Tæt vegetation kan dog også maskere den underliggende bund og dermed begrænse datatolkningen. LIDAR anvendes derfor primært som et supplement til biologiske punktundersøgelser og akustiske data. Metoden er tidligere demonstreret at kunne anvendes til at kortlægge havbunden i Danmark (Hansen *m.fl.* 2021).

Tabel 1 Opsamling på forskellige metoders anvendelse, fordele og ulemper samt anvendelser

Metode	Type	Anvendelse	Fordele	Ulemper	Standardiseret/Reproducerbarhed	Vertikal stratificering	Geografisk dækning	Kommentarer
Multibeam-ekkolod	Akustisk	Geomorfologi. Potentielt også visse biologiske elementer, fx biogene rev med <i>groundtruthning</i> .	Stor geografisk dækning	Kræver visuel <i>ground truthing</i> . Bliver omkostningstung på lavt vand.	Høj	-	Høj	Teknologen er moden og bruges flittigt i geomorfologiske undersøgelser på EUNIS 3 niveau.
Sidescan	Akustisk	Geomorfologi. Potentielt også visse biologiske elementer, fx biogene rev med <i>groundtruthning</i> .	Stor geografisk dækning	Kræver visuel <i>ground truthing</i> . Bliver omkostningstung på lavt vand.	Høj	-		Teknologen er moden og bruges flittigt i geomorfologiske undersøgelser på EUNIS 3 niveau.
Lidar	Optisk	Geomorfologi.	Stor geografisk dækning. Særligt relevant på lavt vand, hvor brug af skibsbaseret multibeam kan være vanskelig.	Afhængig af vandets klarhed. Kan derfor ikke anvendes på større dybder (typisk >10-20 m).	Høj	-	Høj	Teknologen er moden og bruges flittigt i geomorfologiske undersøgelser på land og i kystzonen.
Synthetic aperture sonar	Akustisk	Geomorfologi. Potentielt også visse biologiske elementer, fx biogene rev.			Høj	-		Teknologen er moden og bruges flittigt i geomorfologiske undersøgelser på EUNIS 3 niveau.
Dykker	Visuel	Geomorfologi og biologi	Lange tidsserier. Mulighed for at dokumentere epifauna under andet dække. Høj taksonomisk detaljeringsgrad	Dyrt, lav geografisk dækning	Mellem	Ja	Lav	Vil formentlig være nødvendig som minimum til <i>ground truthing</i> mange år fremover.
ROV	Visuel	Geomorfologi og biologi	Kan anvendes i fysisk komplekse habitater (rev).	Risiko for ustabile optagelser. Lav taksonomisk detaljeringsgrad og kun større organismer Kun brugbar i et-laget biologiske samfund	Mellem	Nej	Lav	Monk et al (2024a) Relativt moden teknologi, anvendes i den Danske stenrevsovervågning. Udvikling af automatiserede metoder til billedgenkendelse kræver stadig udvikling.
Slæde/UWTV	Visuel	Geomorfologi og biologi	Standardiserbar Areal-kvantitativ	Kan ikke anvendes i mere komplekse habitater (fx stenrev) Lav taksonomisk detaljeringsgrad og kun større organismer Kun brugbar i et-laget biologiske samfund	Høj	Nej	Lav/mellem	Svenske erfaringer har vist, at videooptagelserne bliver betydeligt forbedret ved at anvende et større (og dermed mindre vejrfølsomt) skib udstyret med dynamisk positionering.
Drop kamera	Visuel	Geomorfologi og biologi	Standardiserbar Areal-kvantitativ Billig – mange prøver/billeder	Kan anvendes i moderat komplekse habitater. Lav dækning i m2. Lav taksonomisk detaljeringsgrad og kun større organismer Kun brugbar i et-laget biologiske samfund	Høj	Nej	Lav/mellem	Simple teknologi og anvendes allerede af f.eks. Sverige

Metode	Type	Anvendelse	Fordele	Ulemper	Standardise- ret/Reprodu- cerbarhed	Vertikal stratifice- ring	Geografisk dækning	Kommentarer
Autonom under- vandsfartøj (AUV)	Visuel	Geomorfologi og bio- logi	Standardiserbar Areal-kvantitativ Autonom Potentielt billigere operationsomkost- ninger.	Kan ikke anvendes i mere komplekse habitater (fx sten- rev). Høj startomkost- ning. Lav taksonomisk detaljeringsgrad og kun større organis- mer Kun brugbar i et- låget biologiske samfund	Høj	Nej	Mellem/Høj	

4 Konklusioner og anbefalinger

Kortlægning og overvågning af epifauna kræver en flerstrengt metodisk tilgang, fordi ingen enkeltmetode kan dække både rumlig skala, taksonomisk opløsning og kompleks habitatstruktur. De gennemgåede metoder supplerer hinanden på en måde, så deres respektive styrker kompenserer for hinandens svagheder (*tabel 1*).

Akustiske metoder (fx multibeam-ekkolod og sidescan-sonar) og LIDAR giver en **omkostningseffektiv, storskala screening** af havbundens fysiske egenskaber. De er uundværlige til at identificere rumlige mønstre, strukturvariation og potentielle hotspots for epifauna, men de kan ikke dokumentere fauna direkte. Derfor fungerer de bedst som **første trin** i et integreret program, hvor de udpeger de mest relevante områder for mere detaljerede undersøgelser.

Visuelle metoder, herunder dykning, ROV, slæbekamera/UWTV og dropkamera, giver en **høj taksonomisk detaljeringsgrad** og gør det muligt at registrere epifauna i høj opløsning. De er uundværlige for artsidentifikation, dokumentation af vertikalt stratificerede organismer og *ground-truthing* af akustiske data. Til gengæld dækker de mindre geografiske områder og kan være ressourcekrævende. Netop derfor er deres styrke størst, når de integreres med akustiske data, men ikke som selvstændige metoder. Det skal også bemærkes at jo mindre arterne er, desto større usikkerhed og arter/individer under 5 cm kan ikke identificeres. Dette reducerer i høj grad antallet af arter, der kan identificeres i praksis.

Modelbaserede tilgange, med inspiration fra Tyskland og Polen, viser potentiale for at knytte akustiske og visuelle data. Ved at kombinere bathymetri, backscatter, video og/eller infaunadata kan der udvikles **prædiktive habitatmodeller**, der leverer naturtypekort på EUNIS-niveau 4–6. Disse modeller gør det muligt at opskalere detaljerede punktobservationer til store geografiske områder (et eksempel på den tilgang for infauna på et overordnet broad scale habitat niveau i danske farvande kan ses i Göke et al. (2025)).

Samlet viser gennemgangen, at **den mest robuste og effektive tilgang** til dansk epifaunaovervågning er en **integreret metodekæde**, bestående af:

1. **Storskala akustisk screening** → identificerer rumlige mønstre og stratificerer indsatsen
2. **Måltrettet visuel dokumentation** → sikrer artsniveau og understøtter *groundtruthing*
3. **Modelbaseret syntese** → opskalerer viden og muliggør standardiseret naturtypekortlægning

Denne kombination udnytter synergierne mellem metoderne og skaber et samlet overvågningsdesign, der både er **effektivt, reproducerbart og fremtidssikret** – især i lyset af den hastige udvikling inden for automatiseret billedanalyse og potentielle fremtidige teknikker såsom fotogrammetri og hyperspektral video.

Hvis teknikker til automatisk billedgenkendelse implementeres i den danske overvågning i fremtiden, bliver det en særskilt problematik at sikre, at de analyserede data forbliver konsistente over tid og at primærdata (video) lagres og gøres tilgængelige for gentagne analyse for eftertiden. Det kan i sidste ende kræve en betydelig indsats for at sikre på lager, og tilgængeliggøre data.

Desuden skal det nævnes, at andre teknikker, herunder fx eDNA, muligvis vil kunne have værdi og berettigelse som supplement i et dansk overvågningsprogram for epifauna.

Der findes således en lang række forskellige metoder og teknikker med hver deres styrker og begrænsninger. Hvordan disse bedst kombineres i et dansk kortlægnings- og overvågningsprogram, afhænger i høj grad af det konkrete behov. Akustiske metoder og prædiktiv habitatmodellering kan anvendes og bør være de bærende elementer, hvis fokus er på stor-skala kortlægning. Omvendt er videobaserede metoder (eller eventuelt eDNA) nødvendige, hvis fokus er på høj taksonomisk opløsning, herunder fx rødlistede arter. Før et fremtidigt dansk overvågningsprogram designes, bør det sikres, at de konkrete behov skitseres så detaljeret som muligt.

5 Referencer

Aguzzi J, Aristegui-Ezquibela M (2022) Working Group on Nephrops Surveys (WGNEPS; outputs from 2021).

Allentoft-Larsen MC, Santos J, Azhar M, Pedersen HC, Jakobsen ML, Petersen PM, Pedersen C, Jakobsen HH (2025) Low-cost hyperspectral imaging in macroalgae monitoring. *Sensors* 25:2652.

Buhl-Mortensen L, Buhl-Mortensen P, Dolan MFJ, Dannheim J, Bellec V, Holte B (2012) Habitat complexity and bottom fauna composition at different scales on the continental shelf and slope of northern Norway. *Hydrobiologia* 685:191-219.

Buhl-Mortensen L, Buhl-Mortensen P, Dolan MFJ, Holte B (2014) The MAREANO programme – A full coverage mapping of the Norwegian off-shore benthic environment and fauna. *Marine Biology Research* 11:4-17.

Dunlop K, Harendza A, Plassen L, Keeley N (2020) Epifaunal Habitat Associations on Mixed and Hard Bottom Substrates in Coastal Waters of Northern Norway. *Frontiers in Marine Science* 7

Ehrhold, A. (2009). Use of sidescan sonar images for mapping macrobenthic habitats. Proceedings of Advances in Seafloor-Mapping Sonar, Telecom Bretagne, Brest, France, 30 November-1 December 2009. IFREMER, Conference abstract.

Fiorina L (2025) AI-assisted benthic monitoring. 10.5281/zenodo.17429399
10.5281/zenodo.17429399

Gates A R, & Jones DOB (2010). Recovery at Morvin: SERPENT final report (National Oceanography Centre Southampton Research and Consultancy Report No. 86). National Oceanography Centre, Southampton.
<https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/2941950/>

Göke C, Robinson BJO, Dahl K (2025). Environmental mapping and screening of the offshore wind potential in Denmark. Sensitivity mapping: Benthic habitats and associated biological communities. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 75pp. Scientific Report No. 642.
https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige_rapporter_600-699/SR642.pdf

Hansen SS, Ernsten VB, Andersen MS, Al-Hamdani Z, Baran R, Niederwieser M, Steinbacher F, Kroon A (2021) Classification of Boulders in Coastal Environments Using Random Forest Machine Learning on Topo-Bathymetric LiDAR Data. *RemoteSens*, 13, 4101.

Hill NA, Lucieer V, Barrett NS, Anderson TJ, Williams SB (2014) Filling the gaps: Predicting the distribution of temperate reef biota using high resolution biological and acoustic data. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 147:137-147.

Hitchin R, Turner JA, Verling E (2015) NMBAQC/JNCC Epibiota Remote Monitoring from Digital Imagery: Operational Guidelines.

Hoffmann J, Michaelis R, Mielck F, Bartholomä A, Sander L (2022) Multianual Seafloor Dynamics around a Subtidal Rocky Reef Habitat in the North Sea. *Remote Sensing* 14(9), 2069

ISO:23731 (2021) Marine technology – Marine environment impact assessment (MEIA) Performance specification for in situ image-based surveys in deep seafloor environments.

Iyer K (2025) Detecting and quantifying deep sea benthic life using advanced object detection. *Frontiers in Marine Science*, 11, Article 1470424.

Janowski L, Dziaduch D, Baranska A, Edut J, Zelewska I, Kaczmarek N, Szeffler K, Wojcik M, Wroblewski R, Opiola R, Gajewski J, Kaminska M, Jurkiewicz-Gruszecka E, Marciniewicz-Mykieta M (2025) High-resolution predictive mapping reveals novel benthic habitats in the southern Baltic Sea. *Sci Total Environ* 1009:180997.

Janowski L, Trzcinska K, Tegowski J, Kruss A, Rucinska-Zjadacz M, Pocwiardowski P (2018) Nearshore Benthic Habitat Mapping Based on Multi-Frequency, Multibeam Echosounder Data Using a Combined Object-Based Approach: A Case Study from the Rowy Site in the Southern Baltic Sea. *Remote Sensing* 10(12) 1983

Jenkins C, Eggleton J, Barry J, O'Connor J (2018) Advances in assessing *Sabellaria spinulosa* reefs for ongoing monitoring. *Ecol Evol* 8:7673-7687.

JNCC (2018) Autonomous Underwater Vehicles for use in marine benthic monitoring – Marine Monitoring Platform Guidelines No. 2. Joint Nature Conservation Committee (JNCC), Peterborough, UK,

Kenny AJ, Todd BJ, Cooke R (2001) The application of sidescan sonar for seabed habitat mapping. *Marine Monitoring Handbook, Procedural Guideline No 1–4*. CEFAS; Geological Survey of Canada; Emu Environmental Ltd., UK; Canada,

Leocádio A, Weetman A, Wieland K (2018) Using UWTV surveys to assess and advise on Nephrops stocks. ICES Cooperative Research Report. ICES <https://doi.org/10.17895/ices.pub.4370>

Marx D, Feldens A, Papenmeier S, Feldens P, Darr A, Zettler ML, Heinicke K (2023) Habitats and Biotopes in the German Baltic Sea. *Biology* 13(1)

Monk J, Barrett N, Bond T, Fowler A, McLean D, Partridge J, Perkins N, Przeslawski R, Thomson PG, Williams J (2024a) Field manual for imagery-based surveys using remotely operated vehicles (ROVs). In: Przeslawski R, Foster S (eds) *Field Manuals for Marine Sampling to Monitor Australian Waters, Version 3*. National Environmental Science Programme (NESP), Australia

Monk J, Barrett N, Bridge T, Carroll A, Friedman A, Ierodiaconou D, Jordan A, Kendrick G, Lucieer V (2024b) Marine sampling field manual for autonomous underwater vehicles (AUVs). In: Przeslawski R, Foster S (eds) *Field Manuals for Marine Sampling to Monitor Australian Waters, Version 3*. National Environmental Science Programme (NESP), Australia

Nevstad MB (2022) Use of different imaging systems for ROV-based mapping of complex benthic habitats. Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Norway.

Nilsson CL, Faurby S, Burman E, Germishuys J, Obst M (2025) Applying Deep Learning to Quantify Drivers of Long-Term Ecological Change in a Swedish Marine Protected Area. *Ecol Evol* 15 (9) e72091.

NOAA_Fisheries (2026) <https://www.fisheries.noaa.gov/west-coast/science-data/using-autonomous-underwater-vehicle-survey-west-coast-habitat-and-fish> <https://www.fisheries.noaa.gov/west-coast/science-data/using-autonomous-underwater-vehicle-survey-west-coast-habitat-and-fish>

Parnum IM, Gavrilov AN, Siwabessy J Benthic habitat mapping using multibeam sonar. Proc Proceedings of the SUT Annual Conference 2009. Society for Underwater Technology

Porskamp P, Schimel ACG, Young M, Rattray A, Ladroit Y, Ierodiaconou D (2022) Integrating multibeam echosounder water-column data into benthic habitat mapping. *Limnology and Oceanography* 67:1701-1713

Price DM, Robert K, Callaway A, Lo Lacono C, Hall RA, Huvenne VAI (2019) Using 3D photogrammetry from ROV video to quantify cold-water coral reef structural complexity and investigate its influence on biodiversity and community assemblage. *Coral Reefs* 38:1007-1021.

Shashkov A, Dahlgren T, Schläppy M-L, Rzhanov Y (2012) Usage of Video-mosaic for Computer Aided Analysis of North Sea Hard Bottom Underwater Video for Baseline Study of Offshore Windmill Park. Unspecified Institution, North Sea Region,

Sheehan EV, Stevens TF, Attrill MJ (2010) A quantitative, non-destructive methodology for habitat characterisation and benthic monitoring at offshore renewable energy developments. *PLoS One* 5:e14461.

Sheehan EV, Vaz S, Pettifer E, Foster NL, Nancollas SJ, Cousens S, Holmes L, Facq JV, Germain G, Attrill MJ (2016) An experimental comparison of three towed underwater video systems using species metrics, benthic impact and performance. *Methods in Ecology and Evolution* 7:843-852

Sköld M, Ren E, Jonsson P, Wernbo A, Wikström A, Wennhage H (2021) Tätheten av sjöpennor i skyddade och bottenträlade områden i Skagerrak och Kattegatt – Förslag till övervakningsprogram för epifaunans status. Aqua reports 2021:14. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser, Sweden,

Switzer TS, Tyler-Jedlund AJ, Keenan SF, Weather EJ (2020) Benthic Habitats, as Derived from Classification of Side-Scan-Sonar Mapping Data, Are Important Determinants of Reef-Fish Assemblage Structure in the Eastern Gulf of Mexico. *Marine and Coastal Fisheries* 12:21-32.

Turner JA, Hitchin R, Verling E, van Rein H (2016) Epibiota remote monitoring from digital imagery: Interpretation guidelines. Joint Nature Conservation Committee (JNCC), Peterborough, UK,

Vedenin A, Kröncke I, Weiss T, Nolte G, Keller M, Beck AJ, Esposito M, Greinert J (2025) Sea-dumped munitions in the Baltic Sea support high epifauna abundance and diversity. *Commun Earth Environ* 6, 749

Williams SB, Pizarro OR, Jakuba MV, Johnson CR, Barrett NS, Babcock RC, Kendrick GA, Steinberg PD, Heyward AJ, Doherty PJ, Mahon I, Johnson-Roberson M, Steinberg D, Friedman A (2012) Monitoring of Benthic Reference Sites. *Ieee Robotics & Automation Magazine* 19:73-84.

Yeong WY, Chong WS, Hue C, Nius I (2023) Enhancing benthic habitat mapping: A review of integrating satellite and side scan sonar data for improved classification accuracy. *Transactions on Science and Technology* 11:257-284.

METODEUDVIKLING OG STANDARDISERING AF OVERVÅGNING AF EPIFAUNA

Delrapport: AP1: undersøgelse af velegnede metoder til kortlægning og overvågning af epifauna

Denne rapport leverer en sammenligning af metoder, som anvendes i Danmarks nabolande til at kortlægge og overvåge dyr knyttet til hårdt substrat på havbunden (epifauna). Formålet med analysen er at vurdere egnetheden af forskellige metoder til at registrere epifaunaens udbredelse og tilstedeværelse på et niveau, der understøtter forvaltning og naturtypebestemmelse på EUNIS-niveau 4. Gennemgangen omfatter både eksisterende visuelle, akustiske og nyere fremvoksende teknikker og vurderer deres anvendelighed i danske farvande.