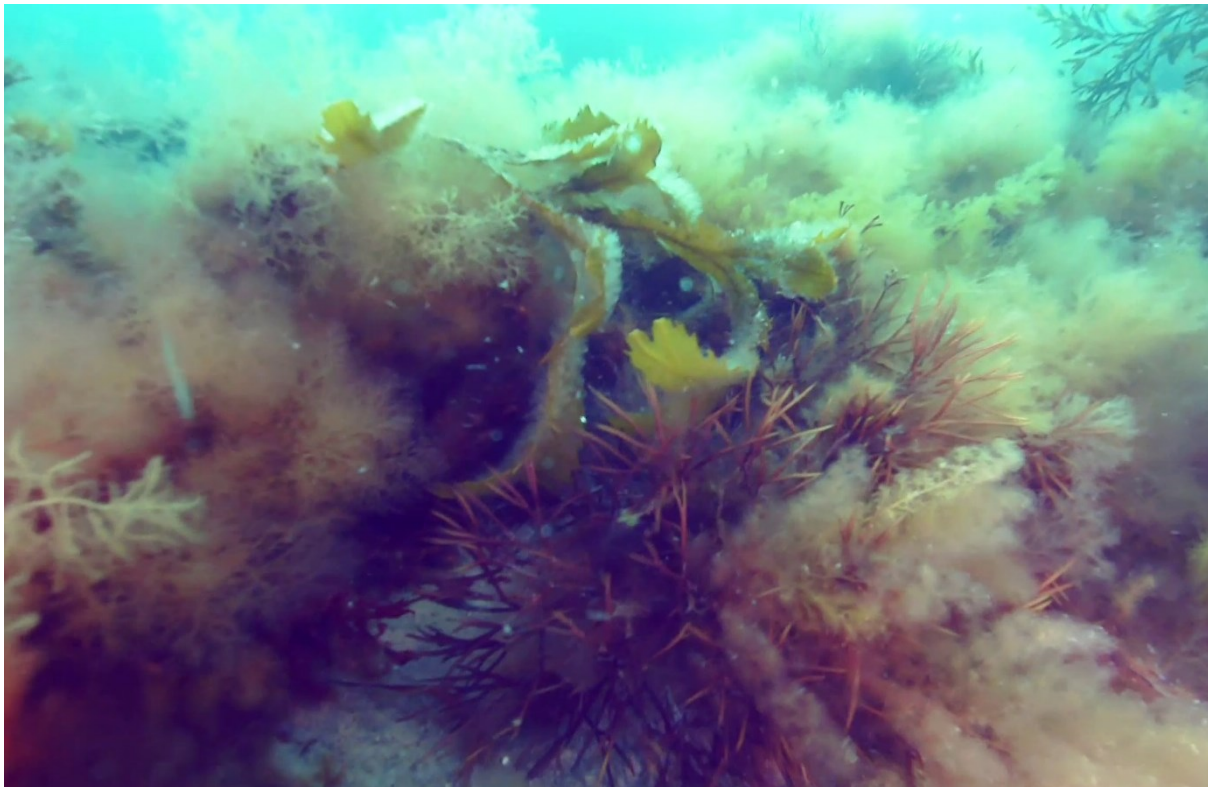


ENERGINET

UDSKIFTNING AF 400 KV KABELFORBINDELSE UNDER ØRESUND

MARINE MILJØ- OG BASELINEUNDERSØGELSER

18-11-2024



ROV BILLEDE AF KYSTNÆRT STENREV



UDSKIFTNING AF 400 KV KABELFORBINDELSE UNDER ØRESUND

MARINE MILJØ- OG BASELINEUNDERSØGELSER

ENERGINET

PROJEKTNUMMER.: 22003088

DATO: 18-11-2024

RÅDGIVER: FREDERIK GAI, METTE D. AGERSTED, TINA DRIST-JENSEN, SIF B.
HANSEN

PROJEKTLEDER DANNI J. JENSEN

KVALITETSSIKRET AF: CAMILLA RASCH

GODKENDT AF: LEA BJERRE SCHMIDT

ENERGINET

WSP.COM

INDHOLD

1	INDLEDNING	7
2	BAGGRUND OG FORMÅL.....	9
3	OMRÅDEBESKRIVELSE	10
4	MARIN GEOFYSISKE OG GEOTEKNISKE FORUNDERSØGELSER	12
4.1	Tolkning af geofysiske data	13
4.1.1	Overfladegeologi	13
4.1.2	Overfladenær geologi	13
5	METODEBESKRIVELSE	15
5.1	ROV-survey	15
5.1.1	Undersøgelsesprogram og fartøj.....	15
5.1.2	Surveyudstyr.....	16
5.1.3	Databehandling og -tolkning	17
5.2	Haps-survey	17
5.2.1	Undersøgelsesprogram og fartøj.....	17
5.2.2	Surveyudstyr.....	19
5.2.3	Databehandling og -tolkning	21
6	SURVEYRESULTATER	26
6.1	Dybdeforhold	26
6.2	Substratforhold.....	26
6.3	Epiflora og -fauna	28
6.3.1	Naturtype 1a	31
6.3.2	Naturtype 1b	32
6.3.3	Naturtype 2/3/4	35
6.4	Infauna	37
6.4.1	Artsantal samt tætheder og biomasse af klasser og arter	39
6.4.2	Diversitets- og miljøkvalitetsindeks	53
6.4.3	Arter fordelt i forhold til delområde, substrattyper og dybder.....	55
6.5	Sedimentkemi og kornstørrelse.....	60
6.5.1	Kornstørrelse og glødetab	60

6.5.2	Miljøfarlige forurenende stoffer	63
7	REFERENCER	68

1 INDLEDNING

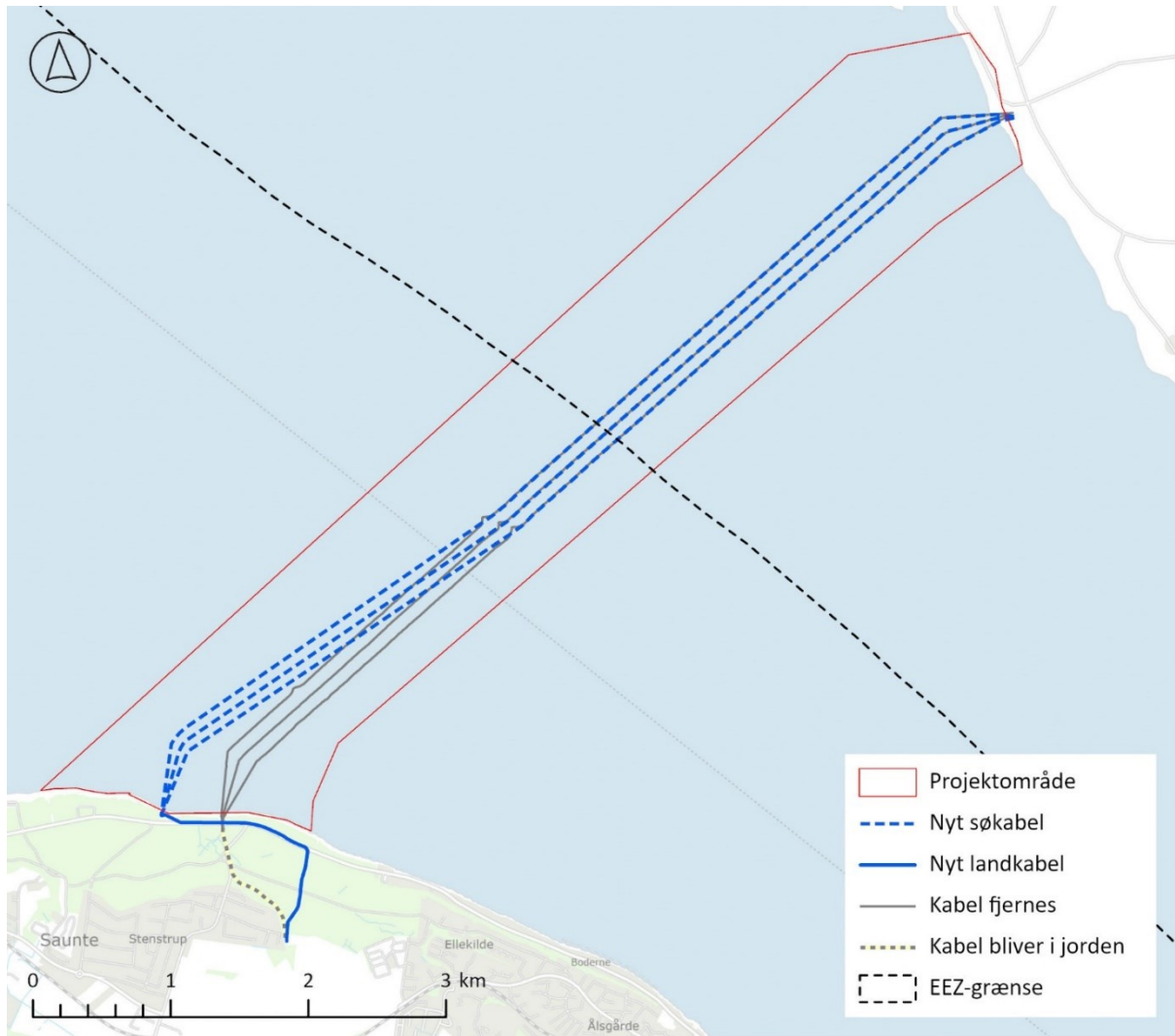
Øresundskablet, FL25 System 2 (også benævnt Øresund 2-projektet) forbinder transformerstation Skibstrupgård i Danmark med Kristinelund i Sverige (Figur 1-1). På baggrund af en kabelskade i januar 2019 startede Energinet en udvidet tilstandsvurdering af kabelforbindelsens tre kabler. Formålet var at finde årsagen til skaden og vurdere restlevetiden af kablerne. Kabelforbindelsen består af tre kabler. Inden den udvidede tilstandsvurdering var færdig, opstod endnu en kabelfejl ca. 1 – 2 uger efter endt reparation af første kabelfejl. Resultatet af den udvidede tilstandsanalyse viste, at stålbandet lider af stresskorrosion, hvor omfanget ikke kan fastlægges, men som øger sandsynligheden for brud i blyet. Søarmeringen er også ramt af korrosion forskellige steder på kablet, som betyder, at det risikeres, at kablet knækker ved optagning fra havbunden ved evt. fremtidig kabelfejl. Kabelforbindelsen (FL25) er ca. 37 år gammelt, og normalt forventes levetiden for den type søkabler at være ca. 40 år. Det er derfor blevet besluttet at udskifte kabelforbindelsen.

En udskiftning af søkablerne betyder, at kablerne på land fra Skibstrupgård til kysten også skal udskiftes. Grundet tilstand og de seneste havarier er projektet for udskiftning af Øresundskabelsystemet FL25 System 2 sat i gang.

Kablerne over Øresund er de vigtigste forbindelser til at sikre el-forsyningen af Sjælland og øerne. Forsyningssikkerheden af Sjælland og øerne kan blive udfordret, hvis det ansøgte projekt ikke gennemføres.

Det ansøgte projekt består af en dansk reinvesteringsdel samt en tilsvarende på svensk territorium. Den danske del af projektet består af ca. 1,8 km landkabel fra transformerstation Skibstrupgård og frem til strandkanten i vestsiden af parkeringspladsen ved Nordre Strandvej samt omkring 4,1 km søkabel fra strandkanten og frem til den dansk-svenske grænse). Projektet fortsætter herefter med ca. 3,8 km søkabel i svensk søterritorium og ca. 0,8 km på land frem til Kristinelund station (Figur 1-1).

Figur 1-1 viser undersøgelseskorridoren (også benævnt projektområdet) og linjeføring for den planlagte kabelforbindelse. Arbejdet på havet inkluderer etablering af nyt søkabel samt fjernelse af eksisterende forbindelse.



Figur 1-1. Figuren viser projektområdet på dansk søterritorium. Desuden er illustreret det fulde planlagte kabelanlæg mellem Danmark og Sverige. Den eksisterende forbindelse, som skal fjernes, er vist med grå linier, mens den nye kabelforbindelse er vist med stiplede linier.

Udskiftningen foretages i samarbejde med Svenska Kraftnät, der ejer og driver 400 kV forbindelsen på land i Sverige, mens hele søkablet ejes og drives af Energinet. Nærværende marine baselineundersøgelse og kortlægning omfatter udelukkende den del af projektet, der foregår i Danmark og på dansk søterritorium. Dette område betegnes samlet for projektområdet.

2 BAGGRUND OG FORMÅL

På baggrund af tilladelse givet 22. juni 2022 jf. § 4a i Lov om Energinet (LBK nr. 271 af 09/03/2023) blev der i efteråret 2022 og foråret 2023 udført forskellige forundersøgelser. Forundersøgelserne i 2022 omfattede geofysiske og geotekniske feltundersøgelser både på dansk og svensk søterritorium ved indsamling af side scan sonar, multibeam, magnetometer og sub bottom profiling data. Resultaterne af disse forundersøgelser er afrapporteret i "Øresund Cable Route – Cable Route Survey Report" (Rambøll, 2023) og (Geo, 2022). For flere detaljer herom henvises til kapitel 4.

I foråret 2023 blev der af WSP Danmark gennemført marine miljøundersøgelser og marinbiologiske undersøgelser på dansk søterritorium, som omfattede indsamling af undervandsvideoer og sedimentprøver af havbunden. Resultaterne af disse forundersøgelser er afrapporteret i nærværende rapport, jf. kapitel 6 om surveyresultater.

Forundersøgelserne har til formål at tilvejebringe detaljeret viden om projektområdets fysiske havbunds- og miljøforhold samt marinbiologiske forhold således, at en optimal planlægning og gennemførelse af projektet muliggøres. Formålet med de geofysiske undersøgelser er at få viden om de geologiske forhold i området, som i høj grad har betydning for udbredelsen af de biologiske samfund i projektområdet. Visuel verifikation af havbunden har til formål at identificere substratforhold, epifauna, makroalger og blomsterplanter. Sedimentprøvetagningen har til formål til at opnå vidensgrundlag om sedimentets beskaffenhed og kornstørrelse, herunder indhold af miljøfremmede forurenende stoffer (MFS) som tungmetaller, PAH'er og aromatiske kulbrinter m.fl. Derudover har haps-prøvetagningen til formål at opnå vidensgrundlag om indhold af blødgørere og phenoler, der kan være problematiske i forhold til vandområdets målopfyldelse.

Nærværende baggrundsrapport for de marine miljøundersøgelser indgår sammen med øvrige forundersøgelser, herunder marin geofysiske og geotekniske forundersøgelser, som fagligt grundlag for valg af endelig linieføring inden for projektområdet. Rapporten skal desuden anvendes som input til miljøkonsekvensrapporten og Natura 2000-konsekvensvurderingen, der udarbejdes i forbindelse med den danske del af projektet.

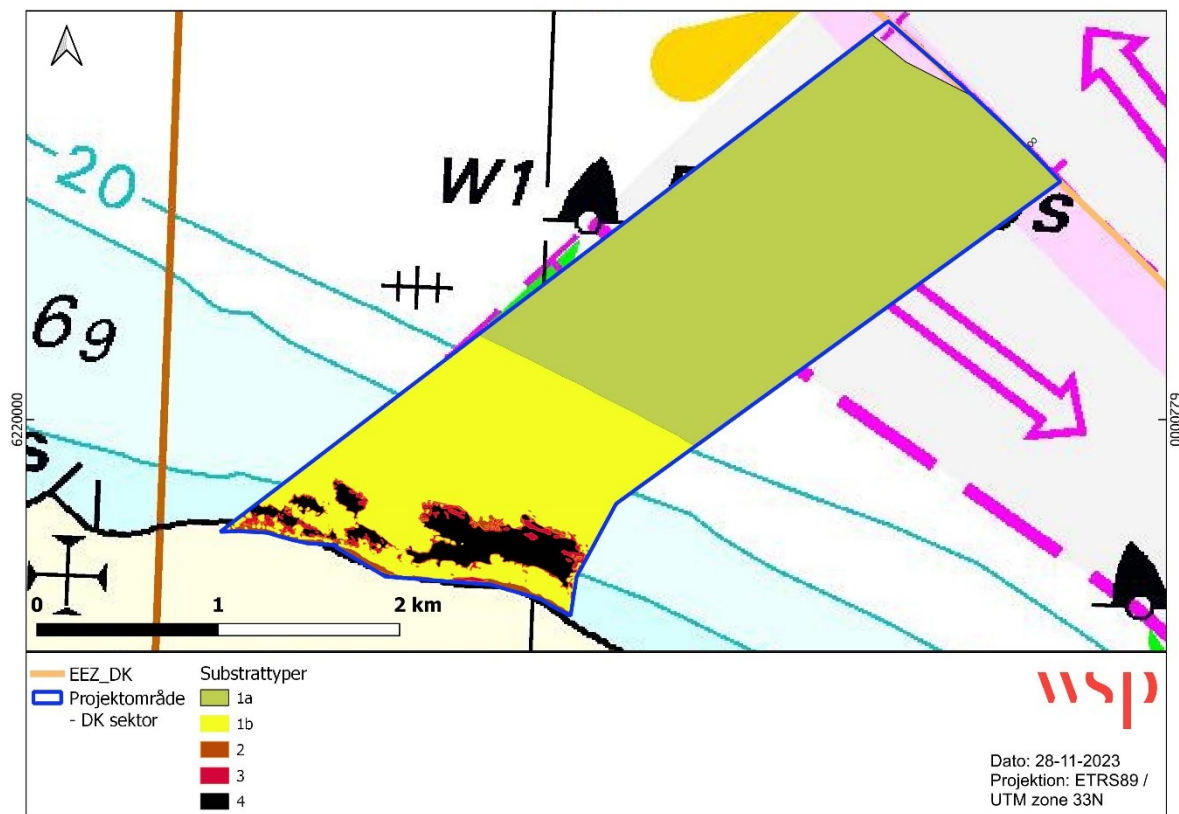
3 OMRÅDEBESKRIVELSE

På dansk søterritorium, skal der etableres omkring 4,1 km søkabel fra strandkanten og frem til den dansk-svenske grænse (Figur 1-1).

Der skal lægges et kabelsystem bestående af tre parallelle kabler på tværs af Øresund mellem Sverige og Danmark. Energinet har udpeget en undersøgelseskorridor, hvor indenfor søkablerne kan lægges. Korridoren er ca. 7,7 km lang og 1,2 km bred og strækker sig fra kysten midt i Hornbæk Plantage til den svenske kyst umiddelbart syd for Viken.

Inden for denne kabelkorridor arbejder Energinet med én linjeføring, der delvist ligger i samme tracé som den eksisterende forbindelse, men med alternativt ilandføringspunkt til den eksisterende kabelforbindelse. Figur 1-1 viser undersøgelseskorridoren på dansk søterritorium (projektområdet) og linjeføringerne for de eksisterende og planlagte kabeltraceer. Arbejdet på havet inkluderer etablering af nyt søkabel samt fjernelse af eksisterende forbindelse.

Hele projektområdet i Danmark befinder sig indenfor Natura 2000-området Gilleleje Flak og Tragten (N195, H171). Området er specielt udpeget for at beskytte naturtyperne rev og sandbanke, samt marsvin. Den geologiske/geomorfologiske opbygning viser, at Nordsjællandskysten består af moræne, der på dybere vand omgives af en blanding af senglacialt ishavsler og moræneler med mellemliggende sandflader. Vanddybderne i dette område varierer mellem 0 og 25 meter, og morænebunden er skrånende mod nordøst. Høj strømningsenergi dominerer nær kysten, som varierer gradvist til lavenergistrøm i de nordlige dybere dele af området. Figur 3-1 viser havbundens substrattyper indenfor undersøgelseskorridoren i dansk farvand. Det ses, at området domineres af siltet og fint sand, der bliver grovere ind mod kysten, der domineres af stenrev.



Figur 3-1. Fordeling af substrattyper i undersøgelsesområdet (projektområdet). Substrattyperne 1a og 1b betegner hhv. blød (siltet) bund og sandbund. Substrattyperne 2-4 betegner hårbundssubstrat, hvoraf substrattype 4 samt substrattype 3, der optræder i sammenhæng med substrattype 4, betegnes stenrev.

4 MARIN GEOFYSISKE OG GEOTEKNISKE FORUNDERSØGELSER

Rambøll har i samarbejde med MEWO S.A. fra Polen indsamlet geofysiske data ved brug af de følgende fire metoder; side scan sonar (SSS), multibeam echosounder (MBES), magnetometer (MAG), sub bottom profiling (SBP) (Rambøll, 2023). Formålet med de geofysiske undersøgelser var at få viden om de geologiske forhold i området, som i høj grad har betydning for udbredelsen af de biologiske samfund i projektområdet.

GEO var udliciteret til at udføre de geotekniske undersøgelser og laboratoriearbejde, som omfattede 55 vibrocores og 47 CPT'er med en boringsdybde på 3 m og 6 m (Geo, 2022). Formålet med de geotekniske undersøgelser inklusive laboratorieundersøgelserne var at få geoteknisk viden om de øverste lag i undergrunden.

Der blev også indsamlet 49 grab samples til at understøtte havbundstolkningen og til laboratorieundersøgelser. Grab samples blev delt ind i prøver bestående af 29 geotekniske prøver og 20 prøver til miljøtests.

På de 20 miljøtest blev der også udtaget subtest til geologisk beskrivelse og geoteknisk klassifikationstest. Parametrene, der blev analyseret fra grab samples omfatter blandt andet tungmetaller, PAC, PAH, PCB, TOC m.fl. Resultaterne fra disse miljøtest er beskrevet i (Geo, 2022) og vil endvidere blive behandlet i miljøkonsekvensrapporten for nærværende projekt, hvor de sammenlignes med øvrige tilgængelige sedimentkemiske data herunder data indsamlet af WSP i 2023, jf. afsnit 6.5.2 om miljøfarlige forurenende stoffer.

Det leverede data omfatter følgende; Batymetri af havbunden, lidar ground model og ortofoto, høj/lav frekvens side scan af havbunden med tilhørende havbundsklassifikation, kortlægning af de magnetiske anomalier i survey området, tolkning af lag i undergrunden og jord parameter fra vibrocore og CPT (Rambøll, 2023).

Rapporten fra Rambøll dækker hele undersøgelseskorridoren for FL25 Øresundskablet både dansk og svensk søterritorium. I denne rapport fokuseres der kun på det indsamlede data i den danske sektor. De geofysiske undersøgelser var delt ind i to områder, nearshore og offshore. Nearshore er defineret som kystnært område, hvor vanddybden er mindre end 2 m, mens offshore er defineret ved mere end 2 m vanddybde baseret på MBES data.

De geofysiske undersøgelser blev gennemført i august 2022. Lidar undersøgelser og de geotekniske undersøgelser blev gennemført i september 2022 (Rambøll, 2023).

4.1 TOLKNING AF GEOFYSISKE DATA

4.1.1 OVERFLADEGEOLOGI

Overstående maringeofysiske og geotekniske undersøgelser er anvendt til at lave en tolkning af overfladegeologien i området. Havbunden er blevet klassificeret i overensstemmelse med metoden for substratypeinddeling defineret i Råstofbekendtgørelsen, BEK nr. 1680 af 17/12/2018. Der er i den danske sektor fundet moræneler (substratype 2, 3 og 4), sand og siltet sand (substratype 1b) samt dynd/marin mudderbund (substratype 1a) (Figur 3-1).

Kystnært består overfladesedimentet hovedsageligt af fint til mellemkornet sand og moræneler med udbredte forekomster af stenrev. På større vanddybde (ca. 20 m) sker der et gradvist skift i havbundssedimentet, hvor det ændrer sig til siltet sand og dynd/marin mudderbund. Substrattyperne viser, at sedimentet i den danske sektor hovedsageligt består af substratype 1a, mens kystnært er området domineret af substrattyperne 1b og 4. I forbindelse med kortlægningen af havbunden er der kortlagt karakteristiske elementer og områder på havbunden med sten, trawlspor, ankerspor, kabler, små og store bølgeribber, sandbanker og menneskeskabte objekter (Rambøll, 2023).

I den dybere del af projektområdet i den danske sektor er havbunden påvirket af stor tæthed af trawlspor kun afbrudt af ankerspor, reb, kabler eller fordybninger. De fleste anomalier, der er identificeret vha. MBES, SSS og MAG data, er i forbindelse med sten og områder med stor stentæthed.

4.1.2 OVERFLADENÆR GEOLOGI

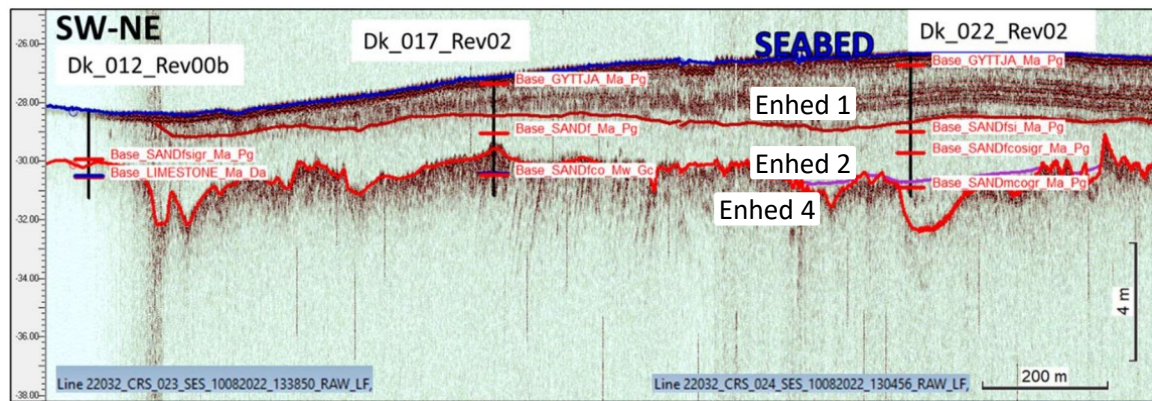
Den geologiske tolkning af området er konstrueret ud fra sub-bottom profiler (SBP) tolkning, hvor de geotekniske undersøgelser er brugt til at underbygge tolkningen af den overfladenære geologi.

Den geologiske tolkning resulterede i tolkningen af fire overordnede geologiske enheder, som er repræsentative for geologien i området (Rambøll, 2023), jf. Tabel 4-1.

Tabel 4-1. De tolkede geologiske enheder i Rambølls rapport (Rambøll, 2023).

Overordnede geologiske enheder	
Enhed 1 (unit 1)	Postglacial organisk sediment (gytje, sand og ler)
Enhed 2 (unit 2)	Postglacial transparent siltet sand og ler.
Enhed 3 (unit 3)	Postglacial eller senglacial sand eller blandet sediment
Enhed 4 (unit 4)	Moræneler (Glacial till), Danien kalksten og Jura ler.

Den geologiske tolkning viser, at der kystnært er eksponering af moræneler (enhed 4) på havbunden. I den dybere del af den danske sektor findes der postglaciale sedimenter på havbunden (typisk af enhed 1 og 2). På Figur 4-1 ses et tolket SBP profil, hvor man kan se, at enhed 1 og 2 ses ved overfladen. Der er på denne sektion ikke fundet enhed 3.



Figur 4-1. Modificeret SBP profil fra Rambølls rapport (Rambøll, 2023). Profilet viser overgangen fra enhed 1, 2 og 4. Tolkningen er opretholdt mod de geotekniske undersøgelser.

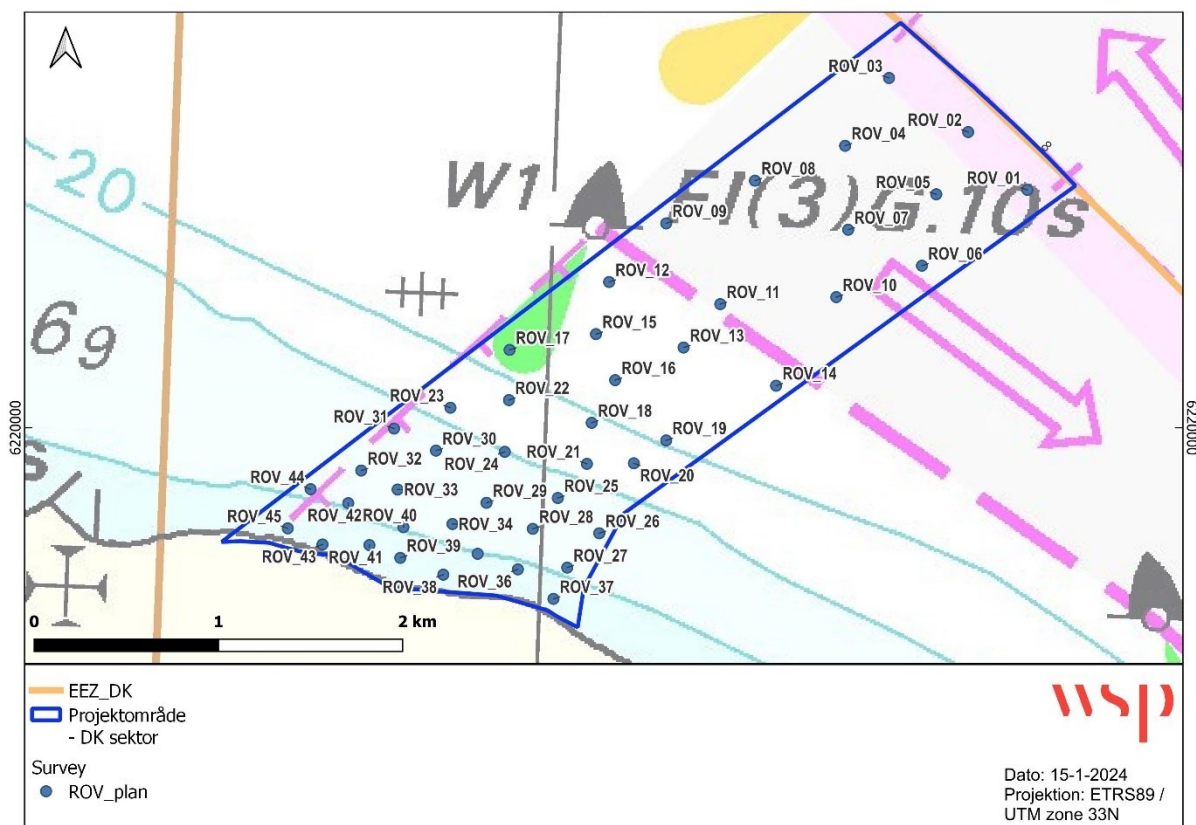
5 METODEBESKRIVELSE

WSP har forestået de marine miljøundersøgelser (baseline studie) med ROV (Remotely Operated Vehicle) og haps-kerneprøvetager (sedimentprøvetagning) til kortlægning af hhv. epiflora og -fauna samt infauna, kornstørrelse og sedimentkemi. I nedenstående er metoderne for de forskellige undersøgelser præsenteret.

5.1 ROV-SURVEY

5.1.1 UNDERSØGELSESPROGRAM OG FARTØJ

Undersøgelserne blev foretaget d. 3. maj 2023 og inkluderede indsamling af 45 ROV-stationer i projektområdet, som er i den danske del af Øresund (se Figur 5-1). Lokaliteterne er spredt jævnt ud over projektområdet, men med størst tæthed i den kystnære del af området. Undersøgelserne blev foretaget fra WSP's multi purpose fartøj Sephia (Figur 5-2).



Figur 5-1. Oversigt over lokaliteterne for de indsamlede ROV stationer.

Datablad for Quicksilver 675 Pilot House		
Beskrivelse	Quicksilver 675 Pilot House	
Længde	6,55 m	
Bredde	2,54 m	
Vægt uden motor.	ca. 1585	
Fribord indvendigt	80 cm	
Dybgang	40 cm	
Motor	150hk Evindrude E-tech	
EU Godkendt	Klasse C.	

Kategori	Wind Force Beaufort Scale (knots)	Significant Wave Height in meters
C - "Inshore"	up to and including 6 (22-27 kts.)	up to and including 2 m

Figur 5-2. WSP's multi purpose fartøj Sephia.

5.1.2 SURVEYUDSTYR

Ved hver station blev ROV'en (som ses på Figur 5-3) nedsænket i vandet, og der blev gennemført visuel verifikation af havbunden med det formål at identificere substratforhold, epifauna, makroalger og blomsterplanter. I forbindelse med afsøgning af havbunden, blev der optaget HD-video og ført logbog. Data og beskrivelser blev indført i en logbog for ROV feltprogrammet, der er vedlagt som Bilag 1. Togtets besætning bestod af tre erfarne havbiologer og en skipper/ROV-pilot.



Figur 5-3. ROV af fabrikatet Blue ROV2, der blev brugt til de visuelle verifikationer.

5.1.3 DATABASEHANDLING OG -TOLKNING

Efter endt ROV survey blev logbogen kvalitetssikret af en erfaren havbiolog, der sammenstillede de i logbogen angivne arter, dækningsgrader m.m. med det tilgængelige videomateriale. Herefter blev der udarbejdet substratspecifikke beskrivelser af fordelingen af flora- og faunaarter.

Verifikationerne af substratet blev anvendt til at opdatere de tolkede havbundssedimenter (substrattyper af havbunden) for projektområdet (Figur 3-1).

5.2 HAPS-SURVEY

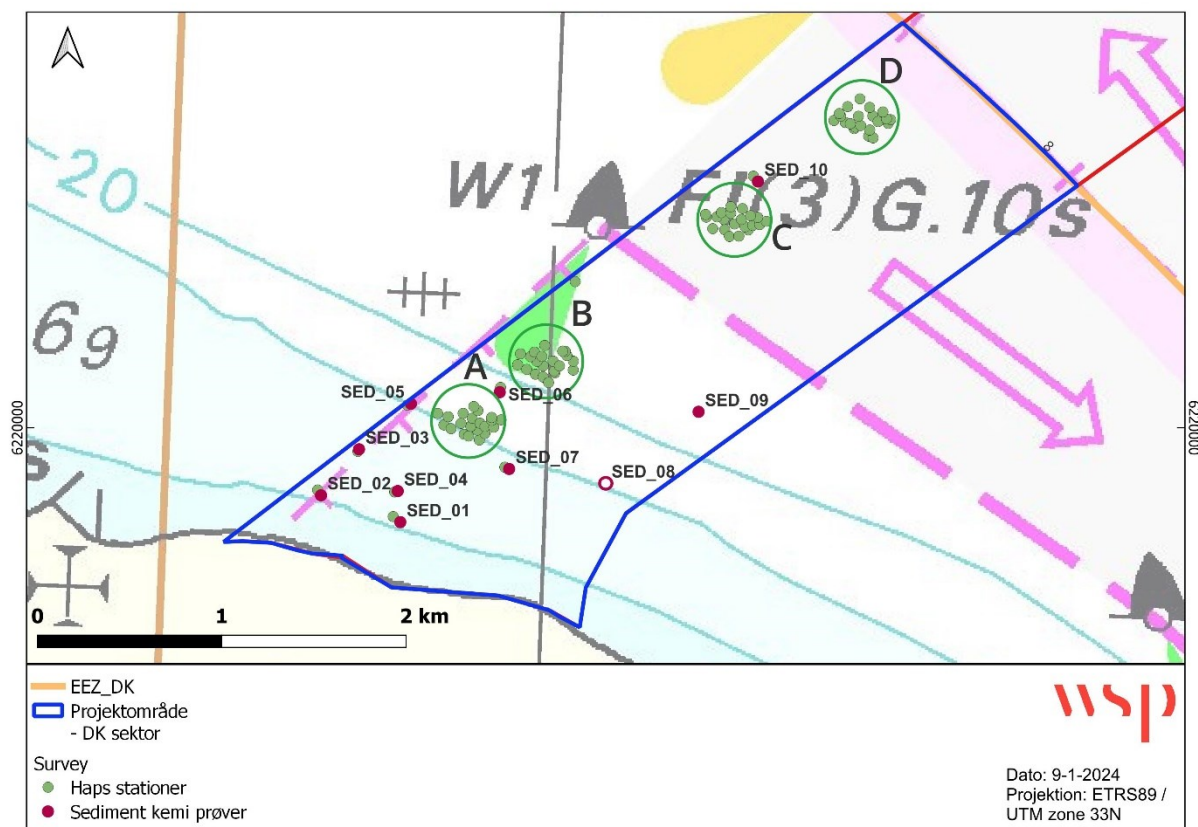
5.2.1 UNDERSØGELSESPROGRAM OG FARTØJ

Sedimentprøvetagningen har til formål at opnå vidensgrundlag om sedimentets beskaffenhed og kornstørrelse, herunder indhold af miljøfremmede forurenende stoffer (MFS) som tungmetaller, PAH'er og aromatiske kulbrinter m.fl. Derudover har haps-prøvetagningen til formål at opnå vidensgrundlag om indhold af blødgørere og phenoler, der kan være problematiske i forhold til vandområdets målopfyldelse.

Haps-prøvetagningen blev foretaget i perioden d. 12.-13. april 2023.

Der blev indsamlet i alt 84 prøver til infauna-analyser fordelt på 21 prøver i fire delområder (delområde A, B, C og D) (Figur 5-4). ID er defineret som INF_A_01 til 21. Ligeledes blev der indsamlet 9 sedimentprøver (SED_01 til SED_10) til analyse af sedimentkemi og kornstørrelse (Figur 5-4).

Oprindeligt var der udpeget 10 lokaliteter til sedimentprøvetagning, men station SED_08 lå for tæt på et eksisterende kabel i området, og grundet sikkerhedsforanstaltninger, blev der derfor ikke udtaget sedimentprøver på denne lokalitet – og stationen blev udeladt.



Figur 5-4 Oversigtskort for infauna- og sedimentprøvetagningsstationer i projektområdet. SED_08 er blank, da det ikke var muligt at udtage en prøve her.

Haps-prøvetagningen blev udført fra fartøjet M/S Skoven (Figur 5-5).



Figur 5-5. Forskningsfartøjet M/S Skoven.

5.2.2 SURVEYUDSTYR

INFAUNA

Alle infauna-prøverne blev indsamlet med en haps kernebund-henter med et prøveareal på 0,0143 m² (Figur 5-6). Alle infauna-prøver blev gennemført i henhold til NOVANA-programmets forskrifter – teknisk anvisning nr. M 19 (Göransson, Hansen, Larsen, & Bjerre, 2002). Infauna-prøver blev sigtet gennem en 1 mm sigte (Figur 5-6), hvorefter sigteresten blev konserveret i sprit (96 % ethanol) og hjembragt til WSPs laboratorium. Infauna-prøverne blev mærket og i sigteresten blev vedlagt en etiket til identifikation af prøven. Data og beskrivelser blev indført i en logbog for haps feltprogrammet, der er vedlagt som Bilag 2.



Figur 5-6 På billedet til venstre ses haps umiddelbart før prøven tages ud. Billedet til højre viser sigteresten, som efterfølgende fikseredes i ethanol.

SEDIMENTKEMI OG KORNSTØRRELSER

Som ved infauna-prøverne blev alle prøver til kornstørrelse- og kemisk analyse indsamlet med en haps kernebund-henter med et prøveareal på 0,0143 m² (Figur 5-6).

Sedimentprøverne blev indsamlet ca. +/- 10-50 m fra den udpegede centerpositionen, på nær SED_09 som blev rykket i forbindelse med prøvetagningen, da den oprindelige position lå for tæt på eksisterende kabler.

Hver prøve blev fotograferet og beskrevet med vanddybde, prøvehøjde, bundtypen, sedimentbeskrivelse og lugt. Data og beskrivelser blev indført i en logbog for haps feltprogrammet, der er vedlagt som Bilag 2. Eksempler på bundtyper og sedimentprøver fremgår af Figur 5-7.



Figur 5-7. Billeder af sedimentprøver fra station SED_01 (til venstre) og SED_04 (til højre) til analyse hos Eurofins og DCE.

Inden for undersøgelsesområdet blev der udtaget 9 sedimentprøver, som blev puljet til tre blandingsprøver (prøve A, B og C) baseret på sedimenttype således, at prøve A består af sedimentprøve SED_10, prøve B består af SED_06 og SED_09, og prøve C består af SED_01 til SED_05 og SED_07. Sedimentprøverne fra hver station blev i felten overført til PID poser og efterfølgende sendt til analyse ved hhv. akkrediteret laboratorium Eurofins og DCE.

På Eurofins laboratoriet blev hver prøve homogeniseret og delt i to, hvor den ene halvdel blev frosset ned som ekstramateriale. Den anden halvdel af hver prøve blev analyseret for:

- PAH
- Aromatiske kulbrinter
- Tungmetaller
- Tørstof
- Glødetab
- Kornstørrelsesfordeling

På DCE-laboratoriet blev hver prøve homogeniseret og delt i to, hvor den ene halvdel blev frosset ned som ekstramateriale. Den anden halvdel af hver prøve blev analyseret for

- Phenoler
- Blødgørere

Resultaterne fra analyserne repræsenterer det øverste lag af sediment – ca. 0-30 cm under havbunden. Under dette lag har sedimentet generelt lavere påvirkning af menneskeskabt belastning og derfor generelt et lavere indhold af tungmetaller og øvrige forureningsparametre. Resultaterne fra sedimentprøverne er efterfølgende sammenlignet med lovpligtige og vejledende grænseværdier i prioriteret rækkefølge (se afsnit 6.5.2). Analyserapporterne fra Eurofins og DCE er vedlagt som henholdsvis Bilag 3 og 4.

5.2.3 DATABASEHANDLING OG -TOLKNING

INFAUNA

Formålet med nærværende analyser er at undersøge infauna-samfundet i den danske del af undersøgelseskorridoren for Øresundskablet. Der er indsamlet haps-prøver i fire delområder (A, B, C, D) (Figur 5-4) i den danske del af Øresund, hvor de nuværende kabler er placeret, og hvor de nye kabler også vil blive lagt.

De oparbejdede haps-prøver fra de fire delområder tillader en kvantitativ analyse, hvorved det biologiske samfund kan blive udtrykt i bl.a. artsdiversitet, biomasse samt diversitets- og miljøkvalitetsindeks. Ydermere anvendes også MDS-analyser (multi-dimensional scaling) for at analysere hvilke infaunasamfund, som karakteriserer de observerede substrattyper.

For hvert område beregnes:

- Artsantal
- Tæthed (individer) og biomasse (tørvægt) pr. m²
- Artsdiversiteten (Shannon-Wiener diversitetsindeks)*
- AMBI indeks*
- Bray-Curtis similaritetsindeks og MDS-plot (ANOSIM-test og SIMPER-analyse)

*Det er vigtigt at pointere, at det anvendte miljøindeks ikke er udviklet til at sammenligne forskellige lokaliteter, da fx bølgepåvirkning, salinitet, sediment- og forureningsforhold varierer. Der vil således være lokaliteter, hvor man helt naturligt (f.eks. højdynamiske områder) ikke forventer en stor forekomst af følsomme arter, hvilket vil blive afspejlet i indekssværdien. Ved tidsserier fra samme lokalitet kan man derimod følge miljøkvaliteten på lokaliteten over tid.

Dataindsamlingen i nærværende projekt opfylder ikke kravene, der er i NOVANA-regi ift. at udregne DKI (Hansen & Josefson, 2020), da det er nødvendigt at have 42 haps-prøver (hver prøve har et areal på 0,0143 m² – og samlet derfor et areal på 0,6 m²) fra et homogent område. Derudover kræves der information om saliniteten i området, hvilket ikke er undersøgt i nærværende projekt.

Artsantal

Der er flere faktorer, som har betydning for artsantallet i et givent område, herunder havbundens beskaffenhed (substrattype og dynamiske forhold) samt hvilken dybde-, temperatur- og salinitetsgradient de enkelte arter er tilpasset. Hertil kommer den påvirkning, som skyldes menneskelig aktivitet, såsom eutrofiering (større risiko for iltsvind), fiskeri eller entreprenørarbejde på havet, hvilket direkte eller indirekte påvirker artsantallet og -sammensætningen i en kortere eller længere periode.

Tæthed og biomasse

Tætheden udtrykker noget om presfaktorer, fødetilgængelighed og dominerende arter, mens biomassen er et udtryk for størrelsen af dyrene og deres vægt. Tætheden (individer/m²) vurderes i forhold til artsfordelingen for at vurdere samfundets stabilitet. Biologiske karakteristika for de dominerende arter for hvert område præsenteres og diskuteres. Størrelsen er særligt vigtig, hvis man skal vurdere, hvilket fødegrundlag infaunaen udgør for andre arter samt aldersfordelingen inden for en bestemt art. I nogle tilfælde vil biomassefordelingen afsløre, om der primært findes unge (små) individer, mens der i andre mere stabile miljøer vil være større og derved ældre individer, som har haft mulighed for at overleve og vokse sig store. Alderen på eks. muslingesamfund kan indikere, om samfundet har været påvirket af fx iltsvind, råstofindvinding eller intensivt bundtrawl.

Shannon-Wiener diversitetsindeks

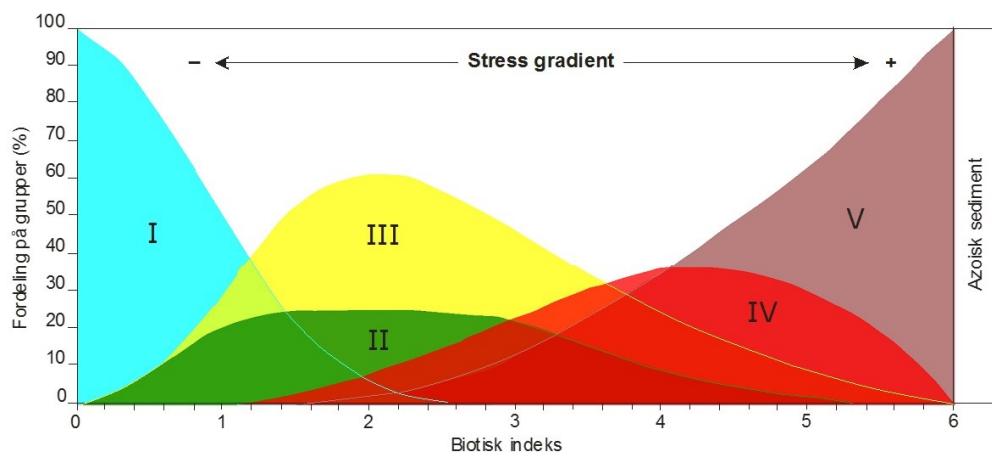
Shannon-Wiener-indekset H' (Shannon & Weaver, 1949) er et matematisk udtryk for diversiteten i samfundet, som giver en større information om samfundets sammensætning end antallet af tilstedeværende arter, da den relative hyppighed af de forskellige arter indgår i udtrykket.

$$H' = - \sum_{i=1}^R p_i \ln p_i$$

, hvor p_i er antallet af dyr af hver art divideret med det samlede antal individer af alle arter i samfundet. Shannon-Wiener værdien bliver lav, hvis der er få arter, hvoraf nogle dominerer med et højt individantal. Hvis der derimod er mange arter i prøverne og disse har forholdsvis ens tæthed, bliver værdien høj. Værdien for H' ligger mellem 0 og 5, dog typisk mellem 1,5 og 3,5.

AMBI-indeks

AMBI er ligeledes beregnet for individuelle haps-prøver ligesom Shannon-diversiteten. AMBI-indekset et marinbiologisk indeks, som er udviklet til infaunaen i europæiske fjorde, kyster og havområder med henblik på at vurdere effekterne som følge af eutrofiering (Borja et. al., 2000). Dette indeks er afledt af den individuelle tæthed i fem økologiske faunagrupper, som er klassificeret efter deres følsomhed/tolerance over for miljømæssige stressfaktorer (GI-GV) (Se Figur 5-8 og Tabel 5-1). Som nævnt tidligere kan AMBI-indekset ikke anvendes til sammenligning af forskellige lokaliteter, men derimod til at følge samfundets/lokalitetens udvikling over tid på samme lokalitet.



Figur 5-8. Teoretisk udvikling af de fem faunagrupper og AMBI-værdier over en stressgradient - ændret fra Hedeselskabet (2005).

Faunagruppe GI; arter, der er meget følsomme overfor organiske betingelser og er til stede under ikke-forurenede forhold. Dette kan være specialiserede rovdyr eller bestemte rørboende børsteorme. Eksempler på GI-arter er havbørsteormene *Diplocirrus glaucus* og *Pholoe baltica* og tangloppearten *Ampelisca tenuicornis*.

Faunagruppe GII; arter, der er indifferente over for næringsstofberigelse og altid til stede i lave tætheder uden signifikante variationer over tid. Dette kan være suspensionsædere, ikke-specialiserede rovdyr og ådselsædere. Eksempler på GII-arter er fin mudderslangestjerne *Amphiura filiformis*, hestekoorm *Phoronis* sp. og havbørsteormen *Nephtys caeca*.

Faunagruppe GIII; arter, der er tolerante overfor massiv organisk berigelse. Disse arter kan optræde under normale omstændigheder, men stimuleres af organisk berigelse. Dette kan for eksempel være overfladedetritusædere. Eksempler på GIII-arter er havbørsteormene *Scoloplos armiger* og *Praxillella praetermissa* og Mysella-musling *Kurtiella bidentata*.

Faunagruppe GIV; anden-ordens opportunistiske arter, der er hurtigtvoksende og tilpasser sig organisk berigelse. Dette drejer sig om arter, der er overfladedetritus- eller sedimentædere. Eksempler på GIV-arter er havbørsteormene *Pectinaria koreni* (dansk navn: lige kambørsteorm), *Prionospio fallax* og *Chaetozone* sp..

Faunagruppe GV; første-ordens opportunistiske arter, der er hurtigtvoksende og tilpasser sig organisk berigelse og belastede forhold, fx lavt iltindhold. Eksempler på GV-arter er slamrørsorm *Tubificoides benedii*.

På baggrund af fordelingen af arter kan man beregne en AMBI-værdi ud fra formlen:

$$AMBI = \frac{0 * \%GI + 1,5 * \%GII + 3 * \%GIII + 4,5 * \%GIV + 6 * \%GV}{100}$$

AMBI-værdien kan efterfølgende tolkes i henhold til (Borja et. al., 2000), som både angiver bundsamfundets tilstand, samt i hvilken grad lokaliteten er forstyrret. Skalaen går fra normal til stærkt forurenet for bundsamfundet og fra uforstyrret til ekstremt forstyrret for lokaliteten (Tabel 5-1).

Tabel 5-1. Oversat fra (Borja et. al., 2000) kan AMBI-værdierne tolkes som vist i tabellen herunder.

AMBI	Dominerende økologisk gruppe	Det benthiske samfunds tilstand	Områdeforstyrrelses-klassifikation
0,0 < AMBI ≤ 0,2 0,2 < AMBI ≤ 1,2	I	Normal Svækket	Uforstyrret
1,2 < AMBI ≤ 3,3	III	I ubalance	Let forstyrret
3,3 < AMBI ≤ 4,3		Overgang til forurening	Middel forstyrret
4,3 < AMBI ≤ 5,0	IV-V	Forurenet	
5,0 < AMBI ≤ 5,5		Overgang til stærk forurening	Stærkt forstyrret
5,5 < AMBI ≤ 6,0	V	Meget stærkt forurenet	
Azoisk	Azoisk	Azoisk	Ekstremt forstyrret

Bray-Curtis similaritetsindeks og MDS-analyse

Ligheder og forskelle i taxon-sammensætningen mellem de enkelte prøver og områder bliver analyseret ved hjælp af multidimensionel skalering ved Bray-Curtis similariteter (BC_{ij}) udregnet parvis for samtlige kombinationer af prøver. Hertil anvendes programmet PRIMER (Primer-E, version 7, se (Clarke & Gorley, 2015)). Data bliver inden analysen kvadratrodstransformeret for at nedvægte dominerende taxa.

$$BC_{ij} = 1 - \frac{2C_{ij}}{S_i + S_j}$$

Hvor C_{ij} er summen af den mindste værdi for de arter, der findes i begge prøver/områder. S_i og S_j er det totale antal arter, som er fundet i prøven/området.

Den beregnede Bray-Curtis-similaritetsmatrix vises som et MDS-plot (multi-dimensional-skalering), hvorved adskilte grupper kan identificeres.

I tolkningen af data evalueres MDS-plottets stresstal. Ved en værdi på mindre end 0,1 er der ingen/lav misvisning i fortolkningen af data, hvorimod tolkningen er behæftet med større usikkerhed ved stressværdier større end 0,2.

ANOSIM (Analysis of Similarity)

Denne metode anvender Bray-Curtis similaritetsværdier og giver en P-værdi (signifikansniveau) og en R-værdi (styrken). R-værdien er typisk mellem 0 og 1, men kan dog også være negativ ned til -1, selv om den oftest vil være tæt på 0. En R-værdi tæt på 1 indikerer en høj grad af adskillelse mellem prøver fra et delområde vs. prøverne fra et andet delområde, mens R-værdier værdier tæt på 0 indikerer at der ikke er nogen adskillelse mellem prøverne fra de to delområder. R-værdien påvirkes således både af den variation (spredning) der er i artsfordelingen mellem prøver indenfor hvert delområde samt variationen mellem prøver fra de pågældende delområder.

I ANOSIM-analyser skal man således først teste, om der er en signifikant forskel og herefter angive R-værdien. Man kan således opleve at der er en signifikant forskel ($\alpha \leq 0,05$), men at R-værdien er lav (fx 0,2), hvilket betyder, at styrken af analysen er lav, og at resultatet derfor bør fortolkes med omhu.

Her har vi defineret følgende R-værdiers styrke som: $R < 0.2$: svag og ikke relevant, $0.2 < R < 0.4$: lav, $0.4 < R < 0.6$: moderat, $R > 0.6$: høj.

SIMPER (Similarity Percentages)

SIMPER-analysen angiver procentdelen af lighed mellem prøver indenfor hvert delområde samt forskelligheder mellem områder, samt hvilke arter der bidrager mest til de procentvise ligheder og forskelligheder. SIMPER-analysen er ikke baseret på Bray-Curtis similaritetsværdier, men på de kvadratrodstransformerede data.

SEDIMENTKEMI OG MILJØFARLIGE STOFFER

For at kunne analysere MFS i det marine miljø; vand, sediment og biota (matricer), benyttes forskellige grænseværdier i forskellige dele af verden. I nærværende baselinerapport undersøges det, om de målte koncentrationer af MFS overskrider udvalgte grænseværdier specifikt for matricen sediment, da denne er udgangspunktet for undersøgelsen.

Anvendte grænseværdier er prioriteret i overensstemmelse med anbefalinger fra Nationalt Center for Miljø og Energi ved Aarhus Universitet (DCE) (Strand & Larsen, 2013). Dog er vores nationale lovfastsatte sedimentkvalitetskrav (heri benævnt SK-krav), og de nationale sedimentkvalitetskriterier (heri benævnt SK-kriterier) medtaget i nærværende rapport. De nationale sedimentkvalitetskrav og -kriterier er ikke inkluderet i (Strand & Larsen, 2013), da bekendtgørelsen om fastlæggelse af miljømål

for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand ikke var fastsat på tidspunktet for DCEs anbefaling i 2013.

Følgende grænseværdier er anvendt i analysen af MFS i nærværende baselinerapport og er prioriteret i listet rækkefølge:

1. **SK-krav:** Nationale lovfastsatte sedimentkvalitetskrav, fastsat i BEK nr. 796 af 13/06/2023, Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen, 2023a)
2. **EQS:** Environmental Quality Standards, EU's Miljøkvalitetskrav (HELCOM, 2017)
3. **SK-kriterier:** Nationale sedimentkvalitetskriterier som ikke indgår i BEK nr. 796 af 13/06/2023, men som findes på MST's hjemmeside i form af datablade (Miljøstyrelsen, 2023b)
4. **EAC:** Environmental Assessment Criteria, OSPARs miljøvurderingskriterier (OSPAR, 2009)
5. **ERL:** Effect Range Low, USA's miljøstyrelse (OSPAR, 2009)
6. **Nedre aktionsniveau:** Klapvejledningen (By- og Landskabsstyrelsen, 2008)

Punkt 1 og 2 i ovenstående liste er lovpligtige grænseværdier. Punkt 3-6 er kun vejledende.

I Danmark har Miljøstyrelsen fastsat lovpligtige miljøkvalitetskrav for forurenende stoffer i vandmiljøet, herunder sedimentkvalitetskrav (SK-krav) (Miljøstyrelsen, 2023a). EU-kommissionen har også fastsat lovpligtige miljøkvalitetskrav (EQS), som bruges af HELCOM-landene ifm. klassifikation af kemisk tilstand under Vandrammedirektivet. Både EU's og vores nationale kvalitetskrav er lovpligtige grænseværdier baseret på risikovurderinger.

Grænseværdierne er fastsat på baggrund af kemiske stoffers effekter på de dyr og planter, der lever i vandet og udgør den højeste koncentration af et forurenende stof, hvor myndighederne vurderer, at det ikke giver skader på vandmiljøet.

De lovfastsatte SK-krav værdier fremgår af bekendtgørelse nr. 796 af 13. juni 2023 om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand (Miljøstyrelsen, 2023a) (punkt 3). Dog er der i bekendtgørelsen kun inkluderet få grænseværdier for miljøfarlige stoffer i sediment. På Miljøstyrelsens hjemmeside findes imidlertid en række sedimentkvalitetskriterier (SK-kriterier), som ikke indgår i bekendtgørelsen (BEK nr. 796 af 13/06/23), men hvor der i forbindelse med fastsættelsen af kvalitetskriteriet, er udarbejdet et datablad over stoffets miljøeffekter mv. (Miljøstyrelsen, 2023b). Disse sedimentkvalitetskriterier er brugt i analysen af miljøfarlige stoffer i nærværende notat, når der ikke findes en lovpligtig grænseværdi.

Fra international side findes OSPARs miljøvurderingskriterier (EAC) (punkt 4) samt 'Effekt Range Low' (ERL) (punkt 5), som er udviklet af miljøstyrelsen i USA (se (OSPAR, 2009; Nyberg et al., 2013), men bruges af OSPAR som substitut for EAC-værdierne. Begge kriterier er baseret på risikovurderinger og er vurderingsværktøjer, men ikke lovkrav. Disse benyttes, som beskrevet i ovenstående prioritetsliste, når der ikke findes lovpligtige grænseværdier (SK-krav og EQS) eller SK-kriterier.

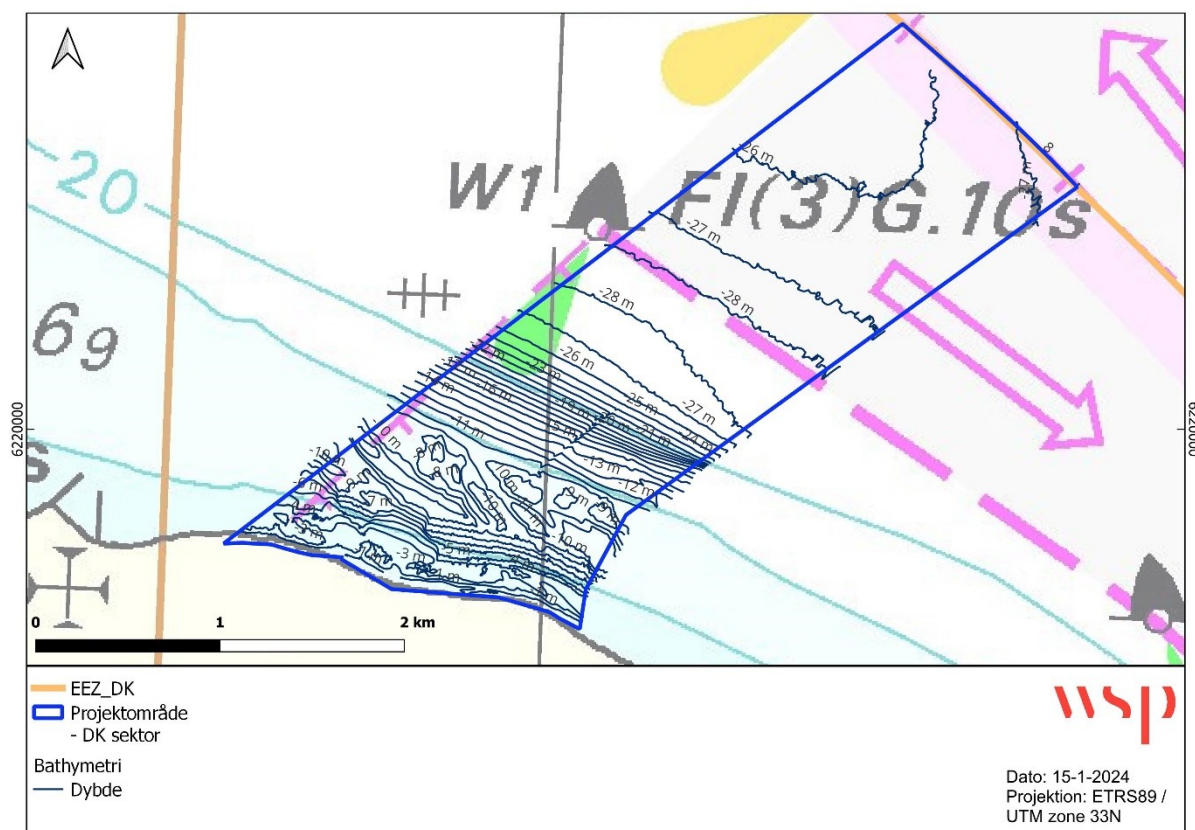
Yderligere findes der i Klapvejledningen (By- og Landskabsstyrelsen, 2008) et "nedre aktionsniveau" (punkt 6), som er et lovkrav ifm. klappning af sediment og derfor ikke er direkte anvendelig i forhold til vurdering af miljøfarlige stoffer i almindelige havbundssedimenter. Derfor benyttes nedre aktionsniveau kun ved fraværet af ovenstående grænseværdier.

6 SURVEYRESULTATER

I det følgende er præsenteret resultaterne fra de marine miljøundersøgelser herunder de marinbiologiske baselineundersøgelser, som er gennemført i foråret 2023 af WSP i den danske del af undersøgelseskorridoren (projektområdet).

6.1 DYBDEFORHOLD

Dybdedata er baseret på data indsamlet i forbindelse med de indledende maringeofysiske undersøgelser (se kapitel 4). Dybden varierer fra <1 m tæt på land til 28 m dybde ude midt i Øresund mellem Danmark og Sverige. Der ses en stejl skrænt fra 10 til 25 meters dybde og enkelte plateauer mellem 1-10 meters dybde, som er relateret til sandbanker. I den dybeste del af projektområdet er havbunden mere flad (Figur 6-1).



Figur 6-1. Batymetrisk kort over projektområdet med 1 m konturlinjer baseret på resultaterne fra de indledende geofysiske undersøgelser (Rambøll, 2023).

6.2 SUBSTRATFORHOLD

Baseret på de indsamlede marine miljødata herunder ROV-data og haps-prøver er der foretaget en revidering af de tolkede substrattyper fra de indledende maringeofysiske undersøgelser, jf. beskrivelsen af substrattypefordelingen og klassifikationsmetoden i afsnit 4.1.1. Substrattype 1a er typisk flad, homogen og siltet blød bund, mens substrattype 1b typisk er finkornet sandbund med eller

uden bølgeribber. De stenede substrattyper indeholder forskellige mængde af store sten, 1-10 % større sten på mere end 10 cm for substrattype 2, 10-25% for substrattype 3 og mere end 25 % for substrattype 4 (stenrev).

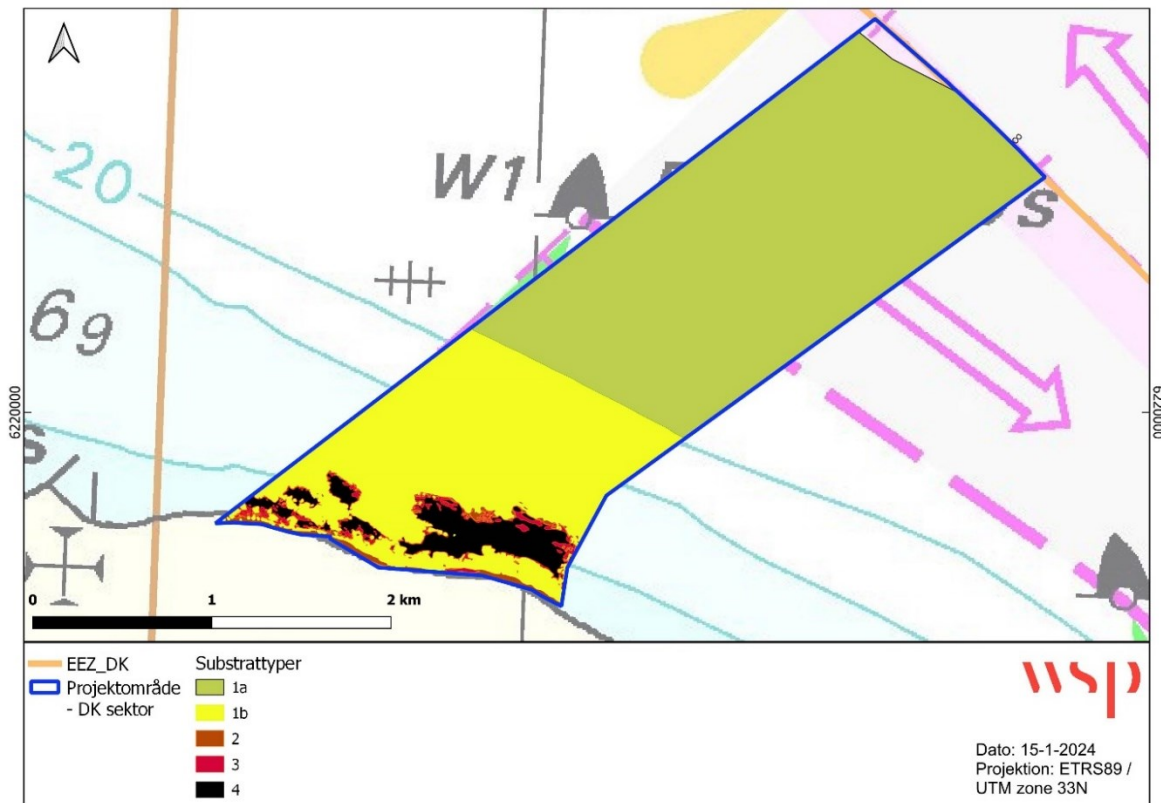
Substrattypekortet (Figur 6-2) viser en grænse ved ca. 20-22 m vanddybde mellem substrattype 1a og 1b (Figur 6-1). Tættere på land findes stenede områder med stor udbredelse af substrattype 4 (stenrev) i mosaik med substrattype 2 og 3. Stenrev (substrattype 4) fremstår som sammenhængende større forekomster, afgrænset af de øvrige substrattyper.

I henhold til nedenstående arealfordeling af substrattyperne (jf. Tabel 6-1) ses det, at substrattype 1a er den mest dominerende substrattype i projektområdet, mens de stenede substrattyper er de mindst forekommende substrattyper.

På ydersiden af stenrevet og mellem de sammenhængende stenrev ses større sandbanke-strukturer på ca. 10 m vanddybde, hvor der forekommer substrattype 1b med bølgeribber.

Tabel 6-1. Arealfordeling af substrat- og naturtyper i projektområdet.

Substrattype	Areal (km ²)	Naturtype	Areal (km ²)
1a	3,27 (62%)	1a	3,27 (62%)
1b	1,57 (30%)	1b	1,57 (30%)
2	0,09 (2%)	2/3/4	0,41 (8%)
3	0,07 (1%)		
4	0,25 (5%)		
Total	5,25		



Figur 6-2. Revideret substrattypekort over projektområdet, der viser fordelingen af tolkede substrattyper på havbunden.

6.3 EPIFLORA OG -FAUNA

I det følgende er biologien på havbunden for hver af de 45 ROV-stationer beskrevet samlet for hver substrattype/naturtype (Figur 6-3, Tabel 6-2). Baseret på ROV-verifikationerne er der observeret tre substrattyper:

- Substrattype 1a – Typisk flad, homogen og siltet blød bund.
- Substrattype 1b – Typisk siltet finkornet sandbund med ingen eller betydelige bølgeribber samt fint til mellemkornet sandbund med bølgeribber.
- Substrattype 4 – Typisk stenrev på sandbund med indslag af mindre sten og grus. (dækningsgrad store sten >25 %)

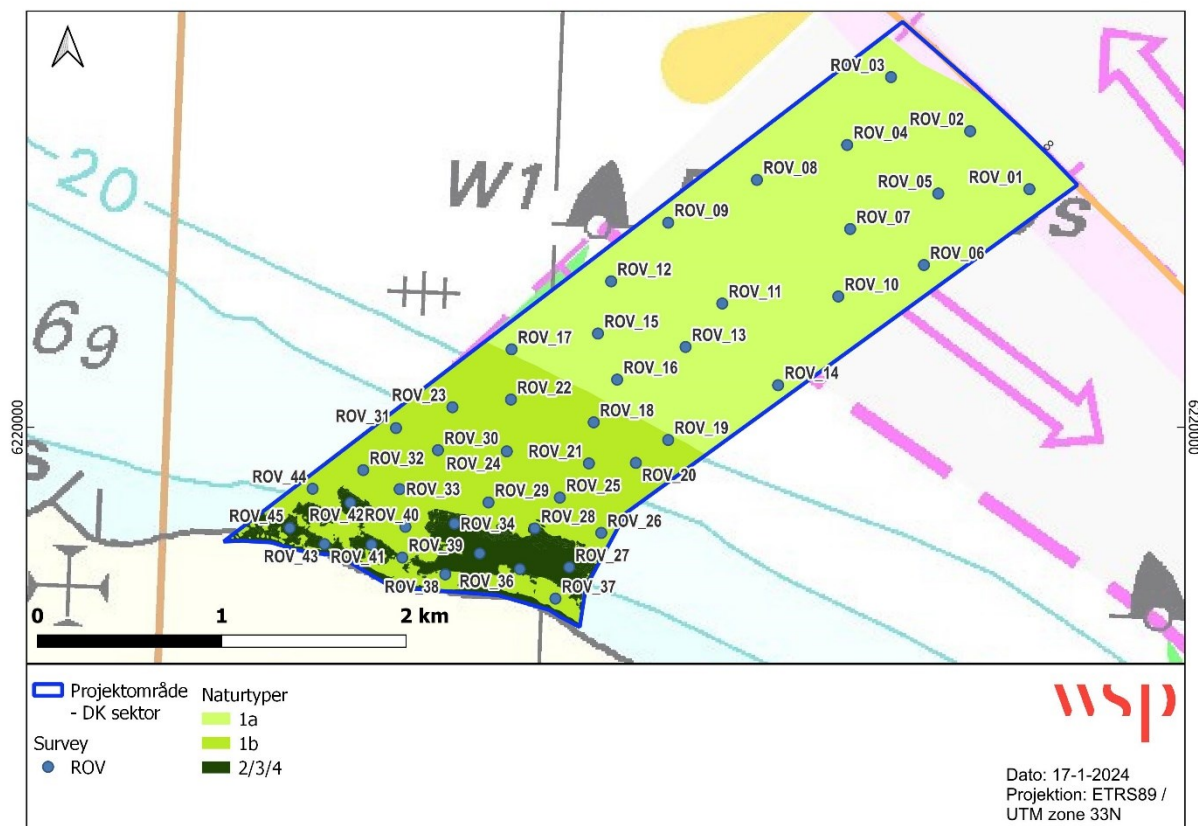
For de tre substrattyper er der herefter lavet en vurdering af substrattypernes biologiske sammensætning, som har resulteret i tre naturtyper:

- Naturtype 1a – biologi tilknyttet siltet bund
- Naturtype 1b – biologi tilknyttet sandbund
- Naturtype 2/3/4 – biologi tilknyttet havbund med store sten (>10 cm/dækningsgrad 10-25 %) samt stenrev (dækningsgrad store sten >25 %)

Idet det biologiske samfund på de stenede substrater er meget sammenligneligt for substrattype 2, 3 og 4 er biologien på disse bundtyper samlet i én naturtype benævnt naturtype 2/3/4.

Tabel 6-2. Oversigt over flora- og faunarter med dækningsgrader på forskellige substrat-/naturtyper. Dybden er angivet som en gennemsnitlig værdi, med min- og max range.

Naturtype	Bundfauna-arter	%	Antal arter	Bundflora-arter	%	Antal arter	ROV-station	Dybde (m)	Substrat-type	Bundtypebeskrivelse
1a	Eremitkrebs, søfjer, havbørsteorme, skaller bl.a. fra hjertemusling, molbøsters og pelikanfod, slangestjerner, nøgensnegl, rurer på sneglehusene, almindelig søstjerne, spor fra infaunaaktivitet, tårnsnegl, konksnegl, søstrå, sandkrabbe, alm. konk, sømusskal, søanemoner på sten, måske havmus, tårnsnegl, skal fra sømus, krabbe sp. (evt. sandkrabbe), kamstjerne Fisk: Ising, sandkutling, kutling sp., fladfisk sp., rødspætte.	<1-5	21	En enkelt fastsiddende rødalge, ellers kun drivende makroalger	0-<1	1	01-17	26,8 (24,5-28,5)	1a	Typisk flad, homogen og siltet blød bund.
1b	Almindelig søstjerne, tårnsnegle, dværgkonk, eremitkrebs, rurer, kalkrørsorm, rødkonk, hydrobia, søanemone, strandkrabbe, siphonhuller fra muslinger, hydroider, hestereje, mosdyr på makroalger, knivmusling, sandormehobe, havbørsteorme (evt. Pygospio), Fisk: Fladfisk sp., rødspætte, sandkutling, skrubbe	<1-2	16	Fin ledtang/rødsky, gaffeltang, polysiphonia samt drivende	0-1	3	18-26, 29-33, 37, 39, 40, 44	10,8 (2,5-23)	1b	Typisk siltet finkornet sandbund med ingen eller betydelige bølgeribber samt fint til mellemkornet sandbund med bølgeribber
2/3/4	Havsvamp, brødkrummevamp, søstjerne, nøgensnegl, mosdyr på alger, skalfragmenter fra bl.a. hjerte-, sand-, og kniv- og kammusling samt molbøsters og taskekrabbe, hydroider og hindemosdyr på alger Fisk: Havkarusse, toplettet kutling	0-1	13	Skulptetang, fingertang, gaffeltang, sukkertang, strengetang, savtang, fedtemøg, smal rødblad, polysiphonia, carragentang, blodrød ribbeblad, røde buske, rødsky, bugtet ribbeblad, vintertråd, hav-hildenbrandia, måske rød kalkskorpe	50-95 (62,5)	17	27-28, 34-36, 38, 41-43, 45	5,5 (2-11)	2,3,4	Typisk stenrev på sandbund med indslag af mindre sten og grus.



Figur 6-3. Naturtypekort med stationer for ROV-undersøgelser.

6.3.1 NATURTYPE 1A

Naturtype 1a blev observeret på 17 ROV-stationer og var den næstmest observerede naturtype på de 45 undersøgte stationer. Naturtypen blev typisk observeret på blød havbund på dybder omkring 24-29 m.

Biologien på naturtypen bestod typisk af arter som findes på sandede, siltede bunde såsom eremitkrebs, almindelig søstjerne, konksnegl, men også arter som kun findes på substrattype 1a såsom søfjer, søstrå og nøgensnegle. På det sparsomme hårde substrat blev der observeret søanemoner. Der blev, ud over en enkelt fastsiddende rødalge og drivende makroalger, ikke observeret flora på naturtypen.

Eksempler på registrering af naturtype 1a på ROV videooptagelserne i projektområdet kan ses på Figur 6-4 til Figur 6-6.

Taxa/arter observeret:

Blødbundstaxa:

- Fauna: Eremitkrebs, søfjer, havbørsteorme, skaller bl.a. fra hjertemusling, molbøsters og pelikanfod, slangestjerner, nøgensnegl, rurer på sneglehusene, almindelig søstjerne, spor fra aktivitet, tårnsnegl, konksnegl, søstrå, sandkrabbe, alm. konk, sømusskal, søanemoner på sten, måske havmus, tårnsnegl, skal fra sømus, krabbe sp. (evt. sandkrabbe), kamstjerne

Hårdbundstaxa

- Flora: Buskformede rødalger, drivende makroalger
- Fauna: Søanemone

Vandsøjle

- Fisk: Ising, sandkutling, kutling sp., fladfisk sp., rødspætte.



Figur 6-4. Naturtype 1a. Siltet bund med flere arter børsteorme, der stikker op af havbunden. Eksempel fra ROV-station 15 beliggende i den centrale del af projektområdet på ca. 28 m vanddybde.



Figur 6-5. Naturtype 1a. Konksnegl og skrubbe på en siltet havbund. Eksempel fra ROV-station 01 beliggende i den nordøstlige del af projektområdet på ca. 27 m vanddybde.



Figur 6-6. Naturtype 1a. Nøgensnegl og flere arter af havbørsteorme. Eksempel fra ROV-station 12 beliggende i den centrale del af projektområdet på ca. 28 m vanddybde.

6.3.2 NATURTYPE 1B

Naturtype 1b blev observeret på 18 ROV-stationer og var dermed den mest observerede naturtype på de 45 undersøgte stationer. Naturtypen blev observeret i områder med lavere vanddybde (typisk 10-20 m), hvor substraterne var mere sandede, men også på lidt dybere vande, hvor substratet var mere finkornet eller tilmed

siltet. I områder med vedvarig strøm, hvilket resulterer i en dynamisk havbund, ses strukturer som bølgeribber på havbunden (typisk omkring 10 m vanddybde).

Biologien på naturtypen bestod typisk af arter som findes på sandede, siltede bunde såsom eremitkrebs, strandkrabbe og almindelig søstjerne. På det sparsomme hårde substrat blev der observeret arter som søanemoner, rurer og kalkrørsorme. Der blev, ud over nogle enkelte fastsiddende rødalger og drivende makroalger, ikke observeret flora på naturtypen.

Eksempler på registrering af naturtype 1b på ROV videooptagelserne i projektområdet kan ses på Figur 6-7 til Figur 6-10.

Taxa/arter observeret:

Blødbundstaxa:

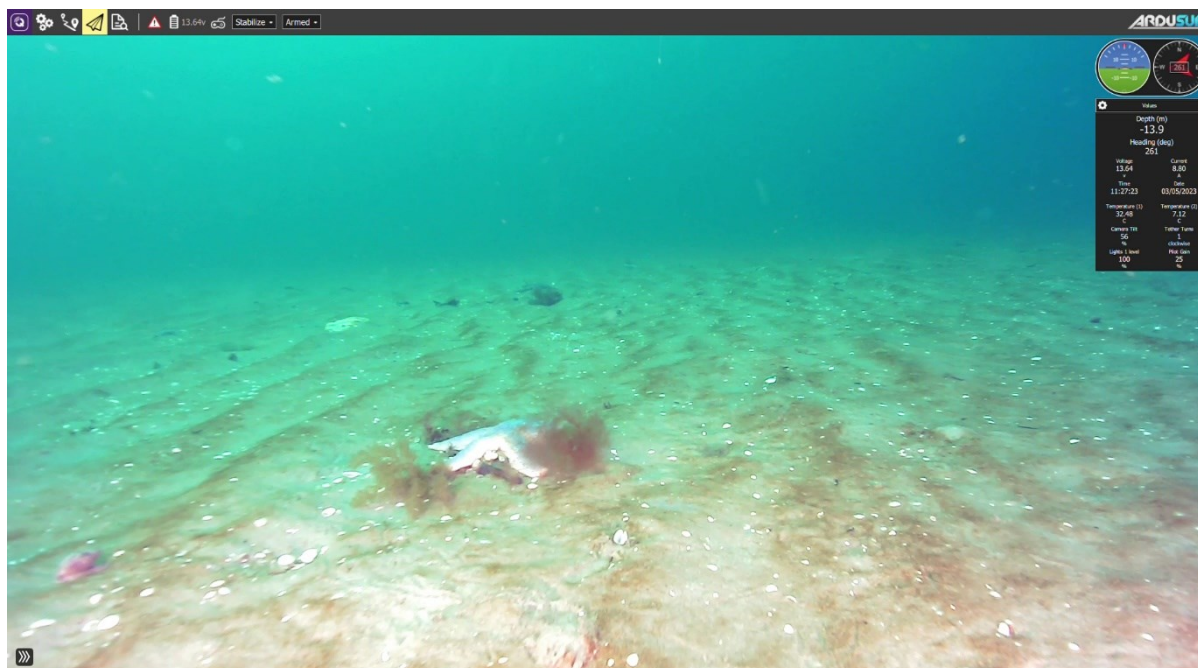
- Fauna: Almindelig søstjerne, tårnsnegle, hydrobia, dværgkonk, eremitkrebs, rødkonk, strandkrabbe, siphonhuller fra muslinger, mosdyr på makroalger, knivmusling, sandormehobe, havbørsteorme (evt. Pygospio),

Hårbundstaxa

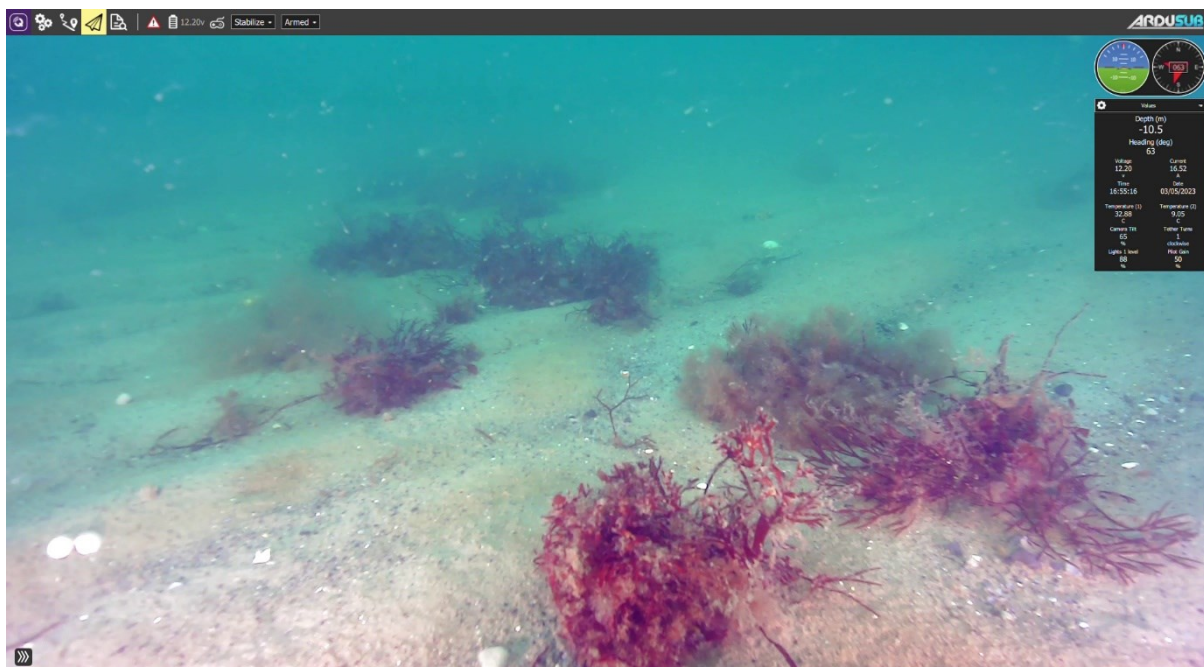
- Flora: Fin ledtang/rødsky, gaffeltang, polysiphonia samt drivende makroalger
- Fauna: Hydroider, søanemoner, rurer og kalkrørsorme

Vandsøjle

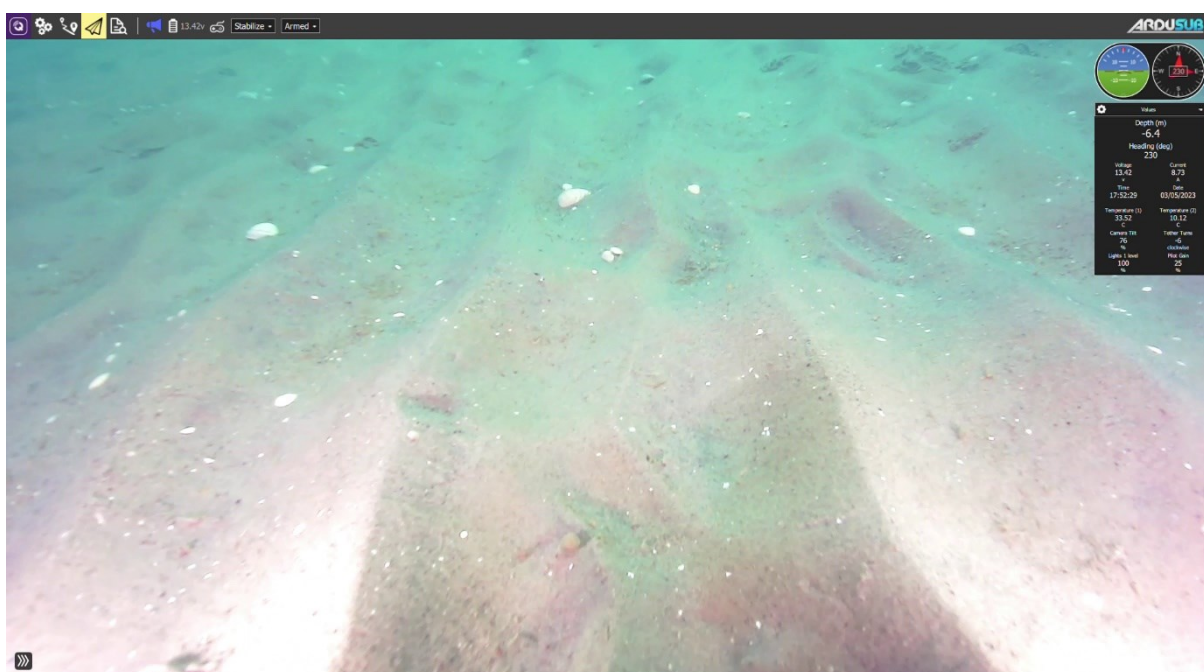
- Invertebrater: hestereje
- Fisk: Fladfish sp., rødspætte, sandkutling, skrubbe



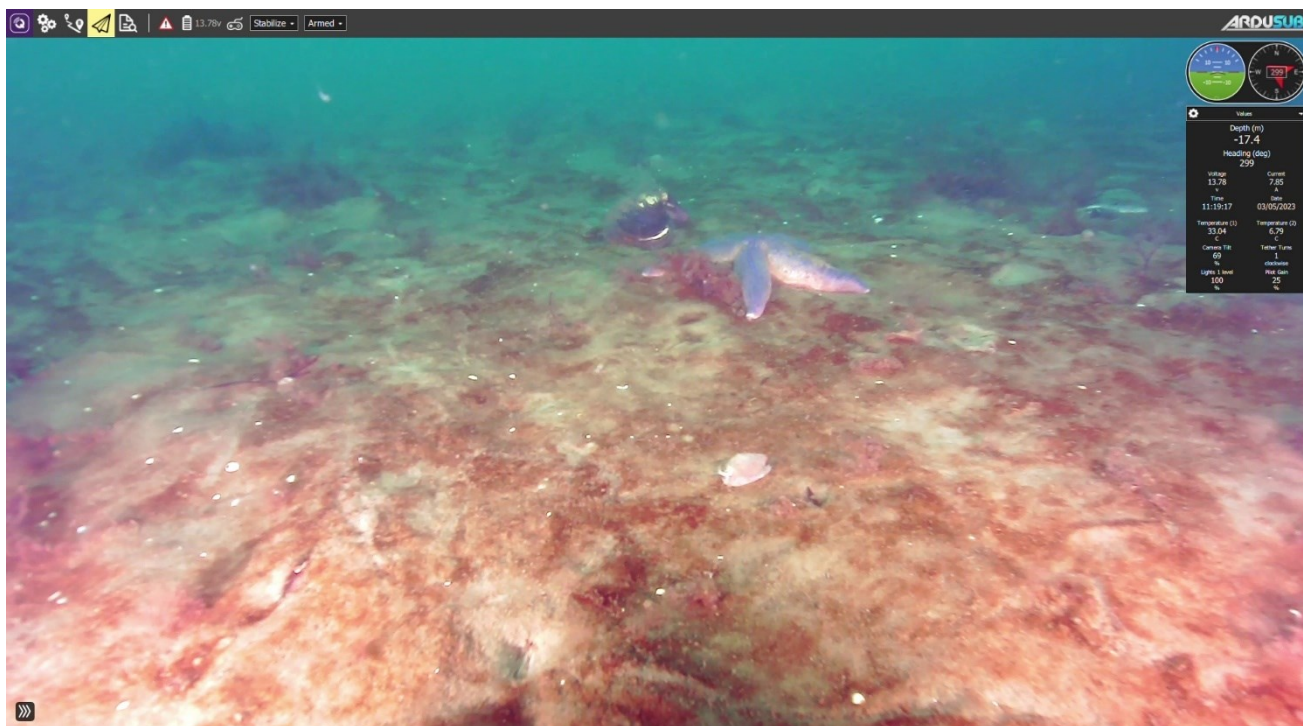
Figur 6-7. Naturtype 1b. Sandet bund med svage bølgeribber. Her ses almindelig søstjerne og belægning af mikroalger/bakterier på havbunden. Eksempel fra ROV-station 20 beliggende i den centrale del af projektområdet på ca. 15 m vanddybde.



Figur 6-8. Naturtype 1b. Sandet bund med mindre bølgeribber og drivende makroalger, der ikke er fasthæftet. Eksempel fra ROV-station 29 beliggende i den sydlige del af projektområdet lige nord for stenrevet på ca. 11 m vanddybde.



Figur 6-9. Naturtype 1b. Ren, sandbund med bølgeribber. Eksempel fra ROV-station 44 beliggende i den sydvestlige del af projektområdet lige nord for stenrevet på ca. 6 m vand.



Figur 6-10. Naturtype 1b. Sandbund på dybere vand med lag af mikroalger/bakterier på havbunden samt en almindelig søstjerne. Eksempel fra ROV-station 22 beliggende i den sydlige del af projektområdet på ca. 17 m vanddybde.

6.3.3 NATURTYPE 2/3/4

Naturtype 2/3/4 blev observeret på 10 ROV-stationer. Naturtypen blev observeret på stenrev (substrattype 4). Naturtype 4 blev fundet ud for kysten i undersøgelsesområdet.

Biologien på naturtypen bestod typisk af et højt dække af makroalger, udelukkende 100 % substratspecifik dækning, herunder bl.a. arter af busk- og bladformede rødalger og mange arter af brunalger, som skulpetang, sukkertang, fingertang, osv. Faunaen var primært tilknyttet det hårde substrat, hvor der bl.a. blev observeret rurer, mosdyr, almindelig søstjerne og havsvamp.

Eksempler på registrering af naturtype 2/3/4 på ROV videooptagelserne i projektområdet kan ses på Figur 6-11 til Figur 6-14.

Taxa/arter observeret:

Hårdbundstaxa

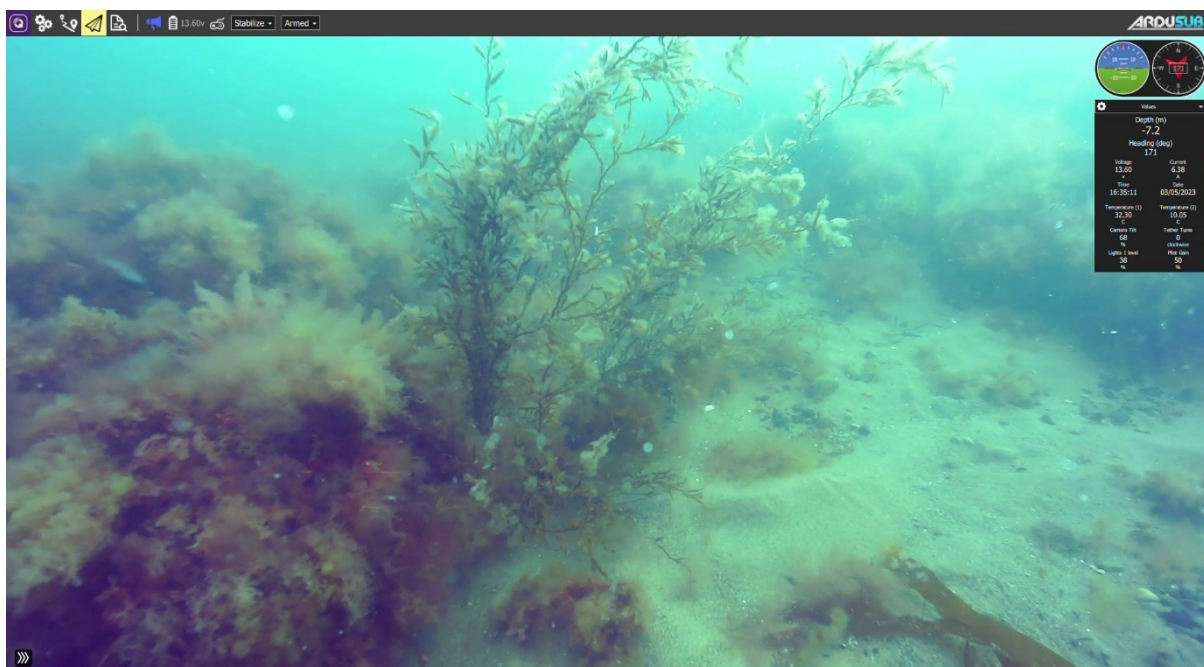
- Flora: Skulpetang, fingertang, gaffeltang, sukkertang, strengetang, savtang, fedtemøg, smal rødblad, kilerødblad, polysiphonia, carragentang, blodrød ribbeblad, røde buske, rødsky, bugtet ribbeblad, vintertråd, hav-hildenbrandia, måske rød kalkskorpe
- Fauna: Havsvamp, brødkrummevamp, søstjerne, nøgensnegl, mosdyr på alger, skalfragmenter fra bl.a. hjerte-, sand-, og kniv- og kammusling samt molboøsters og taskekrabbe, hydroider og hindemosdyr på alger

Vandsøjle

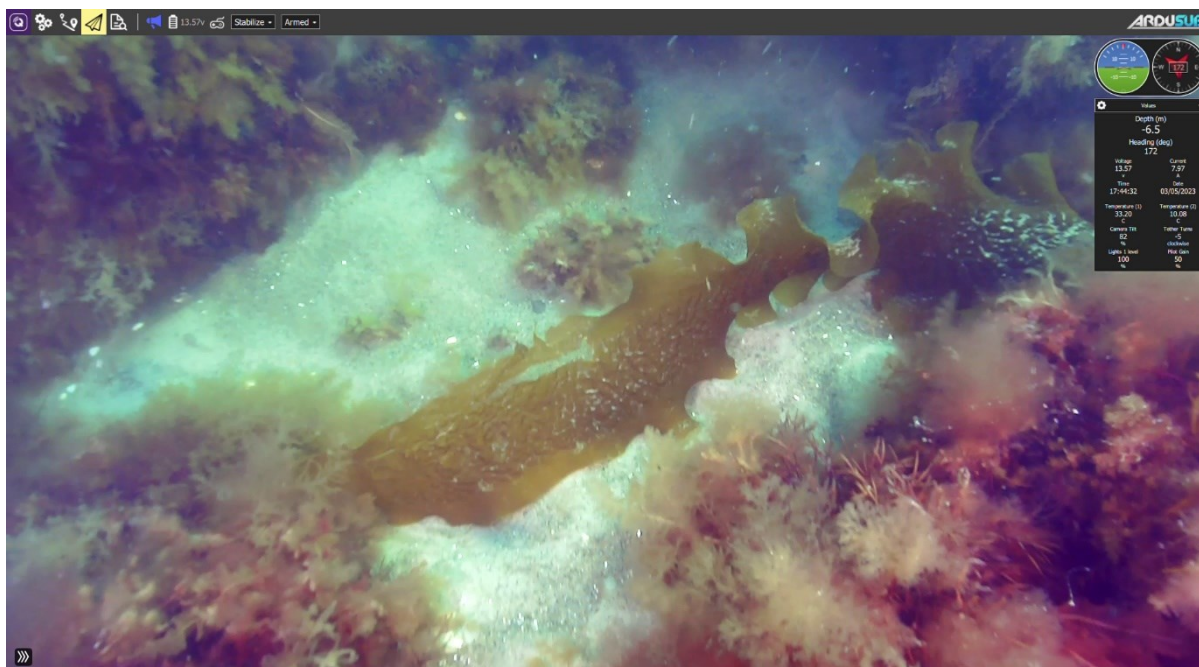
- Fisk: Havkarusse, toplettet kutling



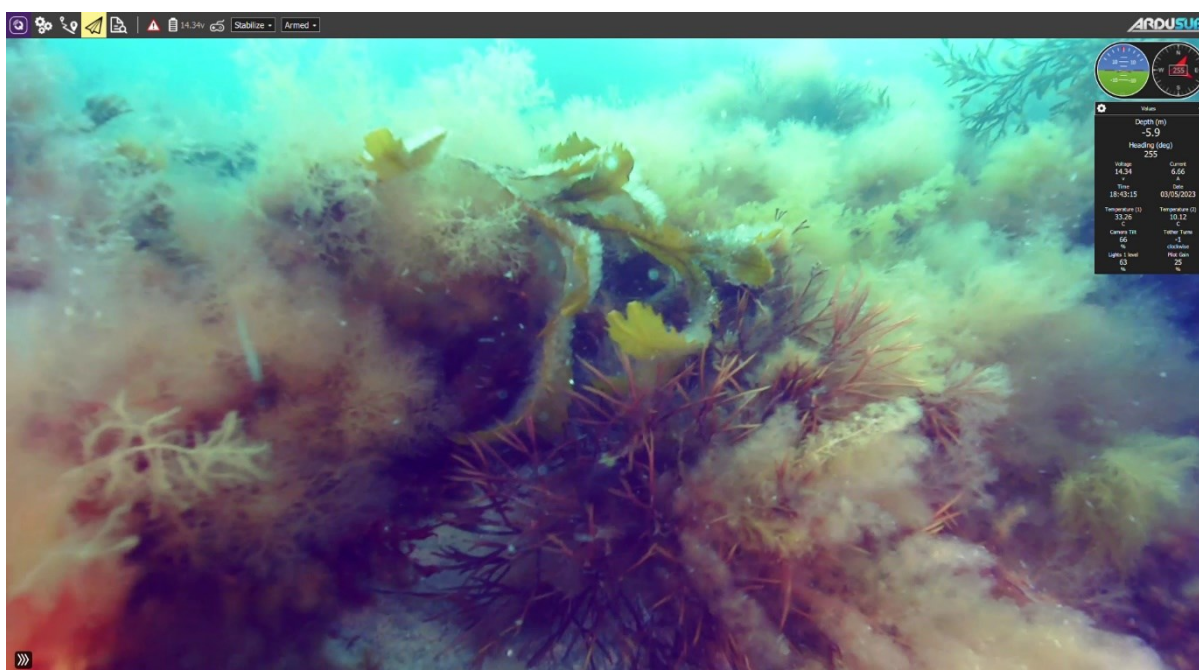
Figur 6-11. Naturtype 4. Flere større sten på en sandet havbund med 100 % dækning af makroalger. Eksempel fra ROV-station 42 beliggende i den sydvestlige del af projektområdet på ca. 7 m vanddybde.



Figur 6-12: Naturtype 4. Stenrev med flere arter af makroalger, bl.a. skulptetang, fingertang og buskformede rødalger. Eksempel fra ROV-station 27 beliggende i den sydøstlige del af projektområdet på ca. 8 m vanddybde.



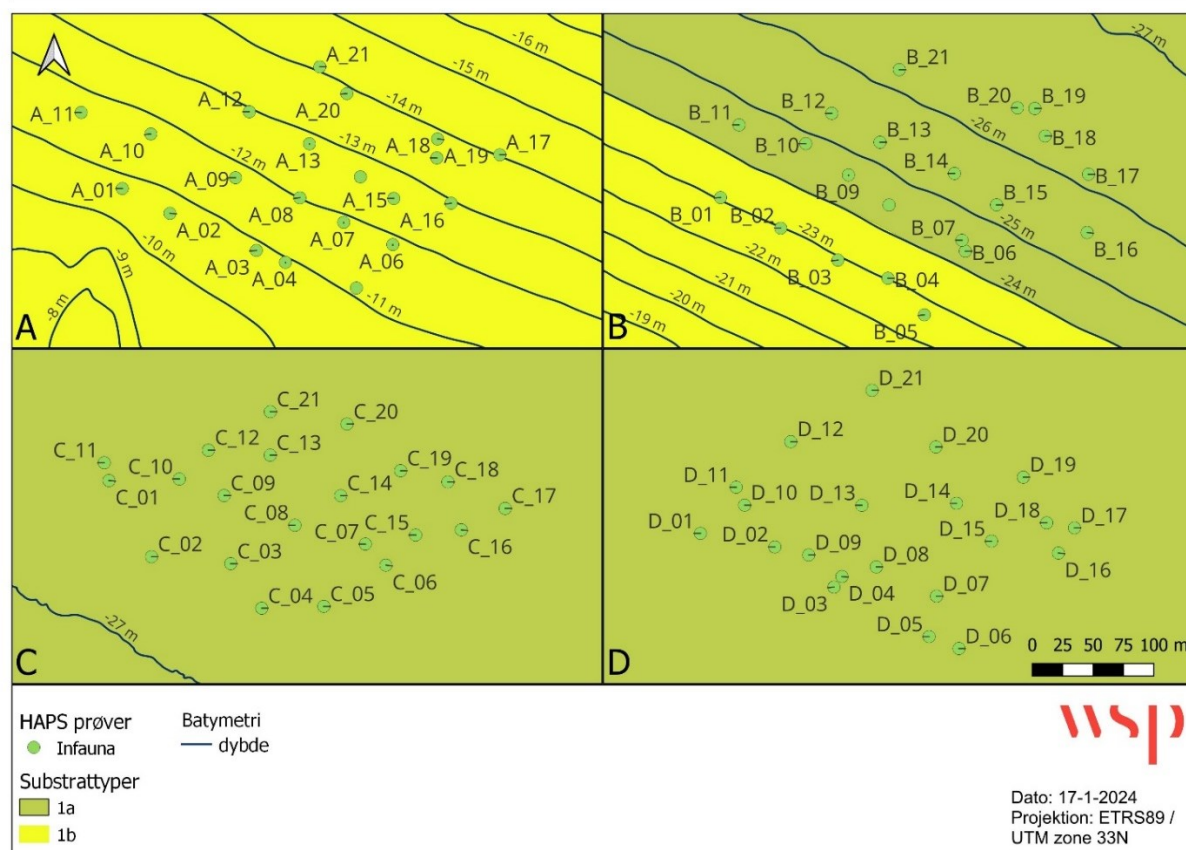
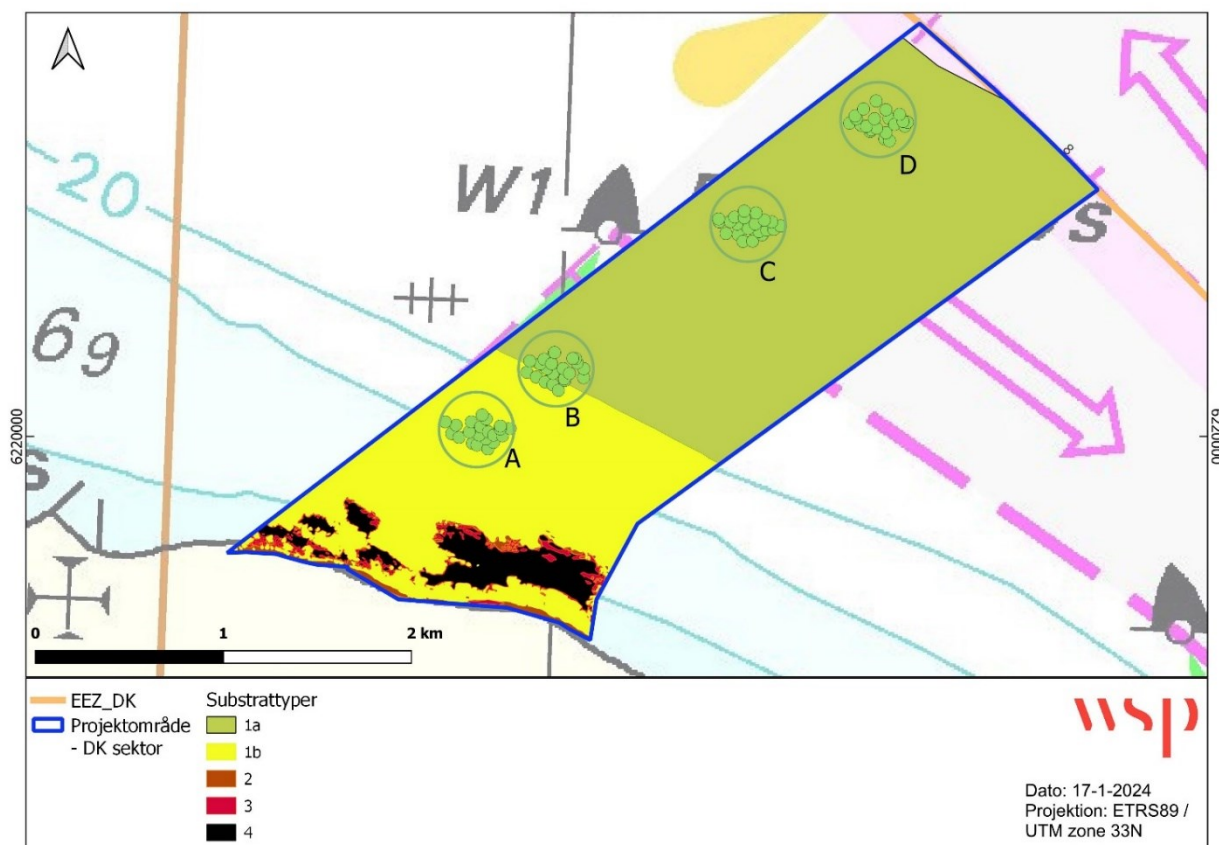
Figur 6-13. Naturtype 4. Sukkertang, gaffeltang og blodrød ribbeblad. Eksempel fra ROV-station 42 beliggende i den sydvestlige del af projektområdet på ca. 7 m vanddybde.



Figur 6-14. Naturtype 4. Sten begroet af savtang, gaffeltang og blodrød ribbeblad. Eksempel fra ROV-station 35 beliggende i den sydlige del af projektområdet på ca. 6 m vanddybde.

6.4 INFAUNA

Der skelnes i nærværende afsnit mellem delområde A, B, C og D. Inden for hvert delområde er der indsamlet 21 prøver (Figur 6-15). Prøverne i delområde A var beliggende på substrattype 1b, hvor prøverne i delområde C og D var beliggende på substrattype 1a, og delområde B lå på overgangen mellem substrattype 1a og 1b.



Figur 6-15. Øverst: Oversigtskort med lokaliteter af infaunaprøver taget i delområderne A-D. Nederst: zoom af de fire delområder A-D med prøver-lokaliteter, den registrerede substrattype samt dybdekurver.

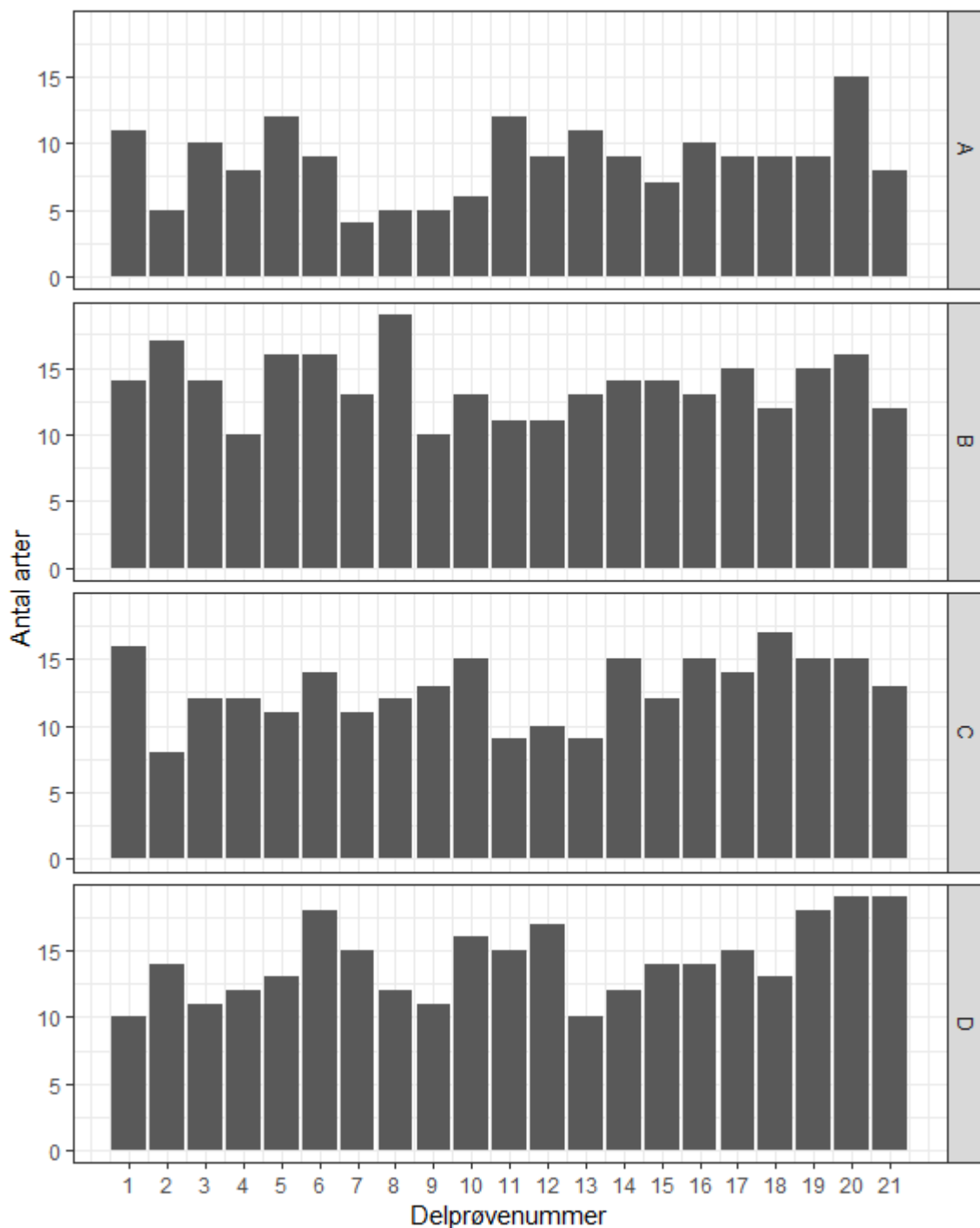
6.4.1 ARTSANTAL SAMT TÆTHEDER OG BIOMASSE AF KLASSER OG ARTER

Der var flest forskellige arter til stede i delområde C, hvor der i alt blev fundet 58 arter (Tabel 6-3). Der blev fundet færrest arter i delområde A (44 arter). I delområde B og D blev der i alt fundet hhv. 50 og 51 arter. Det højeste antal arter pr. prøve blev fundet i delområde B og D, hvor der i nogle prøver blev fundet op mod 19 arter. Det højeste gennemsnitlige antal arter pr. prøve (14,2 arter pr. prøve) blev fundet i delområde D, og det laveste i delområde A (8,7 arter pr. prøve). Figur 6-16 viser antallet af arter, der blev fundet i hver prøve i de fire delområder. Der blev generelt fundet færre arter i delområde A sammenlignet med de andre tre delområder.

Tabel 6-3. Artsantal, tæthed og biomasse af infauna i delområderne A, B, C og D.

Delområde	Samlet artsantal	Antal arter pr. prøve (gennemsnit)	Totale tætheder (individer/m ²)	Total biomasse (g tørvægt/m ²)
A	44	4-15 (8,7)	26.154	2.967
B	50	10-19 (13,7)	87.343	8.347
C	58	8-17 (12,8)	47.762	2.221
D	51	10-19 (14,2)	55.104	896

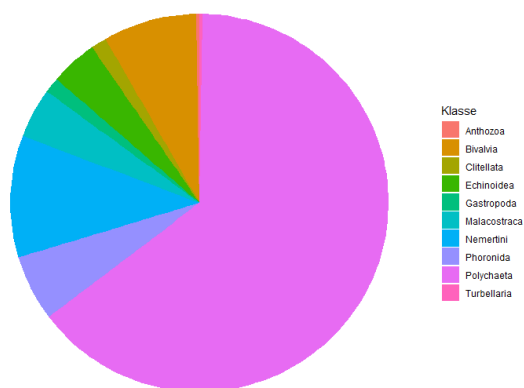
Den højeste tæthed for alle prøver i de fire delområder var i delområde B, hvor der var en total tæthed på 87.343 individer/m², og den højeste biomasse på 8.347 g tørvægt/m² (Tabel 6-3). Den høje biomasse skyldes to enkelte individer af molboesters (*Arctica islandica*), der blev fundet i to prøver i delområde B, som til sammen havde en biomasse på 5.602 g tørvægt/m², dvs., at de to molboesters udgjorde 67% af den samlede biomasse i delområdet. Den laveste tæthed var i delområde A (26.154 individer/m²), som dog havde højere biomasse sammenlignet med delområde C og D. Den høje biomasse i delområde A, skyldes, ligesom for delområde B, to enkelte individer af molboesters, der blev fundet i to prøver, og som udgjorde 90% af den samlede biomasse. Også i delområde C blev der fundet en enkelt molboesters i en af prøverne, som udgjorde 48% af den samlede biomasse der blev fundet i delområde C. Der blev ikke fundet nogle molboesters i delområde D.



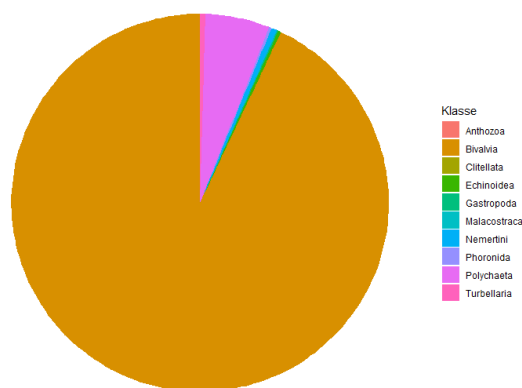
Figur 6-16. Antal af arter fundet i hver prøve (1-21) i de fire delområder A, B, C og D.

Tætheden (individer/m²) af infauna-klasser var i delområde A domineret af havbørsteorme (Polychaeta, 64%), efterfulgt af slimorme (Nemertini, 10%) og muslinger (Bivalvia, 8%), hvorimod biomassen var klart domineret af muslinger (92%), og havbørsteorme og slimorme kun udgjorde hhv. 6% og 0,5% (Figur 6-17).

Tætheder, delområde A



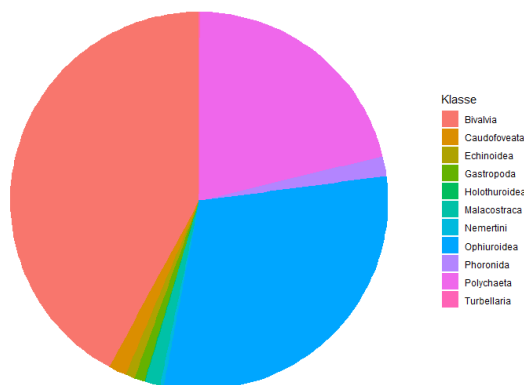
Biomasse (tørvægt), delområde A



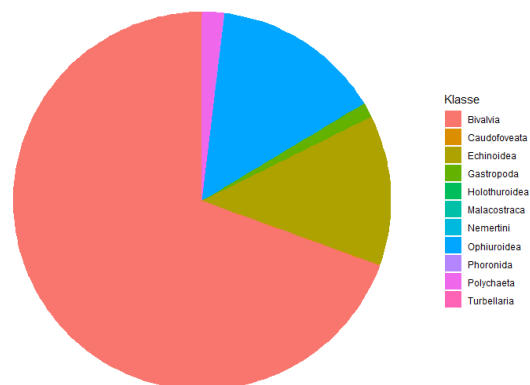
Figur 6-17. Fordelingen af infauna-klasser ift. tætheder (ind./m²) (venstre figur) og biomasse (tørvægt/m²) (højre figur) i delområde A.

I delområde B dominerede muslinger (Bivalvia, 42%) ift. tætheder, efterfulgt af slangestjerner (Ophiuroidea, 30%) og havbørsteorme (Polychaeta, 21%), mens biomassen var domineret af muslinger (69%), efterfulgt af slangestjerner (14%) og søpindsvin (Echinoidea, 13%), mens havbørsteorme kun udgjorde 2% af den samlede biomasse (Figur 6-18).

Tætheder, delområde B



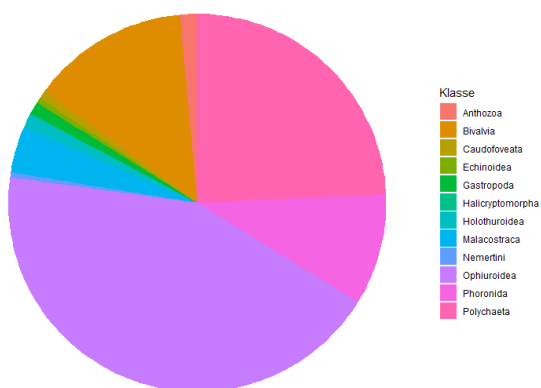
Biomasse (tørvægt), delområde B



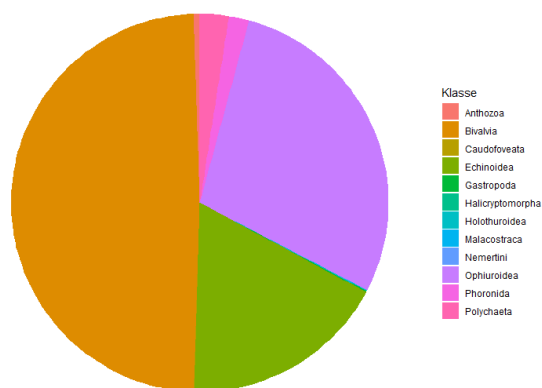
Figur 6-18. Fordelingen af infauna-klasser ift. tætheder (ind./m²) (venstre figur) og biomasse (tørvægt/m²) (højre figur) i delområde B.

I delområde C og D var tætheden af infauna domineret af slangestjerner (Ophiuroidea, hhv. 43% og 42%), efterfulgt af havbørsteorme (Polychaeta, hhv. 24% og 25%) og muslinger (Bivalvia, hhv. 13% og 14%) (Figur 6-19 og Figur 6-20). Biomassen i delområde C var domineret af muslinger (48%), mens biomassen i delområde D var domineret af slangestjerner (82%). Den høje andel som udgøres af muslinger i delområde C skyldes, at der var en enkelt molboøsters (*Arctica islandica*) i en af prøverne. I delområde C udgjorde slangestjerner 28% af den samlede biomasse, efterfulgt af søpindsvin (18%). I delområde D var næsthøjeste biomasse udgjort af havbørsteorme (7%) og hesteskoorm (Phoronida, 5%), og muslinger udgjorde kun 3% af den samlede biomasse.

Tætheder, delområde C

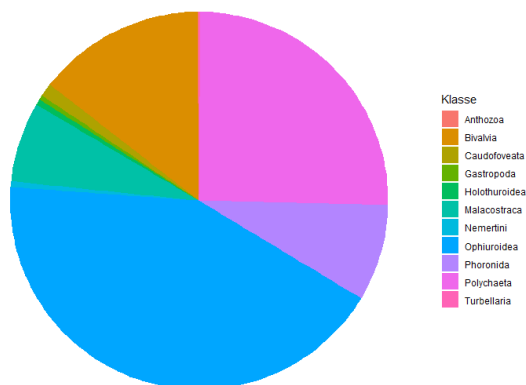


Biomasse (tørvægt), delområde C

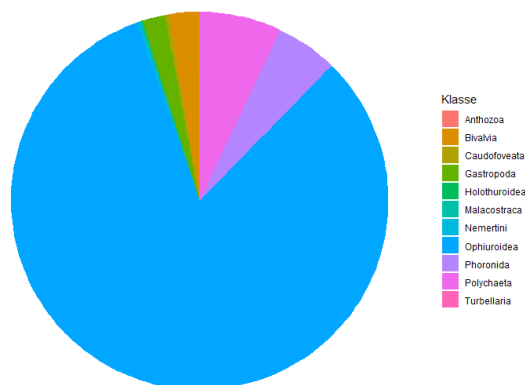


Figur 6-19. Fordelingen af infauna-klasser ift. tætheder (ind./m²) (venstre figur) og biomasse (tørvægt/m²) (højre figur) i delområde C.

Tætheder, delområde D

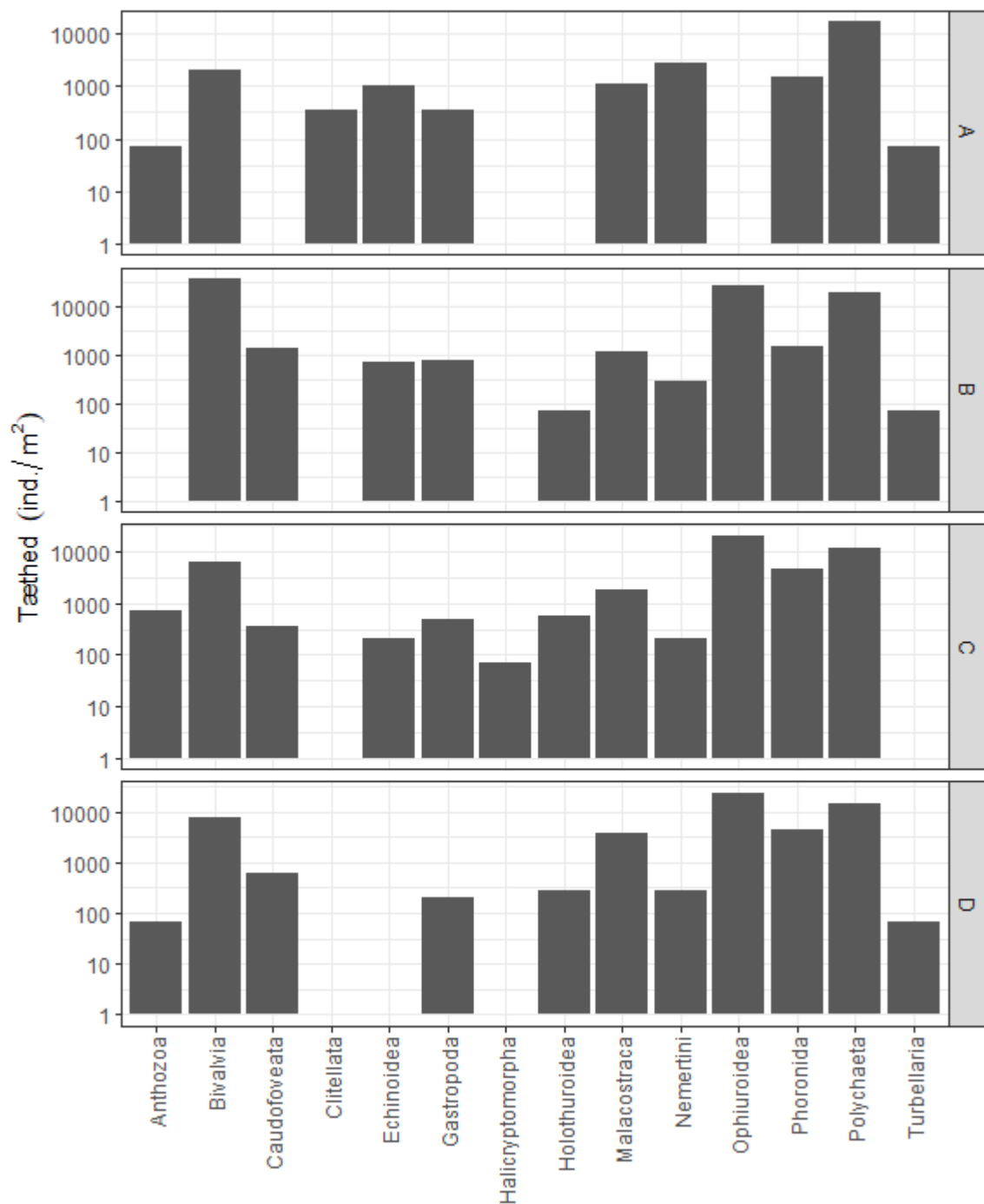


Biomasse (tørvægt), delområde D

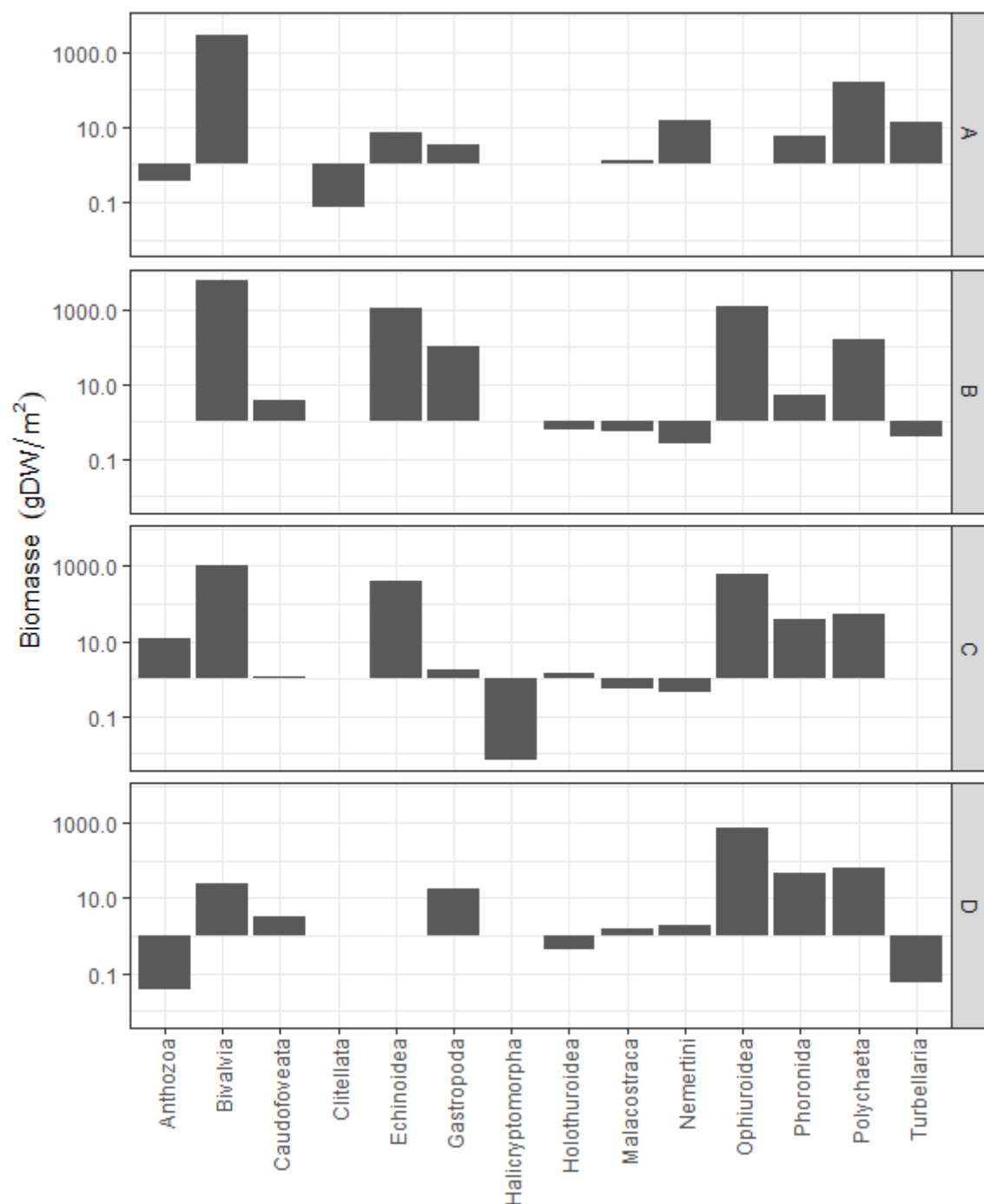


Figur 6-20. Fordelingen af infauna-klasser ift. tætheder (ind./m²) (venstre figur) og biomasse (tørvægt/m²) (højre figur) i delområde D.

Et samlet overblik over fordelingen af infauna-klasser i forhold til tætheder og biomasser i de fire delområder, kan ses på hhv. Figur 6-21 og Figur 6-22.



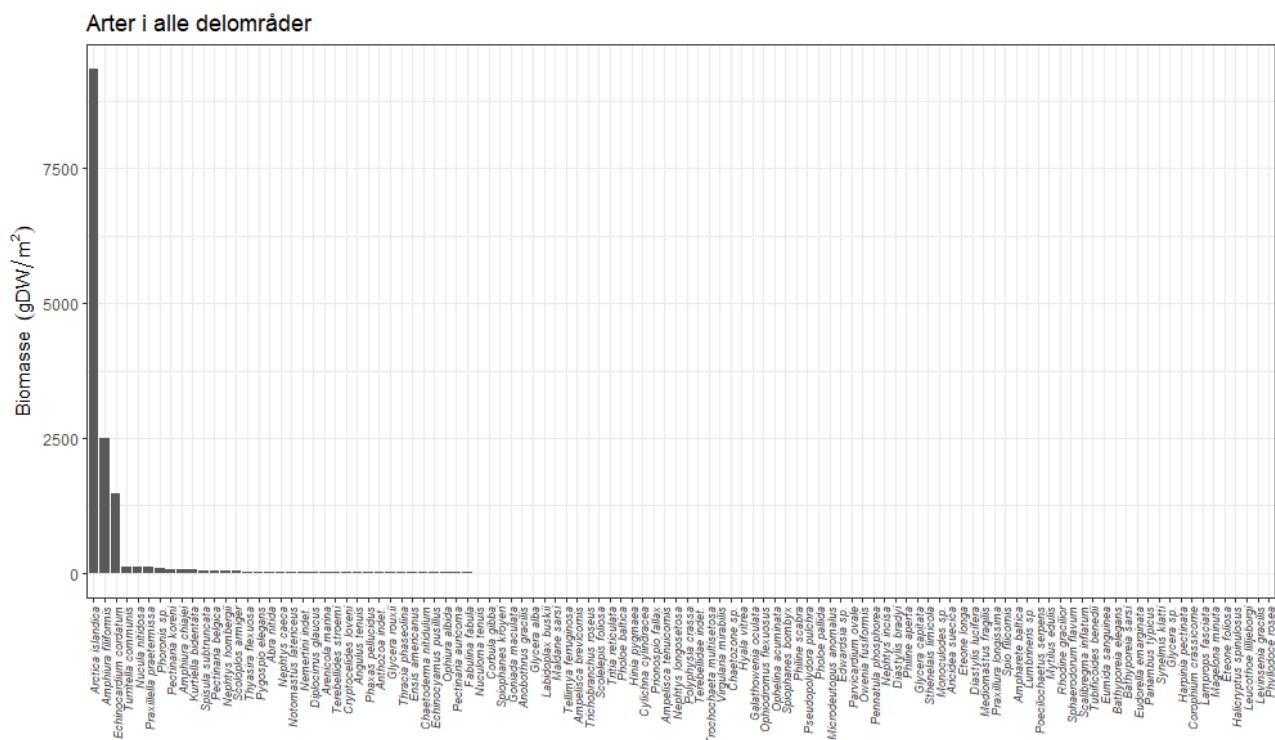
Figur 6-21. Tætheder (individer (individer/m²)) af infauna fordelt på klasser i de fire delområder A, B, C og D. Bemærk log-skala på y-aksen. Se Tabel 6-3 for den totale tæthed af infauna i de fire delområder.



Figur 6-22. Biomasse (gram tørvægt/m²) af infauna fordelt på klasser i de fire delområder A, B, C og D. Bemærk log-skala på y-aksen. Da logaritmen til 1 ($\log(1) = 0$), vil biomasse-værdier under 1 g tørvægt/m² vises som "negative" søjler på grafen. Se Tabel 6-3 for den totale biomasse af infauna i de fire delområder.

På artsniveau var den totale tæthed af infauna samlet for alle delområder domineret af fin mudderslangestjerne (*Amphiura filiformis*), som udgjorde 32% af det samlede antal individer/m² (Figur 6-23). Mysella-musling (*kurtiella bidentata*) udgjorde 19% af det samlede antal individer/m², mens den tredje mest dominerende art i hele området var hestesko-orm *Phoronis sp.*, som udgjorde 6% af det samlede antal individer/m². De to havbørsteormearter *Diplocirrus glaucus* og *Scoloplos armiger* udgjorde hver 3% af det samlede antal individer/m².

udgjorde 10% af den samlede biomasse. Tårnsnegl (*Turritella communis*) og almindelig nøddemusling (*Nucula nitidosa*) udgjorde hver 1% af den samlede biomasse. Der blev kun fundet to individer af tårnsnegl i hele området, svarende til en tæthed på 140 individer/m².



Figur 6-24. Biomasse (g tørvægt/m²) af infauna-arter samlet for alle fire delområder. Vær opmærksom på, at alle arter på figuren er til stede, men har meget lav biomasse.

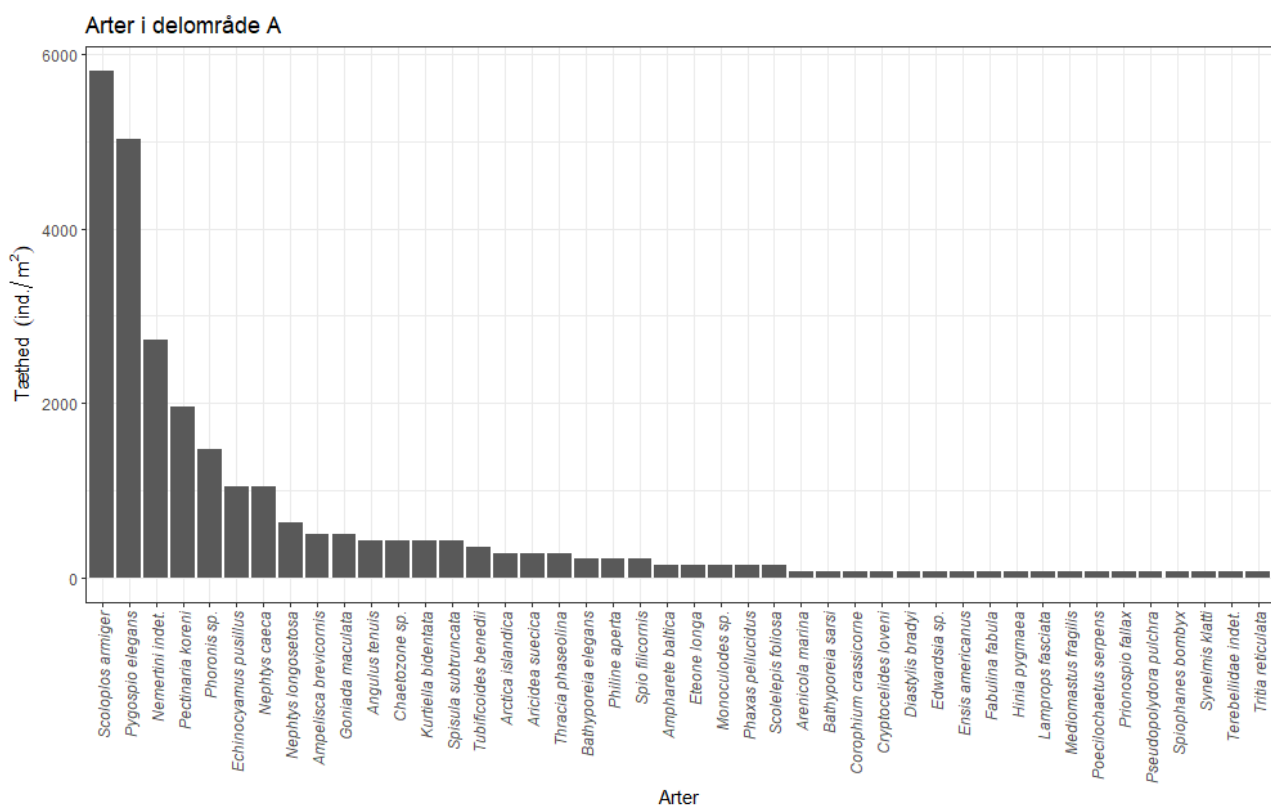
Som det ses, forekommer arten med den største biomasse (*Arctica islandica*) i meget lave tætheder (0,3% af den samlede tæthed af infauna i området). Fin mudderslangestjerne *Amphiura filiformis*, som udgør 17% af den samlede biomasse, forekom i relativt høje tætheder og udgør 32% af den samlede tæthed af infauna. De tre næstmest dominerende arter ift. biomasse udgjorde alle en meget lille %-del af den samlede tæthed af infauna i området (Tabel 6-5).

Tabel 6-5. De fem mest dominerende arter i forhold til biomassen af infauna (g tørvægt/m²). Tætheden af de fem arter er også inkluderet samt %-del af den samlede biomasse og tæthed. Se Tabel 6-6 for de fem mest dominerende arter ift. tætheder.

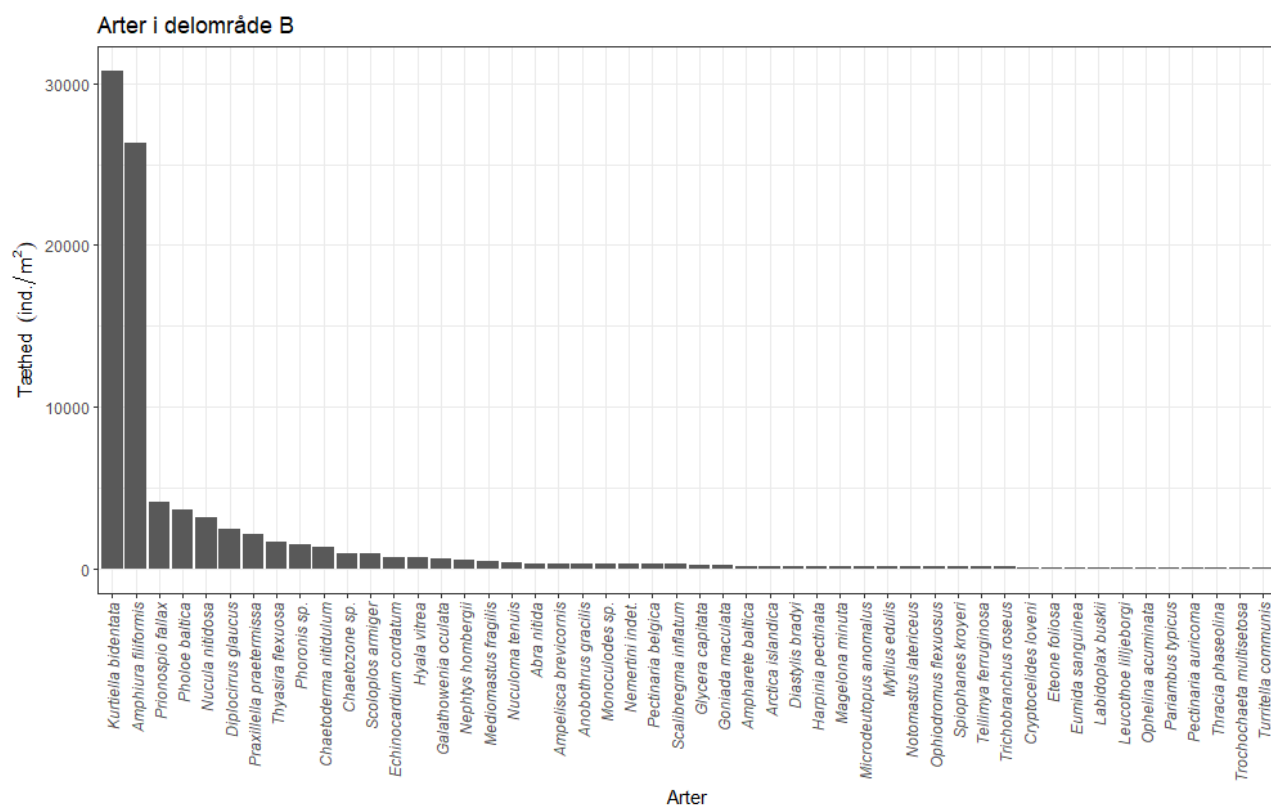
Arter	Taxonomisk klasse	Biomasse (g tørvægt/m ²)	Tæthed (ind./m ²)
Molbøsters <i>Arctica islandica</i>	Bivalvia	9.342 (65%)	559 (0,3%)
Fin mudderslangestjerne <i>Amphiura filiformis</i>	Ophiuroidea	2.508 (17%)	69.231 (32%)
Alm. sømus <i>Echinocardium cordatum</i>	Echinoidea	1.465 (10%)	909 (0,4%)
Tårnsnegl <i>Turritella communis</i>	Gastropoda	123 (1%)	140 (0,06%)

Alm. nøddemusling <i>Nucula nitidosa</i>	Bivalvia	118 (1%)	3.217 (1,5%)
---	----------	----------	--------------

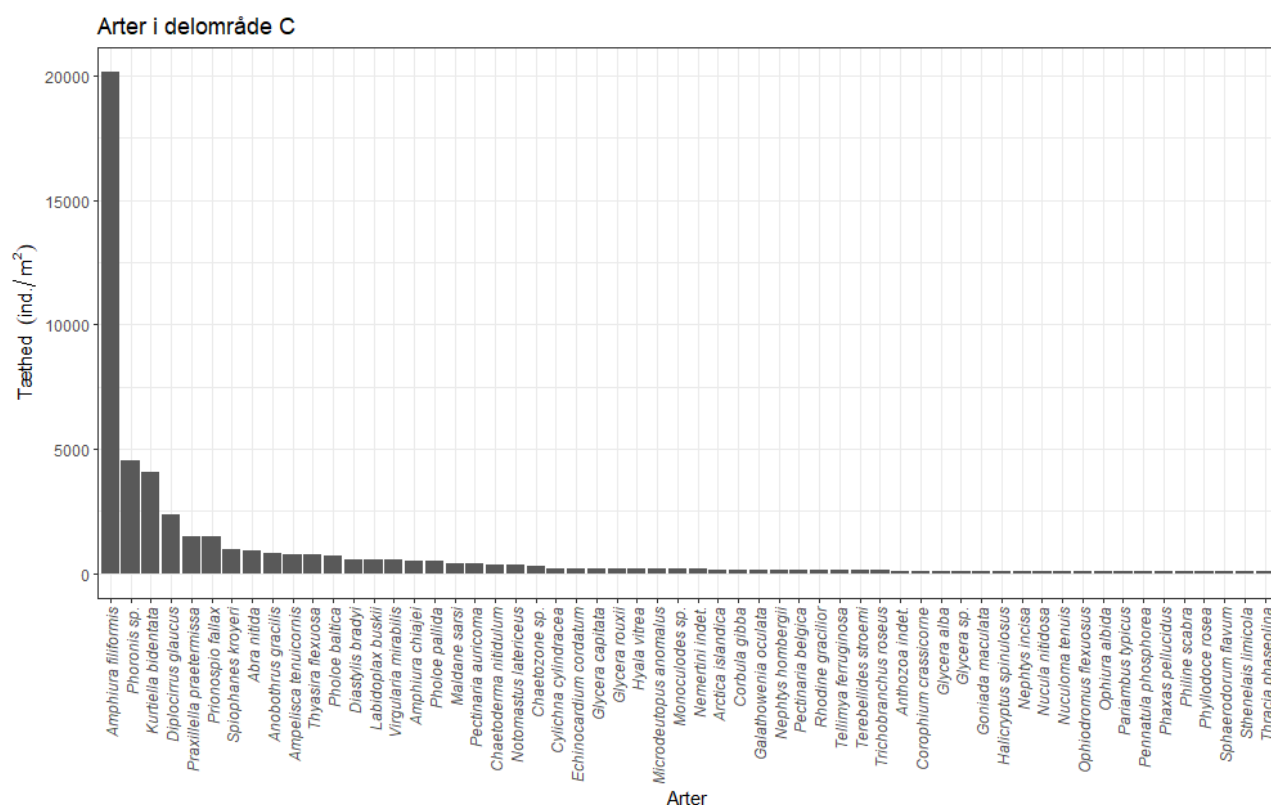
Ser man på tæthed af arter i de fire delområder, er der en tydelig forskel på arter, der dominerer i delområde A i forhold til de andre tre delområder. I delområde A ses det, at havbørsteormene *Scoloplos armiger* og *Pygospio elegans* dominerer antallet af infauna (Figur 6-25). I delområde B dominerede fin mudderslangestjerne *Amphiura filiformis* og Mysella-musling *Kurtiella bidentata* i forhold til antal af individer/m² (Figur 6-26), og i delområde C var der en klar dominans af fin mudderslangestjerne, og hestesko-orm *Phoronis* sp. og Mysella-musling forekom i relativ ens tætheder (Figur 6-27). I delområde D var det fin mudderslangestjerne der dominerede, og Mysella-musling og hestesko-orm forekom i relativ ens tætheder (Figur 6-28).



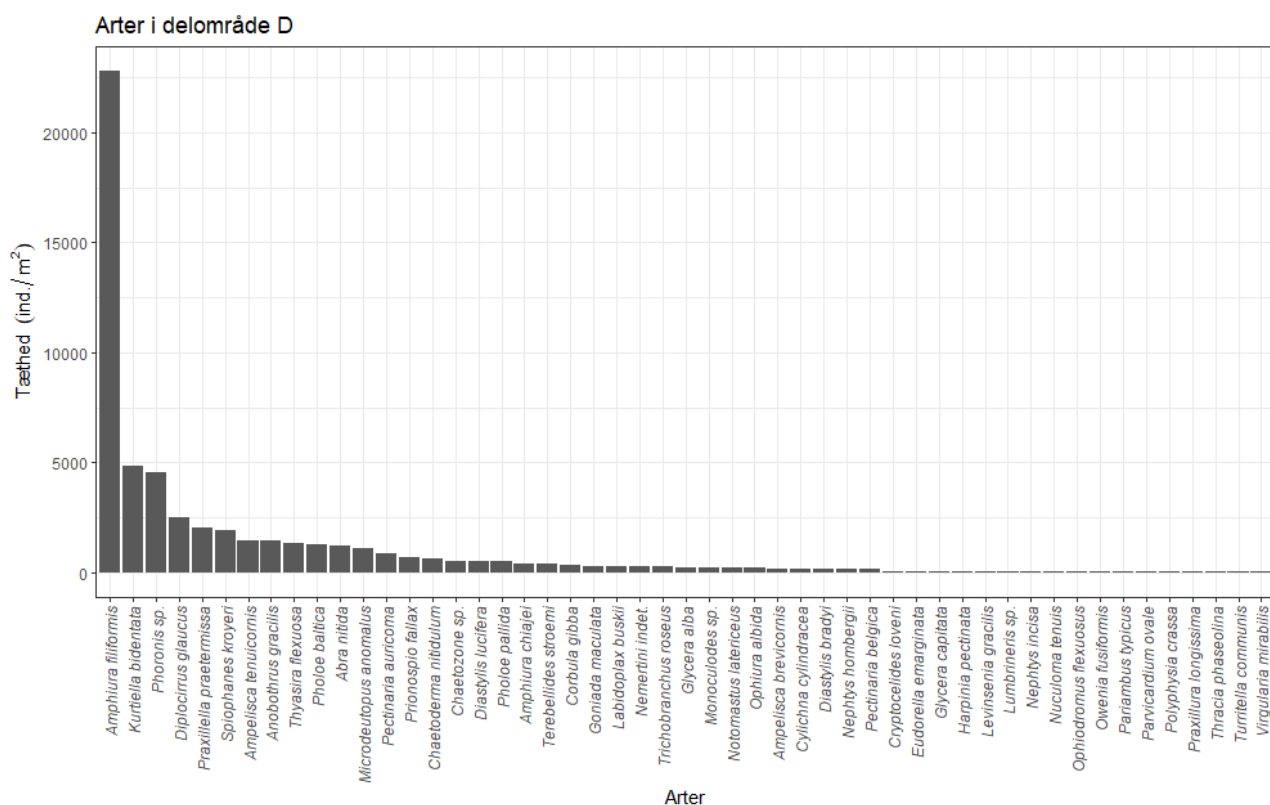
Figur 6-25. Tætheden (individer/m²) af de forskellige arter til stede i delområde A.



Figur 6-26. Tætheden (individer/m²) af de forskellige arter til stede i delområde B.



Figur 6-27. Tætheden (individer/m²) af de forskellige arter til stede i delområde C.



Figur 6-28. Tætheden (individer/m²) af de forskellige arter til stede i delområde D.

Tabel 6-6 lister de dominerende infaunaarter (ift. individantal) i delområderne A-D, som nævnt ovenfor, samt en beskrivelse af deres levesteder.

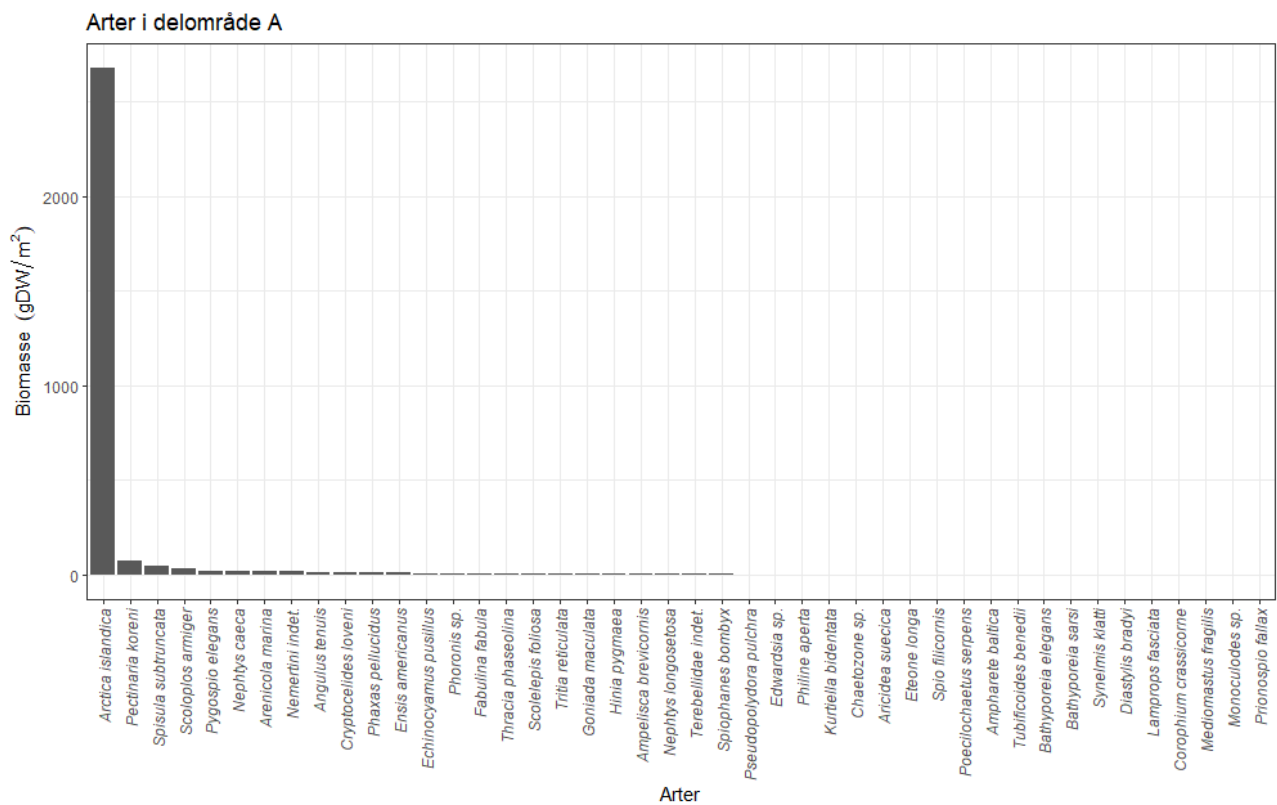
Tabel 6-6. Dominerende infaunaarter i forhold til antallet af individer pr. m² (tætheden) i delområderne A, B, C og D.

Arter	Taxonomisk klasse	Beskrivelse
<i>Scoloplos armiger</i> *	Polychaeta	Op til 12 cm lang havbørsteorm med op til 200 segmenter. Lever nedgravet i de øverste 10 cm i sand eller mudder-blandet bund, og kan tåle at leve i en iltfattig bund. Geografisk udbredelse fra Nordsøen til nordlige Østersø (Køie & Kristiansen, 2014).
<i>Pygospio elegans</i> *	Polychaeta	Er en art af rørlevende havbørsteorme, der kan blive op til 15 mm lange. De lever på sandbund både på lavt og dybt vand og lever langs kysterne i hele Europa og kan findes i tætheder på op til 600.000 individer/m ² . Arten er i stand til både seksuel og ukønnet reproduktion, har en bred vifte af saltholdighedstolerance og er både en suspensions-, filtrerings- og aflejringsføder. Disse egenskaber gør denne art til en meget modstandsdygtig generalist, som hurtigt kan rekolonisere (Thonig, 2018). Arten genkendes på ROV-video af sine lange brune til orange rør, der giver havbunden et behåret udseende. Denne art er byttedyr for fisk og kystfugle, da <i>P. elegans</i> ofte forekommer på relativt lave dybder (Hiebert, 2015).
Fin mudderslangestjerne	Ophiuroidea	Skiven (kroppen) kan blive op til 8 mm i diameter. Fin mudderslangestjerne sidder nedgravet i mudderbunden med de fleste

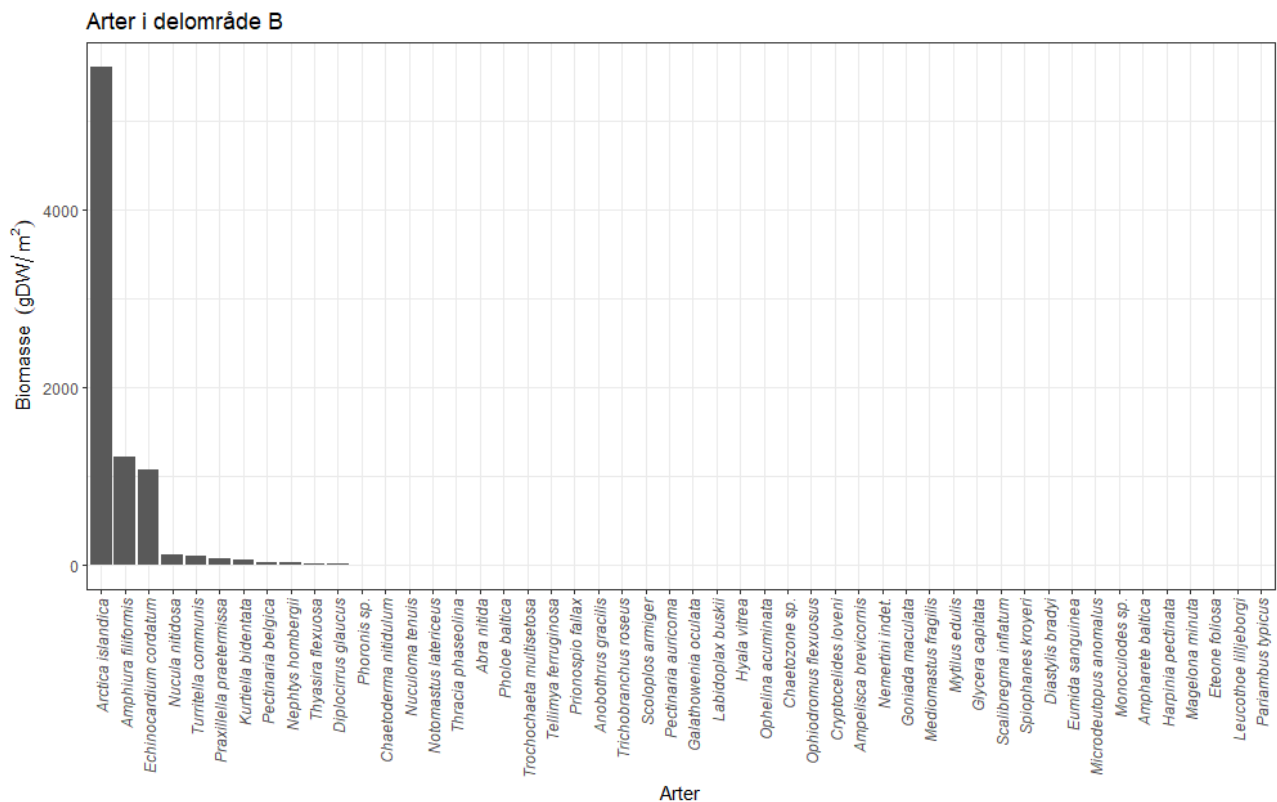
<i>Amphiura filiformis</i>		arme stikkende op i vandet, hvor partikler kan fanges af de slimklædte sugefødder. Udbredelse er Nordsøen til nordlige Bælthav og Øresund, hvor de lever fra 10-40 m dybde (Køie & Kristiansen, 2014). Slangestjerner er vigtige fødeemner for fisk som torsk, kuller og ising dybde (Køie & Kristiansen, 2014).
Mysella-musling <i>Kurtiella bidentata</i>	Bivalvia	Muslingeart der forekommer i indre danske farvande, inkl. Nordsøen og Øresund, som lever mudret sand eller fin grus (Carter, 2008). Kan blive op til 3-4 mm. Findes især i sediment omkring fin mudderslangestjernes kanaler. Kan dog også findes på bund uden fin mudderslangestjerne (Køie, Muslinger - fra Havbundens dyr i Naturen i Danmark - Havet, 2006).
Hestesko-orm <i>Phoronis sp.</i>	Phoronida	Lever på hårdt substrat eller i blødt sediment, og har global geografisk udbredelse, og er almindelig forekommende i Øresund (Miljøstyrelsen, u.d.). Arten er filterføder og lever i et rør der er placeret i sedimentet (Emig, 1982).

*Har ikke noget dansk navn

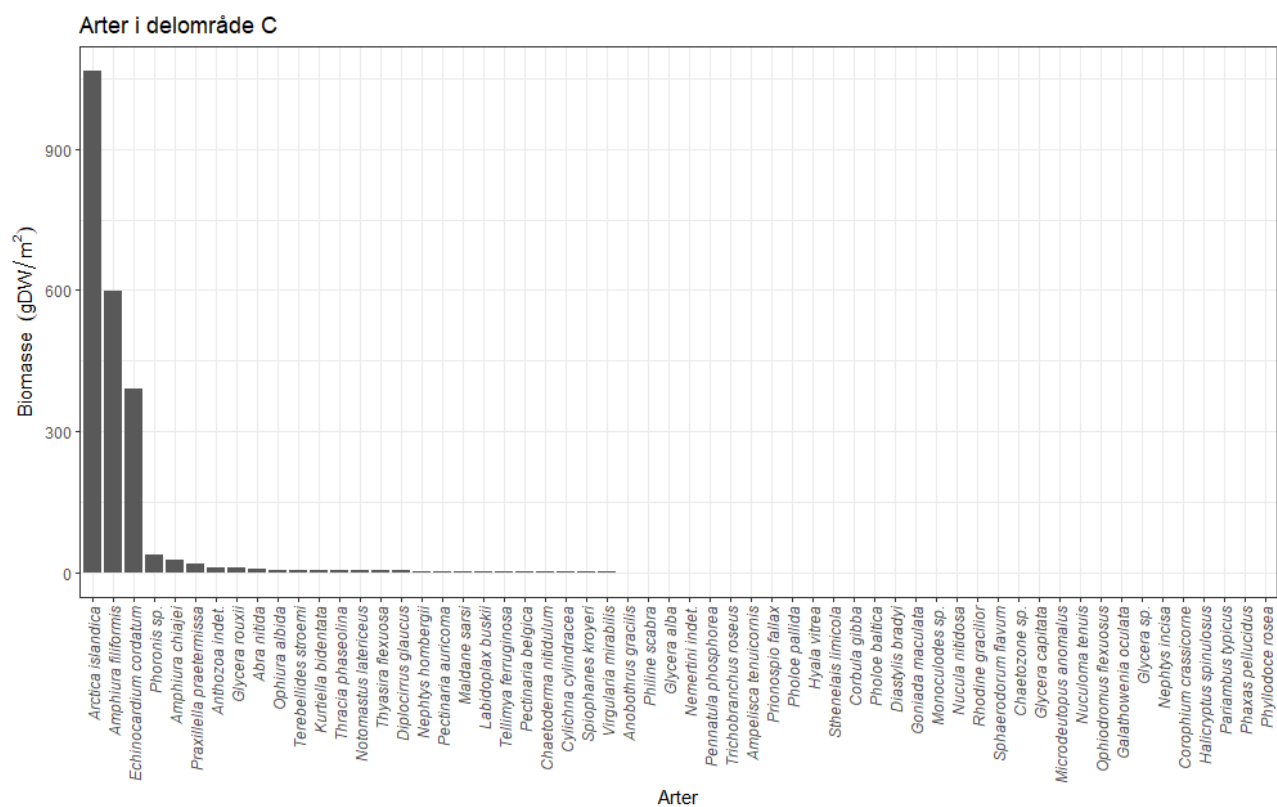
Som det fremgår af Figur 6-29-Figur 6-32, er *Arctica islandica* den dominerende art ift. biomasse i delområderne A, B og C. Arten blev ikke fundet i delområde D. Disse muslinger er relativt store, og selv et enkelt individ medfører en høj biomasse. I delområde B og D var biomassen, foruden *Arctica islandica*, domineret af *Amphiura filiformis* og *Echinocardium cordatum* (Figur 6-30 og Figur 6-31). Foruden *Arctica islandica*, var biomassen i delområde A domineret af *Pectinaria koreni* og *Spisula subtruncata* (Figur 6-29). Biomassen i delområde D var domineret af *Amphiura filiformis* og *Phoronis sp.* (Figur 6-32).



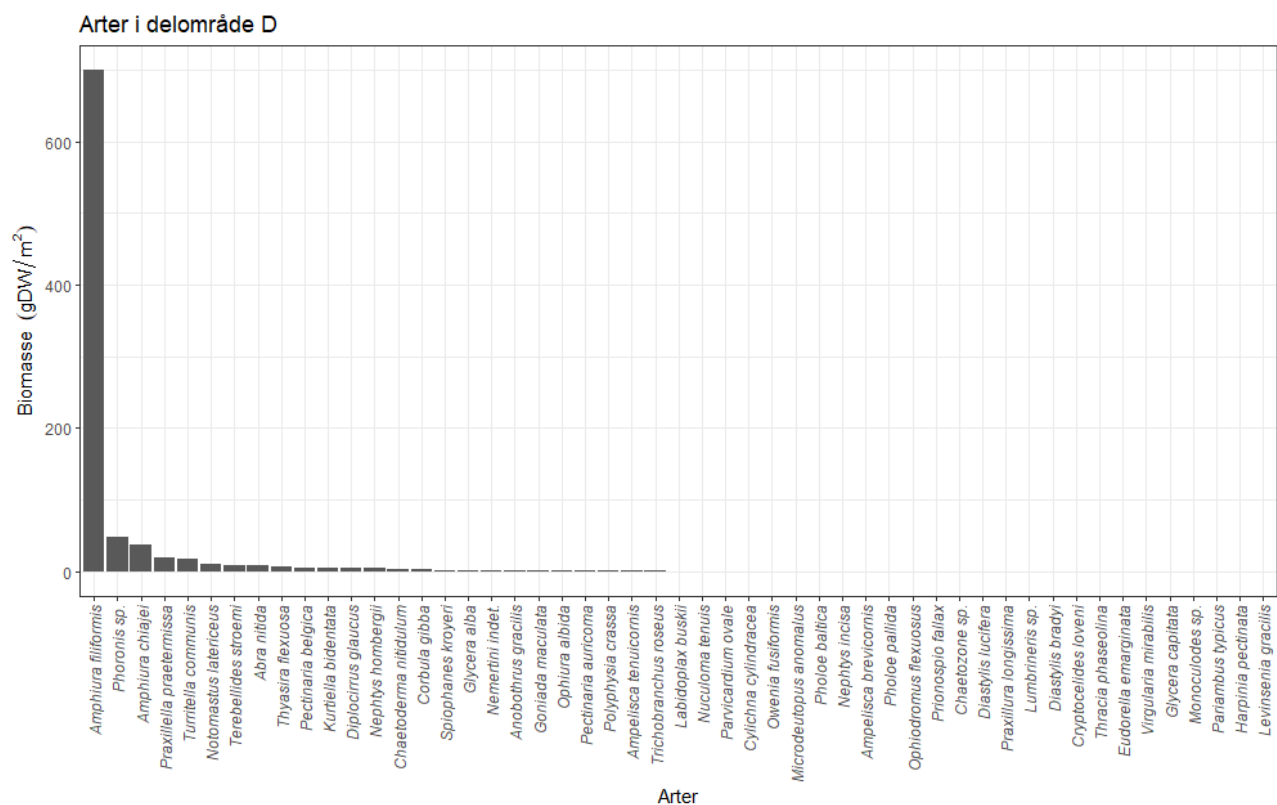
Figur 6-29. Biomassen (g tørvægt/m²) af arter til stede i delområde A.



Figur 6-30. Biomassen (g tørvægt/m²) af arter til stede i delområde B.



Figur 6-31. Biomassen (g tørvægt/m²) af arter til stede i delområde C.



Figur 6-32. Biomassen (g tørvægt/m²) af arter til stede i delområde D.

OPSUMMERING AF RESULTATER – ARTSANTAL, TÆTHEDER, BIOMASSE

Det højeste artsantal blev fundet ude i de dybere områder (delområder C og D, 25-30 m dybt), mens det laveste artsantal blev fundet i delområde A, hvor der kun var 10-15 m dybt.

I delområde A dominerede havbørsteorme (Polychaeta, 64 %) tæthederne af infauna, hvorimod biomassen var klart domineret af muslinger (92 %). I delområde B dominerede muslinger (Bivalvia, 42 %) ift. tætheder, mens biomassen var domineret af muslinger (69 %). I område C og D var tætheden af infauna domineret af slangestjerner (Ophiuroidea, hhv. 43 % og 42 %). Biomassen i delområde C var domineret af muslinger (48 %), men dette skyldtes en enkelt molboesters (*Arctica islandica*) der var i en af prøverne, og slangestjerner havde den næsthøjeste biomasse (28 % af totalen), og var sammenlignelig med biomassen af slangestjerner i delområde D, som udgjorde 82 % af den samlede biomasse.

6.4.2 DIVERSITETS- OG MILJØKVALITETSIDEKSE

På baggrund af det indsamlede infauna-data er det blevet undersøgt, hvordan artsdiversiteten og miljøkvaliteten er i området, ved henholdsvis Shannon-Wieners diversitetsindeks og AMBI-indekset. Shannon-Wiener diversitetsindekset kvantificerer diversiteten af arter inden for et givent område, og kan bruges til at undersøge om infauna-samfundet er mere forskelligt inden for et givent område end et andet. AMBI-indekset siger noget om, hvordan miljøkvaliteten er inden for et givent område, samt hvor følsomme og tolerante arterne i et givent område er.

Kombinationen af AMBI-indekset og Shannon-Wiener diversitetsindeks (H') kan anvendes til at beskrive tilstanden af miljømæssige forhold og vurdere, om infaunasamfundet påvirkes negativt af eutrofiering og iltsvind. En lav værdi af AMBI og en høj værdi af H' indikerer gode miljømæssige forhold, og omvendt.

SHANNON-WIENER DIVERSITETSIDEKSE (H')

Det gennemsnitligt Shannon-Wiener diversitetsindeks (H') i de fire delområder spændte fra 1,83 til 2,07, med det laveste i delområde B og højest i delområde D (Tabel 6-7).

Tabel 6-7. Gennemsnitligt Shannon-Wiener diversitetsindeks (H') $\pm$ standardafvigelse (SD) samt min/maks værdier (i parentes) for de forskellige delområder for projektområdet for Øresundskablet.

Delområde	H'
A	1.86 $\pm$ 0.33 (1,24-2,45)
B	1.83 $\pm$ 0.24 (1,43-2,53)
C	1.97 $\pm$ 0.31 (1,21-2,45)
D	2,07 $\pm$ 0.25 (1,62-2,48)

Shannon-Wiener værdien er for alle de fire delområder moderat og indenfor det spænd, som oftest ses i danske farvande (0,2-3,1 - med et gennemsnit på 1,8) (Hansen & Høgslund, 2023). I samfund med en lav Shannon-Wiener-værdi betyder det at få arter dominerer individantallet, hvorimod samfund med en høj værdi indeholder arter med forholdsvis ens tætheder.

AMBI-INDEKS

AMBI-indekset for delområde A, B, C og D var hhv. 2,50, 2,13, 1,71 og 1,74, og tilstanden af infauna-samfundene i alle delområderne karakteriseres som "i ubalance" og lokaliteterne, hvor prøverne er indsamlet som "let forstyrret" (Tabel 5-1, Tabel 6-8). AMBI-værdierne for de fire delområder ligger under gennemsnittet for danske marine områder i henhold til den nyeste NOVANA-rapportering (gennemsnitlig AMBI på 2,9 - spænder fra 1,3-5,2) (Hansen & Høgslund, 2023).

I delområde A og B var det enten faunagrupper GIII (arter, der er tolerante overfor massiv organisk berigelse) der dominerede (udgjorde hhv. 57,8 og 44,3%), mens faunagrupper GII (arter der er upåvirkelig over for næringsstofberigelse) dominerede i delområde C og D (udgjorde hhv. 59,6% og 55,5%). Faunagruppe GIII i delområde A var dominerende arter tilhørende havbørsteormene *Scoloplos armiger* og *Pygospio elegans* samt slimbændler (Nermertini). I delområde B, C og D var de dominerende arter tilhørende faunagruppe GIII Mysella-musling *Kurtiella bidentata* og havbørsteormen *Praxillella praeterrissa*). Af arter i faunagruppe GII, var fin mudderslangestjerne *Amphiura filiformis* og hesteskoorm *Phoronis* sp. de dominerende arter i delområde B, C og D, og hesteskoorm *Phoronis* sp., hvorimod havbørsteormen *Nephtys caeca* dominerede i delområde A. Faunagruppe GI (arter der er meget følsomme overfor organiske betingelser som er til stede under ikke-forurenede forhold), var også til stede i alle fire delområder, og udgjorde 13,9-15,9% af infaunasamfundene i delområderne. I delområde A dominerede dværghømus *Echinocyamus pusillus*. I delområderne B, C og D var havbørsteormene *Diplocirrus glaucus* og *Pholoe baltica*, tangloppearten *Ampelisca tenuicornis* (sidstnævnte dog kun fåtallige i delområde B) blandt de dominerende arter. I delområde B var der også høje antal af almindelig nøddemusling *Nucula nitidosa*, som ikke var til stede i delområde D og kun et enkelt individ var i prøverne fra delområde C. Andelen af GIV (hurtigvoksende arter der tilpasser sig organisk berigelse) var generel lav (3,2-9,7%) i de fire delområder, hvor havbørsteormearten *Pectinaria koreni* (dansk navn: lige kambørsteorm) dominerede i delområde A, og havbørsteormene *Prionospio fallax* og *Chaetozone* sp. dominerede i delområde B, C og D. Faunagruppe GV (hurtigvoksende arter der tilpasser sig organisk berigelse og belastede forhold) forekom kun i delområde A, og bestod kun af arten slamrørsorm (*Tubificoides benedii*), som udgjorde 1,3% af den samlede infauna.

Tabel 6-8. Resultater fra AMBI-indeksanalysen ved brug af (Borja et. al., 2000). Andelen af de forskellige faunagrupper (I-V) er angivet sammen med AMBI-indeks og klassifikation.

Delområde	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)	V (%)	AMBI	Forstyrrelses-klassifikation (samfund/lokalitet)
A	14,5	16,7	57,8	9,7	1,3	2,50	Ubalance/let forstyrret
B	13,9	35,9	44,3	5,8	0	2,13	Ubalance/let forstyrret
C	15,2	59,6	21,1	4,1	0	1,71	Ubalance/let forstyrret
D	15,9	55,5	25,4	3,2	0	1,74	Ubalance/let forstyrret

OPSUMMERING AF RESULTATER – INDEKSER

Shannon-Wieners diversitetsindeks indikerer om der er en høj artdiversitet i et givent område. For alle fire undersøgte delområder, lå Shannon-Wieners diversitetsindeks inden for det spænd man finder i danske marine områder, og generelt lidt højere end gennemsnittet (Hansen & Høgslund, 2023). Den højeste artdiversitet var ude på de dybere delområder (C og D), sammenlignet med de lavere delområder (A og B).

AMBI-indekset klassificerede infaunasamfundene i alle delområderne som "i ubalance" og lokaliteterne hvor prøverne er indsamlet som "let forstyrret". AMBI-værdierne i delområderne spændte fra 1,71 til 2,50, og var lavere end den gennemsnitlige AMBI-værdi for danske marine områder (2,9). Faunagruppe GII, som er arter der er indifferente over for næringsstofberigelse, dominerede i delområde C og D (udgjorde hhv. 59,6% og 55,5%), men var også til stede i delområde A og B (udgjorde hhv. 16,7% og 35,9%). Faunagruppe GIII, som er arter der er tolerante overfor massiv organisk berigelse, dominerede i delområde A og B (udgjorde hhv. 57,8 og 44,3%). Faunagruppe GI, som er arter der er meget følsomme overfor organiske betingelser og som er til stede under ikke-forurenede forhold, udgjorde en større %-del af infauna-samfundet for alle fire delområder (13,9-15,9%) end faunagruppe GIV (3,2-9,7%), som er opportunistiske arter, der er hurtigvoksende og tilpasser sig organisk berigelse. Tilstedeværelsen af faunagruppe GI kunne indikere, at der ikke er høj eutrofiering i området. Kun i delområde A blev der fundet tilstedeværelse af faunagruppe GV (1,3%), som er arter der er hurtigvoksende og tilpasser sig organisk berigelse og belastede forhold, fx lavt iltindhold.

Sammenholder man Shannon-Wiener diversitetsindekset med AMBI-værdien kan det konkluderes, at artsdiversiteten i området er sammenligneligt med den gennemsnitlige artdiversitet man finder i danske marine områder, og det samme gør sig gældende i forhold til AMBI-indekset, dvs. at klassificering af miljøkvaliteten af både infaunasamfund og lokaliteterne er sammenlignelig med den gennemsnitlige miljøkvalitet, der er i danske marine områder.

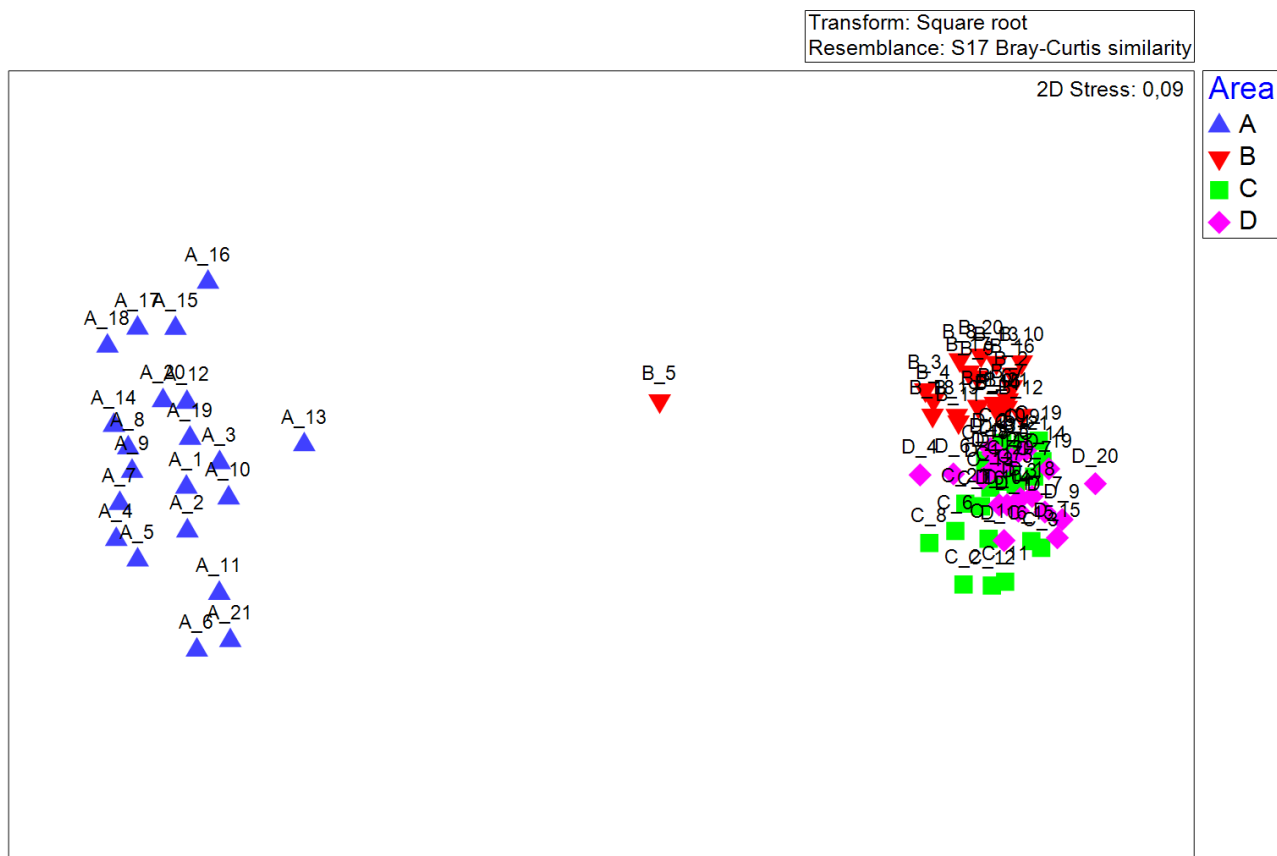
6.4.3 ARTER FORDELT I FORHOLD TIL DELOMRÅDE, SUBSTRATTYPER OG DYBDER

Multivariate statistiske analyser kan bruges til at undersøge ligheder og forskelle i arts sammensætning og – tætheder af infauna inden for samme delområde samt mellem de forskellige delområder i forhold til substrattyper og dybder (se f.eks. Figur 6-34 og Figur 6-35). Bray-Curtis-similaritetsindeks anvender rangorden og vises på MDS-plot (multi-dimensionel skalering) og kan bruges til at identificere adskilte grupperinger.

Der blev indsamlet 21 infaunaprøver fra hvert delområde (A, B, C og D), hvor delområde A ligger tættest på den danske kyst og D længst væk (se Figur 6-15). Substrattyperne for de forskellige delområder er tildelt baseret på tolkning af Side scan Sonar data og ROV-data.

DELOMRÅDER

Figur 6-33 viser plottet for alle prøver indsamlet i projektområdet for den danske del af Øresundskablet, og farvekoden illustrerer i, hvilket delområde haps-prøven er taget. Det ses, at der er en tydelig gruppering af infaunasamfundene i delområde A fra delområderne B, C og D, men at infaunaen i delområde B også er grupperet, mens infaunasamfundet i delområderne C og D overlapper (Figur 6-33).



Figur 6-33. MDS-plottet illustrerer forskelle og ligheder mellem prøverne indsamlet for delområderne A, B, C og D i projektområdet for Øresundskablet. Bray-Curtis similaritetsindeks, som vises på MDS-plottet, er baseret på kvadratrodstransformerede data af de enkelte arters tilstedeværelse og tætheder i de enkelte prøver. To helt ens prøver vil i MDS-plottet placeres i samme position.

ANOSIM-analysen viste, at der var signifikant forskel mellem infauna-samfundene i de forskellige delområder ($P < 0,01$). R-værdien indikerede, at der var en høj grad af adskillelse mellem prøverne fra de forskellige delområder ($R = 0,639$), og især R-værdien mellem delområde A og hver af de andre delområder var høj ($R > 0,99$). Graden af adskillelse var også relativt høj mellem B og D ($R = 0,697$), og moderat mellem B og C ($R = 0,586$), hvilket indikerer, at der er en gradvis ændring af infauna-samfundene, når man bevæger sig længere væk fra kysten. Graden af adskillelse i infauna-samfundet var signifikant ($P = 0,038$) mellem delområde C og D, men svag/ikke relevant ($R = 0,054$), hvilket betyder, at styrken af analysen er lav, og at resultatet derfor bør fortolkes med omhu. Dette indikerer, at der ikke er forskel i samfundene mellem delområderne C og D. En SIMPER-analyse viste, at graden af adskillelse af samfundene i de to delområder C og D var lav og den laveste på tværs af alle delområderne (47%, Tabel 6-9).

Tabel 6-9. Gennemsnitlig lighed (%) i infauna-samfundet inden for hvert delområde (røde felter) samt gennemsnitlig forskellighed (%) mellem delområder (hvide felter).

Delområde	A	B	C	D
A	42			
B	92	60		
C	94	57	50	
D	94	54	47	58

SIMPER-analysen viste, at der var størst forskel mellem infauna-samfundenes sammensætning og tætheder mellem delområde A og de tre andre delområder (92-94% forskellighed) (Tabel 6-9), hvor arterne i delområde A generelt var forskellig fra de arter der var til stede i de andre tre delområder. Mellem delområde A og B var tætheden af *Mysella*-musling (*Kurtiella bidentata*) ca. 23 gange højere i delområde B end i A, og fin mudderslangestjerne (*Amphiura filiformis*) var kun til stede i delområde B, hvor de forekom i lige så høje tætheder som *Kurtiella bidentata*. Begge disse arter forklarede hver 13% af forskelligheden mellem de to delområder. Der var forskel i antal og artssammensætning af havbørsteorme i de to delområder, hvor *Scoloplos armiger* forekom i fire gange højere tætheder i delområde A end i B, og *Pygospio elegans* og *Pectinaria koreni* var kun til stede i delområde A, mens *Pholoe baltica* og *Diplocirrus glaucus* var til stede i delområde B men ikke i A. Sammenligner man artssammensætningen i delområde A med både C og D, var det fin mudderslangestjernen *Amphiura filiformis* der forklarede den største forskel, da den kun var til stede i delområde C og D, og havbørsteormen *Scoloplos armiger* der kun var til stede i delområde A. *Mysella*-musling (*Kurtiella bidentata*) og hesteskoorm (*Phoronis* sp.) forekom i højere tætheder i delområde C og D sammenlignet med i A.

Forskellen i bunddyrsamfundet mellem delområde B, C og D skyldtes i høj grad forskelle i artstætheder, da mange af de samme arter forekom i alle tre delområder. Dog adskilte delområde B sig mere fra delområde C og D fx ved at arten almindelig nøddemusling (*Nucula nitidosa*) var til stede i delområde B, men ikke i D og forekom i lavere tæthed i delområde C. Derudover var det bl.a. forskelle i tætheden af muslingen *Kurtiella bidentata* og havbørsteormene *Prionospio fallax* og *Pholoe baltica*, som alle forekom i højere tætheder i delområde B end i C og D, og hesteskoorm (*Phoronis* sp.), der havde højere tætheder i delområde C og D end i B, der forklarede forskellen mellem delområderne.

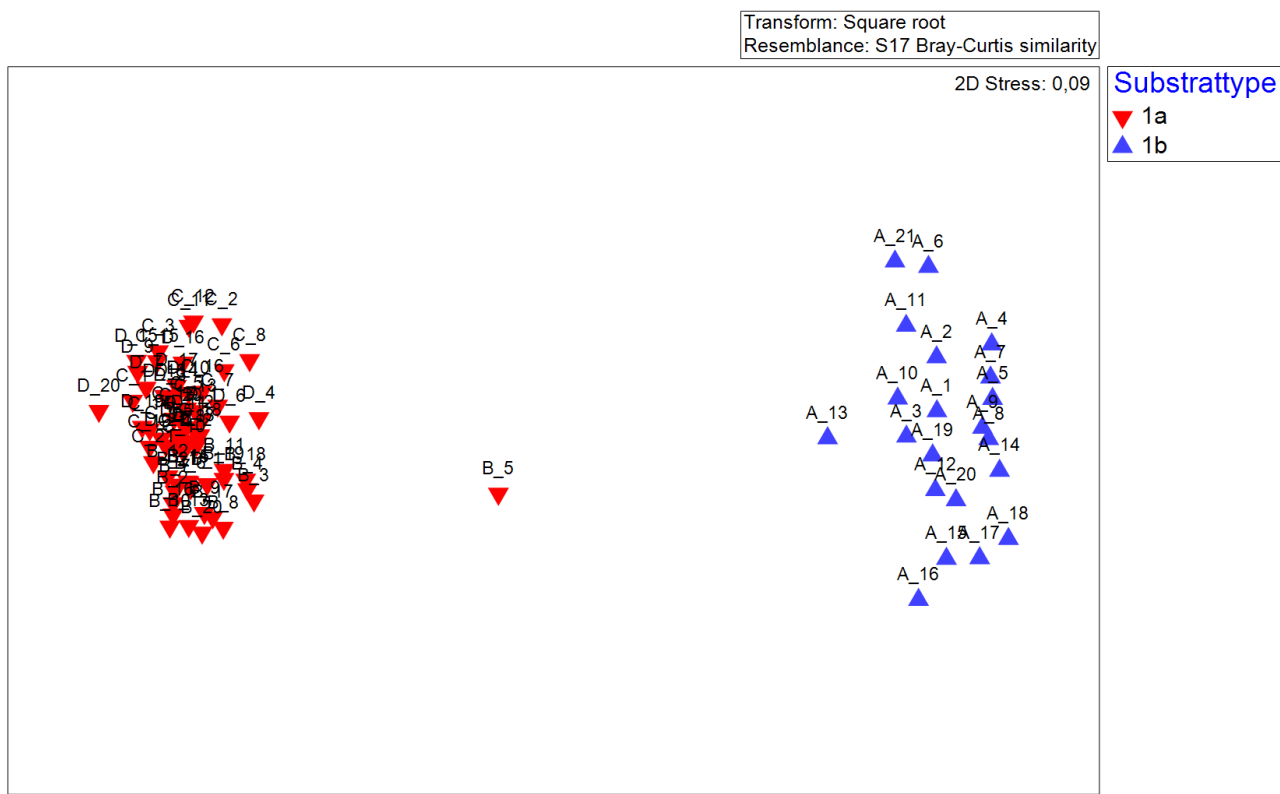
Der var størst lighed mellem prøverne i delområde D (58%) og mindst lighed mellem prøverne i delområde A (Tabel 6-9), hvilket også fremgår af MDS-plottet, hvor prøverne fra delområde A er spredt mere ud end prøverne i de tre andre delområder (Figur 6-33).

SUBSTRATTYPER

Da sammensætningen af infaunaarter i høj grad er afhængig af substrattypen, blev forskelle og ligheder mellem prøver indsamlet på hhv. substrattyperne 1a og 1b undersøgt vha. MDS-plot.

Infauna-samfundets sammensætning og tæthed i områder med forskellige substrattyper (type 1a: mudderbund og type 1b: sandbund) er tydeligt adskilt i MDS-plottet, hvor prøver fra delområde A tydeligt adskiller sig fra prøver indsamlet i delområderne B, C og D (Figur 6-34). Prøve B_5 er i MDS-plottet placeret midt imellem delområde A og de andre tre delområder. Ser man på artssammensætningen i prøve B_5, så er der op til flere arter, som ikke er til stede i denne prøve, men som er fundet i andre prøver fra delområde B. F.eks. blev der fundet høje tætheder af muslingearten *Kurtiella bidentata* i alle andre prøver i delområde B, på nær i prøve B_5. Derudover blev muslingearten *Nucula nitidosa* og havbørsteormen *Praxillella praeterrissa* fundet i de fleste prøver i delområde B, men ikke i B_5, og havbørsteormen *Pholoe baltica* var til stede i alle prøver fra delområde B, på nær i B_5. Prøve B_5 er den mest sydligt placerede prøve i delområde B, som ligger ved overgangen mellem delområde A og B (Figur 6-15).

En tilhørende statistisk test, i form af en ANOSIM-analyse viser, at der var signifikant forskel mellem samfundene på substrattype 1a og 1b ($P=0,01$). R-værdien indikerede, at der var en høj grad af adskillelse mellem prøverne fra substrattype 1a og 1b ($R=0,998$).



Figur 6-34. MDS-plottet illustrerer forskelle og ligheder mellem prøverne indsamlet for substrattyperne 1a og 1b. Bray-Curtis similaritetsindeks, som vises på MDS plottet, er baseret på kvadratrodstransformerede data af de enkelte arters tilstedeværelse og tæthed i de enkelte prøver. To helt ens prøver vil i MDS-plottet placeres i samme position.

SIMPER-analysen viser, at der mellem substrattype 1a og 1b var 93% forskel i infaunasamfundenes sammensætning og tætheder, mens der var 42% lighed inden for prøver fra substrattype 1b (delområde A) og 50% lighed mellem prøver på substrattype 1a (Tabel 6-10).

Tabel 6-10. Gennemsnitlig lighed (%) i infaunasamfundet inden for hver substrattype (røde felter) samt gennemsnitlig forskellighed (%) mellem substrattyper (hvide felter).

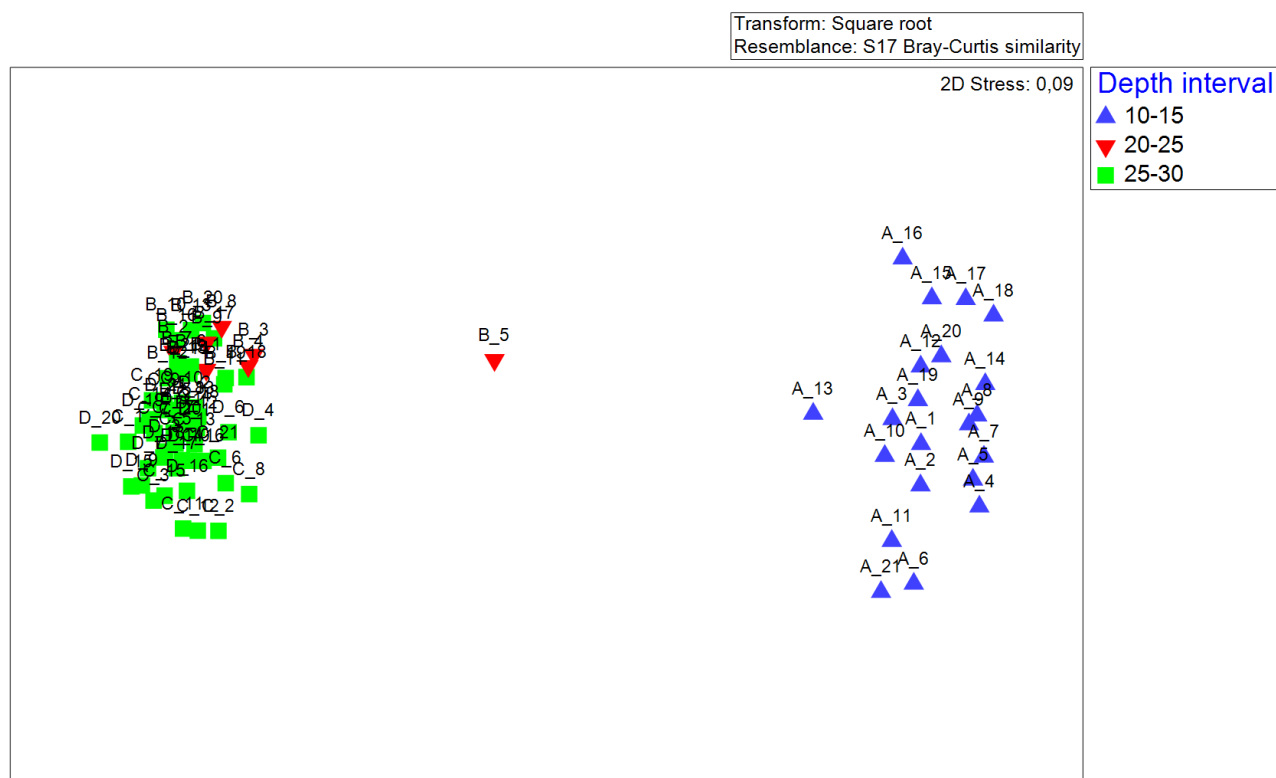
Substrattype	1a	1b
1a	50	
1b	93	42

Forskellen, der blev observeret i infaunasamfundene på substrattype 1a og 1b, skyldes både tæthedsforskelle af arter mellem substrattyperne, men også at nogle arter var til stede på den ene substrattype, men ikke den anden. De arter der primært bidrog til forskellen mellem delområde A (substrattype 1b) og de resterende delområder (substrattype 1a), var fin mudderslangestjerne (*Amphiura filiformis*), som ikke var til stede på substrattype 1b, men forekom i høje tætheder på substrattype 1a. Mysella-musling *Kurtiella bidentata* havde høje tætheder på substrattype 1a, men lave i substrattype 1b, og de to havbørsteormearter *Scoloplos armiger* og *Pygospio elegans* forekom i relativt høje tætheder på substrattype 1b, og forekom i hhv. lav tæthed og var ikke til stede på substrattype 1a.

Scoloplos armiger og nemertiner (orme; *Nemertini* indet.) forklarede samlet set 55% af den lighed der blev fundet i prøver på substrattype 1b, mens *Amphiura filiformis* og *Kurtiella bidentata* samlet set forklarede 48% af den lighed der blev fundet i prøver på substrattype 1a.

DYBDE

Det blev også undersøgt, hvordan sammensætning og tætheder af infaunasamfundene var i forskellige dybdeintervaller (10-15, 20-25 og 25-30 m) (Figur 6-35). Igen ses en tydelig gruppering af prøver fra delområde A i forhold til de tre andre delområder (prøvenumre er angivet i MDS-plottet). Alle prøver i delområde A ligger i 10-15 m dybde, hvorimod alle prøver i delområderne B, C og D ligger >20 m dybde og kun syv prøver ligger på 20-25 m dybde (herunder prøve B_5, samt B_1-4 og B_8-9).



Figur 6-35. MDS-plottet illustrerer forskelle og ligheder mellem prøverne indsamlet for de forskellige dybdeintervaller (10-15, 20-25 og 25-30 m) i delområderne A, B, C og D. Der var ingen prøver i dybdeintervallet 15-20 m. Bray-Curtis similaritetsindeks, som vises på MDS-plottet, er baseret på kvadratrodstransformerede data af de enkelte arters tilstedeværelse og tætheder i de enkelte prøver. To helt ens prøver vil i MDS-plottet placeres i samme position.

ANOSIM-analysen viser at der var signifikant forskel mellem infaunasamfundene i de tre forskellige dybdeintervaller ($P < 0,01$) med en høj grad af adskillelse ($R = 0,831$). Mellem dybdeintervallerne 10-15 og 20-25 m, samt mellem 10-15 og 25-30 m var graden af adskillelse høj ($R > 0,98$), mens graden af adskillelse var lav mellem 20-25 og 25-30 m ($R = 0,318$). Dette fremgik også af SIMPER-analysen der viste, at der var en gennemsnitlig forskellighed på 89% og 94% mellem infaunasamfundene der lever på 10-15 m dybde, sammenlignet med hhv. 20-25 og 25-30 m dybde, mens der kun var en forskel på 55% i infaunasamfundet der lever på 20-25 og 25-30 m dybde (Tabel 6-11). Alle prøver fra delområde A ligger på 10-15 m dybde, mens en tredjedel af prøverne fra delområde B ligger på 20-25 m dybde og resten på 25-30 m, og alle prøver i delområde C og D ligger på 25-30 m dybde. Dette understøtter resultaterne ovenfor, som finder, at infaunasamfundet i delområde A adskiller sig markant fra de andre, og at infaunasamfundet i delområde B er lidt forskelligt fra C og D, hvorimod de to sidstnævnte har relativt ens infaunasamfund.

Tabel 6-11. Gennemsnitlig lighed (%) i infaunasamfundet inden for hvert dybdeinterval (10-15, 20-25 og 25-30 m) (røde felter) samt gennemsnitlig forskellighed (%) mellem dybdeintervaller (hvide felter).

Dybdeinterval (m)	10-15	20-25	25-30
10-15	42		
20-25	89	54	
25-30	94	55	51

Ser man på grupperingerne af infaunasamfundene i Figur 6-34, Figur 6-33 og Figur 6-35 kan man konkludere, at både substrattype og dybde kan have en indvirkning på artsammensætningen og tætheder. For delområde A er det svært at adskille om det er dybden eller substrattypen (måske i samspil) der er den forklarende faktor for artsammensætning og tætheder af infaunasamfundet. Ser man på Figur 6-33 og Figur 6-35 kan man se, at der er nogle prøver i delområde B, som ligger lavere end de resterende prøver i delområderne B, C og D, hvilket kunne medføre en anden artsammensætning og -tæthed. Delområde B ligger placeret mellem A og de dybere delområder C og D, og i Figur 6-33 kan man se, at infaunasamfundet i delområde B adskiller sig fra infaunasamfundet i delområde C og D.

OPSUMMERING AF RESULTATER – MULTIVARIATE ANALYSER

Delområde A adskilte sig fra de tre andre delområder ved både at være mere lavvandet (10-15 m) samt at have substrattype 1b (grovere sediment), hvorimod de tre andre delområder havde substrattype 1a (finere sediment) og havde dybder på 20-30 m. Områder tæt på kysten er ofte dynamisk forstyrret (fx pga. bølge- og strømpåvirkninger), hvilket betyder, at området vil være domineret af grovere sediment, da finere sediment nemmere kan flyttes af strømmen. Delområde A var domineret af havbørsteormearterne *Scoloplos armiger* og *Pygospio elegans*, hvilket begge typisk findes i Øresund på dybder mellem 2-20 meter (Göransson, Hansen, Larsen, & Bjerre, 2002). Dybere og mindre dynamiske områder (delområde B, C og D; >20 m dybde) var domineret af finere sediment, og i Øresund domineres dybere områder (20 meters dybde og nedefter) typisk af fin mudderslangestjerne (*Amphiura filiformis*), og kaldes for *Amphiura*-samfund (Göransson, Hansen, Larsen, & Bjerre, 2002), hvilket også er tilfældet i den danske del af projektområdet for Øresundskablet.

Artssammensætning samt tætheder af infaunasamfundet i delområde A adskilte sig markant fra infaunasamfundet i delområde B, C og D, og resultaterne fra de multivariate analyser indikerer, at både substrattype (afledt af de dynamiske forhold) og dybde kan have en indvirkning på artsammensætningen og tæthederne af infaunasamfundene.

6.5 SEDIMENTKEMI OG KORNSTØRRELSE

6.5.1 KORNSTØRRELSE OG GLØDETAB

Analyse af kornstørrelse og glødetab er foretaget på tre blandingsprøver (prøve A, Prøve B og Prøve C), som består af én eller flere haps prøver, dette er beskrevet i afsnit 5.2.2. På Figur 5-4 ses lokationerne af haps prøverne fordelt i projektområdet anvendt til analyse af sedimentkemi, kornstørrelse og glødetab. Prøverne har prefix SED. I nedenstående Tabel 6-12 er der en beskrivelse haps prøverne brugt til kornstørrelse og glødetabs analysen.

Tabel 6-12. Hapsprøve beskrivelse og lokationer

Prøve ID	Dybde i m	Sedimentbeskrivelse	Position Ø	Position N
SED_01	4,0	Sand, fine to medium grained	12,29224	56,05713
SED_02	6,0	100 % fine sand	12,28805	56,05780
SED_03	11,0	100 % sand, medium sized	12,29008	56,05897
SED_04	10,0	Fine to medium sized sand.	12,29208	56,05782
SED_05	11,0	Fine gray sand	12,29258	56,06037
SED_06	17,5	Fine silty sand	12,29742	56,06099
SED_07	9,5	Fine to medium sized sand	12,29780	56,05866
SED_08	12,5	No sample due to guidelines from Energinet.		
SED_09	27,5	Silt, fine sand, some clay	12,30070	56,06415
SED_10	26,0	Silty/fine sand	12,31025	56,06743

Tabel 6-13 indeholder information om de tre blandingsprøver, inklusiv hvilke enkelte hapsprøver de indeholder og hvilket dybdeinterval de er taget i. Tabellen dækker resultaterne af tørstof, glødetab, d50 og silt og ler fraktionen. Tørstof er bestemt som % af vådvægten af prøven. Glødetab bestemmer det organiske indhold, samt kemisk bundet vand i lerminerale. d50 er middelkornstørrelsen for prøverne.

Resultaterne viste, at indholdet af tørstof var størst ved lavest vanddybde (prøve C) og faldende ved større vanddybder (prøve A). Glødetabet var størst på dybere vand og faldende med lavere vanddybder. Dette er i overensstemmelse med at det organiske indhold og silt- og lerindholdet er størst for prøve A og mindst for prøve C (Tabel 6-13)

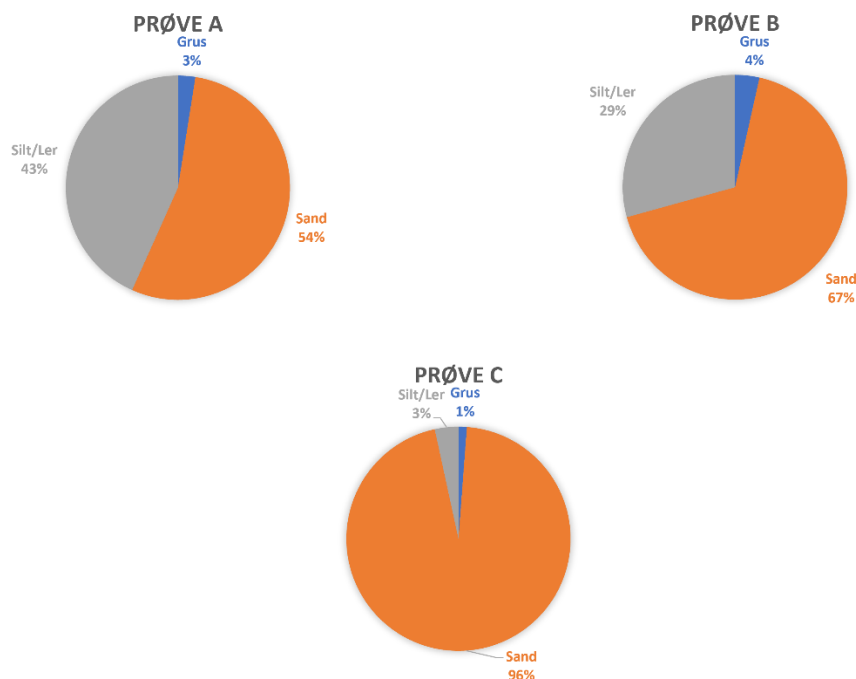
Tabel 6-13. Resultater vedrørende kornstørrelsesanalyse.

Prøve ID	Sediment prøve ID	Dybde interval [m]	Tørstof [%]	Glødetab [% af TS]	d50 [mm]	Silt & Ler fraktion [%]
Prøve A	SED_10	27,10	64,8	3,5	0,08	43,3
Prøve B	SED_06 & SED_09	17,60-29,2	73,8	2,2	0,10	29,3
Prøve C	SED_01-SED_05 & SED_07	5,60-11,6	81,1	0,5	0,16	3,4

Kornstørrelsesfordelingen er baseret på GEOs Bulletin no. 5 (Geoteknisk Institut, 1959), som siger, at jordfraktionerne er opdelt således:

- Sten og blokke > 20 mm
- Grusfraktion 20-2,0 mm
- Sand fraktion 2,0-0,06 mm
- Siltfraktion 0,06 – 0,002 mm
- Lerfraktion < 0,002 mm

Nærværende kornstørrelsesanalyser klassificerer skellet mellem sandfraktionen og siltfraktionen ved 0,063 mm. Der er ikke lavet test til at skelne silt og ler fraktionerne, så her er de noteret sammen som silt/ler fraktion. Figur 6-36 viser kornstørrelsesfordelingen for prøve A, B og C.



Figur 6-36. Kornstørrelse fordelingen for prøve A, B, og C.

Kornstørrelsesanalysen viste, at sandfraktionen var dominerende tættest på kysten (prøve C) med 96% sand og faldende med stigende afstand fra kysten med 54% sand i prøve A. Ligeledes er silt og ler fraktionen størst længst væk fra Kysten (prøve A) med ca. 43% silt/ler, mens siltindholdet i prøve C kun er 3%. For alle tre prøver er grusindholdet omkring 1-4% (Figur 6-36).

Prøve A var placeret i substrattype 1a på ca. 27 m vanddybde. Resultaterne fra kornstørrelsesanalysen svarer til substrattypen, som er et mere siltet/blødt sediment, hvor der ikke forekommer meget sediment transport. Dette korrelerer med forholdene på dybere vand. Billedet af hapsprøven (SED_10) ligner, at sedimentet indeholder meget silt og bekræfter dermed sedimenttypen (Figur 6-37a).

Prøve B er placeret på substrattype 1a for prøve SED_09 og på substrattype 1b for prøve SED_06. Disse to prøver ligger dermed på to forskellige substrattyper, som kan ses på kornstørrelsesanalysen, der viser et mere sandet sediment og mindre siltet sediment i forhold til prøve A. Substrattype 1b er en mere sandet type domineret af mere sedimenttransport og derfor vil analysen for prøve B også samlet set vise et mere sandet miljø. Vanddybderne for de to prøver stemmer også overens med dette, idet SED_09 og SED_06 ligger på en vanddybde på hhv. 29,2m og 17,6m. Dette bekræfter, at de to prøver forventeligt indeholde forskellige kornstørrelser. På haps prøve billeder ligner det, at SED_09 indeholder mere silt end SED_06 (se Figur 6-37b,c), men de begge indeholder skaller.

Prøve C er placeret på substrattype 1b, som beskrevet ovenfor er et sandet sediment, hvor der er sedimenttransport med lokale bølgeribber på havbunden. Kornstørrelsesanalysen bekræfter dette, idet der er 96% sand i prøven. Dybdeintervallet, hvor de seks hapsprøver er taget, er 5,60-11,6m og viser sandbankestrukturer, som også bekræfter substrattypetilstandene. På Figur 6-37d ses et foto af sedimentprøve SED_04, som er en del af blandingsprøve C, som viser et sandet sediment med marine skaller.

Kornkurverne for de tre prøver viser, at Prøve C, der har en d_{60}/d_{10} forhold på 2,09, som indikere et velsorteret sediment. Kurvene for prøve A og prøve B har ikke data efter hhv. 43,3% og 29,3%, da dette er grænsen mellem sandfraktionen og silt/ler fraktionen, hvorved kornstørrelsesfordelingen for de finere fraktioner er ukendt. Det kan dog antages, at ud fra det høje niveau af fint materiale, at sedimentet er mere

velgraderet, som betyder, at der er en jævn fordeling af partikler i forskellige størrelser. Prøve A er mere velgraderet end Prøve B. For flere detaljer om kornkurvene henvises til Bilag 5a-5d.



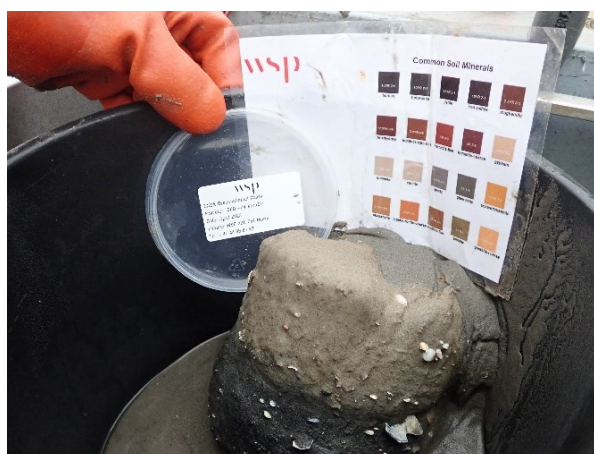
a) Foto af sedimentprøve SED_10 i blandingsprøve A.



b) Foto af sedimentprøve SED_09 i blandingsprøve B.



c) Foto af sedimentprøve SED_06 i blandingsprøve B.



d) Foto af sedimentprøve SED_04 i blandingsprøve C.

Figur 6-37. Fotoeksempler af de indsamlede sedimentprøver til analyse af kornstørrelse og sedimentkemi.

6.5.2 MILJØFARLIGE FORURENENDE STOFFER

Herunder foretages en redegørelse for tilstedeværelsen af miljøfarlige forurenende stoffer (MFS) i projektområdet baseret på indsamlet data i forbindelse med haps feltprogrammet. Det vurderes om de analyserede MFS værdier for de indsamlede hapsprøver overskrider forskellige anvendte grænseværdier, som er prioriteret i rækkefølgen: SK-krav, EQS, SK-kriterier, EAC, ERL og nedre aktionsniveau (se detaljer og hvordan grænseværdierne er prioriteret i afsnit 5.2.3. Koncentrationer af MFS vurderes derfor kun ud fra den højest prioriterede grænseværdi, der findes for det specifikke stof. I det følgende behandles de lovpligtige kvalitetskrav (SK-krav og EQS) og de ikke-lovpligtige vurderingskriterier (SK-kriterier, ERL og Nedre aktionsniveau) separat, idet de ikke-lovpligtige vurderingskriterier, som navnet antyder, ikke er et lovkrav, men er medtaget som vejledende parametre.

Relevansanalyse

Menneskeskabte kemikalier og tungmetaller føres ind i det marine miljø fra mange forskellige kilder, herunder via overløb, rensningsanlæg, udvaskning fra husholdningsmaterialer og renovation samt atmosfærisk deposition fra industrielle udledninger m.fl. Når først de miljøfarlige forurenende stoffer ender i havmiljøet, kan

de forårsage mange forskellige negative følgevirkninger på økosystemet og de dyr og planter, som lever der (HELCOM, 2018).

For at vurdere hvilke miljøfarlige forurenende stoffer (MFS) der er relevante at inddrage i en vurdering af påvirkningen fra nærværende projekt, ses der på, hvilke eksisterende påvirkninger med MFS, der er i umiddelbar nærhed af projektet, samt hvilke MFS, som medfører ikke-god økologisk/kemisk tilstand. Kilderne fremgår for hver enkelt gruppe af MFS i Tabel 6-14.

I umiddelbar nærhed af projektområdet er der kortlagt følgende mulige påvirkninger: et udløb fra renseanlæg, en lystbådehavn og en klapplads (Hornbæk Klapplads).

Spildevand fra renseanlæg kan give anledning til øget forekomst af nonylphenoler og phthalater, da spildevand er en kendt kilde hertil. Nonylphenoler er et nedbrydningsprodukt af nonylphenoethoxylater, som bruges som hjælpestoffer ved en række industrielle fremstillingsprocesser, f.eks. fremstilling af tekstiler (Miljøstyrelsen, 2012). Derudover er nonylphenoler på EU's liste over prioriterede stoffer og overskrider grænseværdien i mere end 10% af de danske marine områder, med størst hyppighed i kystnære marine områder (Boutrup, et al., 2021). Phthalater anvendes som blødgørere i blandet andet plastik, gummi og maling og findes derfor i en lang række forbrugerprodukter, og er på grund af deres brede anvendelse udbredt i miljøet (ECHA, 2024). Phthalater er på EU's liste over prioriterede stoffer og er fundet i 50-100% af de undersøgte sedimentprøver fra kystnære marine områder, med større hyppighed end i sediment fra vandløb og søer (Boutrup, et al., 2021). Ligeledes kan spildevand også være kilde til forurening af metaller og PAH'er, hvor sidstnævnte også udledes via forbrænding og oliespild. Derudover kan der muligvis frigives forurenende stoffer fra den nærliggende klapplads, herunder metaller og PAH'er, afhængig af forureningsgraden af det klappede materiale.

Påvirkningen med MFS fra de eksisterende kilder vurderes at være begrænset. Alle aktiviteterne foregår så vidt vides lovligt og i overensstemmelse med gældende tilladelser. De eksisterende påvirkningskilder er fundet på baggrund af data fra miljøGIS for offentliggørelse af vandområdeplaner 2021-2027 (MiljøGIS for offentliggørelse af vandområdeplaner 2021-27, 2024).

På baggrund af de identificerede kilder i nærheden af projektområdet (Tabel 6-14), samt på basis af den registrerede miljøtilstand for miljøfarlige forurenede stoffer i de to relevante vandområder (økologisk og kemisk tilstand), udvælges hvilke stoffer, der analyseres i sedimentet i projektområdet. Disse fremgår sammen med analyseresultaterne i Tabel 6-16.

Tabel 6-14. Oversigt over udvalgte miljøfarlige forurenende stoffer (MFS), der vurderes relevante i forbindelse med nærværende projekt, baseret på nærliggende eksisterende påvirkninger, samt hvilke stoffer, der giver anledningen til ikke-god kemisk tilstand (MiljøGIS for offentliggørelse af vandområdeplaner 2021-27, 2024).

UDVALGT MFS	KILDER
Metaller	Lystbådehavn, spildevand, atmosfærisk deposition, EU prioriterede stoffer, anledning til ikke-god kemisk tilstand
PAH-forbindelser	Spildevand, atmosfærisk deposition, oliespild, EU prioriterede stoffer
Nonylphenoler	Spildevand, EU prioriterede stoffer, anledning til ikke-god kemisk tilstand
Phthalater	Spildevand, atmosfærisk deposition, EU prioriterede stoffer

I sediment kan der helt naturligt være et vist indhold af miljøfarlige metaller. Dette gælder især for finkornede sedimenter, hvor det naturlige metalindhold stammer fra det geologiske materiale. I sandede sedimenter er der stort set ikke naturlig forekomst af miljøfarlige metaller. Det finkornede materiale, specielt ler, har en meget større overflade end sand (da de enkelte partikler er mindre) og herudover netto negativ ladning, der tiltrækker opløste metaller (da disse har positiv ladning). Det betyder, at metaller i vandsøjlen fanges på finkornet leret

bundsediment, men ikke på sandbund. Organiske forbindelser vil ligesom metallerne primært bindes til det finkornede sediment.

Det fremgår af analyseresultaterne, at koncentrationen af 32 individuelle miljøfarlige forurenende stoffer (MFS) fordelt på stofgrupperne metaller, PAH'er, nonylphenoler og phthalater, blev målt i tre forskellige blandingsprøver i projektområdet. Herefter angives det som 27 stoffer eller sum heraf, da grænseværdierne for flere af stofferne er for summen af flere individuelle stoffer. Dette gør sig gældende for methylnaphthalener og nonylphenoler.

Resultater

Indenfor projektområdet er der udtaget ni sedimentprøver, som er samlet til tre blandingsprøver (prøve A, B og C) baseret på substrat- og dybdeforhold. Prøve A består af sediment prøve SED_10, prøve B består af SED_06 og SED_09, mens prøve C består af SED_01 – SED_05 og SED_07. Placering af de forskellige sedimentprøver kan ses på Figur 5-4.

I hver blandingsprøve er der målt 27 MFS, som dækker over en bred vifte af kemiske grupper og typisk fremkommende stoffer (metaller, PAH'er, phenoler og phthalater) (WSP, 2024b). Stofferne er udvalgt på baggrund af, hvilke stoffer og stofgrupper, der typisk findes i det marine miljø, ovenstående relevansanalyse samt de stoffer som ligger til grund for vandområde 200 Kattegat, Nordsjællands og 202 Kattegat, SØ 12 sm, klassificering som ikke-god kemisk tilstand.

SK-kravet for sølv, anthracen, naphthalen, methylnaphthalener, nonylphenol, 4-tert-octylphenol og SK-kriteriet for acenaphthen, benz(a)anthracen, crysen, phenanthren og pyren udregnes på baggrund af prøvernes indhold af organisk stof (TOC) i sedimentet (Miljøstyrelsen, 2023a; 2023b). De beregnede grænseværdier kan ses i Tabel 6-15. I de tre blandingsprøver varierer indholdet af organisk stof i sedimentet fra 0,1-0,9 % TOC, hvilket betyder, at der vil være en variation i grænseværdierne mellem de tre prøver (se Tabel 6-15).

Tabel 6-15. Udregnende grænseværdier for de tre blandingsprøver baseret på indholdet af TOC (%). Værdierne er angivet i µg/kg tørstof (TS), med undtagelse af sølv, som er angivet i mg/kg TS. f_{oc} er fraktionen af kulstof i sedimentet.

Stoffer	Enhed	Grænseværdier		Prøver		
		SK-krav	SK-kriterier	A	B	C
TOC	%			0,9	0,6	0,1
Sølv	mg/kg TS	260 x f _{oc}		2,4	1,6	0,3
Acenaphthen	µg/kg TS		960 x f _{oc}	8,9	6,0	1,2
Anthracen		96 x f _{oc}		0,9	0,6	0,1
Benzo(a)anthracen			600 x f _{oc}	5,6	3,7	0,7
Chrysen			462 x f _{oc}	4,3	2,9	0,6
Phenanthren			7800 x f _{oc}	72,5	48,4	9,4
Pyren			8400 x f _{oc}	78,1	52,1	10,1
Naphthalen		2760 x f _{oc}		25,7	17,1	3,3
Methylnaphthalener		478 x f _{oc}		4,4	3	0,6
Nonylphenoler, sum		2500 x f _{oc}		23,3	15,5	3
4-tert-octylphenol		3930 x f _{oc}		36,5	24,4	4,7

Koncentrationer af MFS fremgår af Tabel 6-16 og er sammenholdt med de lovfastsatte sedimentkvalitetskrav (SK-krav og EQS) og andre grænseværdier/vurderingskriterier, og er beskrevet i nedenstående.

For alle tre blandingsprøver er der sammenlagt ikke fundet overskridelser af alle anvendte grænseværdier (både lovpligtige og ikke-lovpligtige) for følgende tungmetaller: bly, cadmium, sølv, kobber og zink, og fire PAH'er (naphthalen, acenaphthen, fluoranthen og phenanthren), samt nonylphenoler (sum), BBP, DEHA og DEHP. Til gengæld er der fundet overskridelser af alle anvendte grænseværdier (både lovpligtige og ikke-lovpligtige) for tre tungmetaller: arsen, nikkel og vanadium, ni PAH'er (anthracen, benzo(a)anthracen, benzo(ghi)perylene, benzo(b+j+k)fluoranthren, benzo(a)pyren, crysen, indeno(1,2,3-cd)pyren, pyren og summen af methylnaphthalener) samt 4-tert-octylphenol.

Tabel 6-16. Analyseresultater for indsamlede sedimentprøver fra projektområdet i forbindelse med baselineundersøgelsen. SK-Krav og SK-kriterier som er udregnet på baggrund af indholdet af TOC i sedimentet for de respektive prøver kan ses i Tabel 6-15. Overskridelser af de nationale lovfastsatte SK-krav samt SK-kriterier er repræsenteret ved røde tal, og sorte tal indikerer at der ikke er overskridelser. f_{oc} er fraktionen af TOC i sedimentet. Blå tal indikerer at detektionsgrænsen fra laboratorie-analysen er højere end den prioriterede grænseværdi, og derfor er det ikke muligt at fastslå, om der er overskridelser for det specifikke stof i delområdet.

Stoffer	Enhed	Grænseværdi		Prøver		
		SK-krav	SK-kriterie	A	B	C
Arsen	mg/kg TS		0,4	6,8	3,8	0,8
Bly		163		21,0	13,0	1,6
Cadmium		3,8		0,11	0,10	0,02
Chrom			9,2	15,0	8,4	1,4
Kobber			30 ¹	9,3	6,3	0,6
Nikkel			6,8	9,6	5,7	0,8
Sølv		260 x f _{oc}		<0,15	<0,15	<0,15
Vanadium		23,6		29,0	14,0	2,7
Zink			150 ²	52,0	30,0	3,8
Acenaphthen	µg/kg TS		960 x f _{oc}	2,4	<2,0	0,9
Anthracen		96 x f _{oc}		18,0	8,1	1,0
Benzo(a)anthracen			600 x f _{oc}	60	23	<1,5
Benzo(ghi)perylene			42	64,0	27,0	<1,0
Benzo(b+j+k)fluoranthren			67,7	210,0	55,5	<1,5
Benzo(a)pyren			7	68,0	<30,0	<1,0
Chrysen			462 x f _{oc}	61,0	27,0	<1,0
Fluoranthren			3500	100,0	41,0	<3,0
Indeno(1,2,3-cd)pyren			42	51,0	28,0	<2,0
Phenantren			7800 x f _{oc}	54,0	16,0	0,8
Pyren			8400 x f _{oc}	110,0	45,0	<3,0
Naphthalen		2760 x f _{oc}		13,0	7,1	<2,0
Methylnaphthalener, sum		478 x f _{oc}		42,5	25,0	<5,5
Nonylphenoler, sum		2500 x f _{oc}		<1,5	<1,5	0,6
4-tert-octylphenol		3930 x f _{oc}		2,5	1,6	12,4

¹ HELCOM tærskelværdi ved 5% TOC

² OSPAR tærskelværdi

Butylbenzylphthalat (BBP)		390	<1,0	<1,0	<1,0
Di(2-ethylhexyl)adipat (DEHA)		1870	<1,0	6,0	42,0
Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)		528	13,0	14,0	3,0

Overskridelser af lovpligtige sedimentkvalitetskrav (SK-krav og EQS)

De lovpligtige miljøkvalitetskrav, som er inkluderet i analysen, er Miljøstyrelsens sedimentkvalitetskrav (SK-krav) samt EU's sedimentkvalitetskrav (EQS). EQS er ikke benyttet, da der for målte MFS fandtes et SK-krav, som har højere prioritet jf. prioriteringslisten i afsnit 5.2.3.

Af de 27 målte MFS findes der SK-krav for stofferne: bly, cadmium, sølv, vanadium, anthracen, sum af methylnaphthalener, naphthalen, sum af nonylphenoler og 4-tert-octylphenol (Miljøstyrelsen, 2023a).

Der blev ikke fundet nogle overskridelser af bly, cadmium, sølv, naphthalen, samt summen af nonylphenoler i nogen af sedimentprøverne.

Af de undersøgte MFS'er er der fundet overskridelser af SK-kravet for anthracen og sum af methylnaphthalener i alle tre blandingsprøver, mens der i prøve A også er fundet overskridelser af SK-kravet for vanadium og i prøve C overskridelser af SK-kravet for 4-tert-octylphenol.

Overskridelser af andre grænseværdier/vurderingskriterier

For MFS, hvor der ikke forefindes et lovfastsat SK-krav, benyttes andre vurderingskriterier (SK-kriterier, EAC, ERL og Nedre aktionsniveau) til at analysere tilstanden i prioriteret rækkefølge som beskrevet i afsnit 5.2.3. EAC og Nedre aktionsniveau er ikke benyttet, da der for undersøgte MFS fandtes et vurderingskriterie med højere prioritet.

For de resterende målte MFS, hvor der ikke findes et SK-krav, findes der et SK-kriterie for 14 af stofferne (arsen, chrom, nikkel, acenaphthen, benzo(a)anthracen, benzo(ghi)perylene, benzo(b+j+k)fluoranthren, benzo(a)pyren, chrysen, fluoranthren, indeno(1,2,3-cd)pyren, phenanthren, pyren, BBP, DEHA og DEHP) (Miljøstyrelsen, 2023b) og en ERL-værdi for 2 af stofferne (kobber og zink) (OSPAR, 2009).

Der blev ikke fundet nogen overskridelser af acenaphthen, fluoranthren, phenanthren, BBP, DEHP, DEHA, kobber og zink i alle tre blandingsprøver.

Der er fundet overskridelser af SK-kriterierne for arsen, benzo(a)anthracen og chrysen i alle tre prøver, mens der i prøve A og B også er fundet overskridelser af SK-kriteriet for benzo(a)pyren. I prøve A er der yderligere fundet overskridelser for chrom, nikkel, benzo(ghi)perylene, benzo(b+j+k)fluoranthren, indeno(1,2,3-cd)pyren og pyren.

Opsummering

Der er fundet overskridelser af de lovpligtige grænseværdier for anthracen, sum af methylnaphthalener, vanadium og 4-tert-octylphenol, samt overskridelser af de ikke lovpligtige grænseværdier for arsen, nikkel, chrom, chrysen, benzo(a)anthracen, benzo(a)pyren, benzo(ghi)perylene, benzo(b+j+k)fluoranthren, indeno(1,2,3-cd)pyren og pyren.

7 REFERENCER

- Borja et. al. (2000). *A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments*. *Mar. Poll. Bull.* 40, 1100–1114.
- Boutrup, S., Kjær, C., Johansson, L., Larsen, M., Poulsen, M., Bossi, R., . . . Frank-Gopolos, T. (2021). Miljøfarlige forurenende stoffer i vandmiljøet. NOVANA. *Tilstand og udvikling 2008-2019*. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center .
- By- og Landskabsstyrelsen. (2008). Vejledning fra By- og Landskabsstyrelsen. Dumpning af optaget havbundsmateriale - klapning. Udkast. <https://nst.dk/media/nst/Attachments/Klapvejledning.pdf>. By- og Landskabsstyrelsen.
- Carter, M. (2008). *Kurtiella bidentata Two-toothed Montagu shell*. In Tyler-Walters H. and Hiscock K. *Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Reviews*, [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom.
- Clarke, K. R., & Gorley, R. (2015). PRIMER version 7: User manual/tutorial.
- ECHA. (24. 09 2024). *Phthalater*. Hentet fra <https://echa.europa.eu/da/hot-topics/phthalates#:~:text=P%C3%A5%20grund%20af%20deres%20brede%20anvendelse>
- Emig, C. C. (1982). The biology of Phoronida. In *Advances in marine Biology* (Vol. 19, pp. 1-89). Academic Press.
- Geo. (2022). Øresund FL25 – Cable Route Survey – WP C - Geotechnical and Environmental Investigations.
- Geo. (2022). *Øresund FL25 - Cable Route Survey - WP C. Geotechnical and Environmental Investigation. Danish and Swedish Sector. Udarbejdet for Rambøll.* .
- Geoteknisk Institut. (1959). *Bidrag til Danmarks ingeniørgeologi*.
- Göransson, P. A., Hansen, J. B., Larsen, G., & Bjerre, F. (2002). *Øresunds bundfauna*. Øresundsvandsamarbejdet.
- Hansen & Høgslund. (2023). Hansen J.W. & Høgslund S. (2023). *Marine områder 2021*. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 220 s. - Videnskabelig rapport fra DCE nr. 529. <http://dce2.au.dk/pub/SR529.pdf>. Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.
- Hansen, J. L., & Josefson, A. (2020). *Teknisk anvisning for marin blødbundsfauna, M19. Version 3*. DCE.
- Hansen, J. W., & Høgslund, S. (2023). *Marine områder 2021*. Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi.
- HELCOM. (2017). *The integrated assessment of hazardous substances – supplementary report to the first version of the 'State of the Baltic Sea' report*.
- HELCOM. (2018). *State of the Baltic - Second HELCOM holistic assessment 2011-2016*. *Baltic Sea Environment Proceedings* 155. ISSN 0357-2994. Findes her: www.helcom.fi/baltic-sea-trends/holistic-assessments/state-of-the-baltic-sea-2018/reports-and-materials/.
- HELCOM. (2018b). HELCOM core indicator. Date 14th of February. <http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/indicators/>.
- Hiebert, T. C. (2015). *Oregon estuarine invertebrates: Rudys' illustrated guide to common species*. Oregon *Estuarine Invertebrates: Rudys' Illustrated Guide to Common Species*. 3rd edition.
- Køie, M. (2006). *Muslinger - fra Havbundens dyr i Naturen i Danmark - Havet*. Gyldendal, København.
- Køie, M., & Kristiansen, A. (2014). *Havets dyr og planter*. Gyldendal, København 2014.
- MiljøGIS for offentliggørelse af vandområdeplaner 2021-27. (2024). *Miljøstyrelsen - MiljøGIS for offentliggørelse af vandområdeplaner 2021-2027*. Hentet fra VP3-Påvirkninger og arealanvendelse: <https://miljoegis.mim.dk/spatialmap?profile=vandrammedirektiv3-2022>
- Miljøstyrelsen. (2012). Kortlægning samt miljø- og sundhedsmæssig vurdering af nonylphenoler og nonylphenolethoxylater i tekstiler. ISBN nr. 978-87-92903-69-3. Miljøstørelsen.
- Miljøstyrelsen. (2023a). *BEK nr 796 af 13/06/2023: Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand*. Hentet fra <https://www.retsinformation.dk/eli/lt/2023/796>.

- Miljøstyrelsen. (2023b). *Kvalitetskriterier for miljøfarlige forurenende stoffer i vandmiljøet, liste med alle datablade*. Hentet fra <https://mst.dk/kemi/kemikalier/graensevaerdier-og-kvalitetskriterier/miljoekvalitetskriterier/>.
- Miljøstyrelsen. (u.d.). *Øresund - Bunddyr*. Hentet fra <https://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur/lokalitetsbeskrivelser/marin/oeresund/>
- Nyberg et al. (2013). Elisabeth Nyberg, Martin M. Larsen, Anders Bignert, Elin Boalt, Sara Danielson and the CORESET expert group for hazardous substances indicators. HELCOM Core Indicator Report. Online. <http://www.helcom.fi/Core%20Indicators/HELCOM-CoreIndicator-Metals.pdf>.
- OSPAR. (2009). Background Document on CEMP Assessment Criteria for QSR 2010 (OSPAR publication number 2009/461). https://qsr2010.ospar.org/media/assessments/p00390_supplements/09-02e_Agreement_CEMP_Assessment_Criteria.pdf.
- Rambøll. (2023). Øresund Cable Route – Cable Route Survey Report.
- Rambøll. (2023). Øresund Cable Route – Cable Route Survey Report.
- Strand, J., & Larsen, M. (2013). *Opstilling af vurderingskriterier for miljøfarlige stoffer i vandmiljøet. Notat fra DCE*. Nationalt Center for Miljø og Energi.
- Thonig, A. (2018). *The effect of variation in developmental mode on the population dynamics of a spionid polychaete (Pygospio elegans) in a heterogeneous environment (No. 335)*. University of Jyväskylä.
- WSP. (2024b). Udskiftning af 400 KV kabelforbindelse under Øresund. Marine miljø- og baselineundersøgelser. Rapport til Energinet Eltransmission A/S.

BILAG

A TITEL



BILAG

A-1 TITEL

