



BERGEN KOMMUNE

Anne Christine Knag, Bymiljøetaten



BERGEN KOMMUNE

Anne Christine Knag, Bymiljøetaten

Rekolonisering av bløtbunnsfauna 6 år etter tildekking av
forurenset sjøbunn med skjellsand og aktivt kull

Miljøringen temamøte Helhetlig miljøforvaltning
17.04.2024

Marinbiologisk undersøkelse ved Florida i Store Lungegårdsvann 2017

Desember 2017



Oppfølgende bunndyrsundersøkelse i Store Lungegårdsvann ved Florida 2018

November 2018



BERGEN KOMMUNE

TESTTILDEKKING STORE LUNGEGÅRDSVANN, BERGEN HAVN

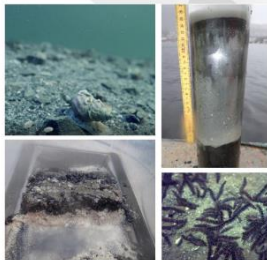
FAGRAPPORT



BERGEN KOMMUNE

1 ÅRS KONTROLL AV TESTTILDEKKING I STORE LUNGEGÅRDSVANN

FAGRAPPORT



Rådgivende Biologer AS - Notat

Undersøkelse av bløtbunnsfauna NS-EN ISO 16665:2013



Lokalitet: Store Lungegårdsvann og Puddefjorden, Bergen kommune

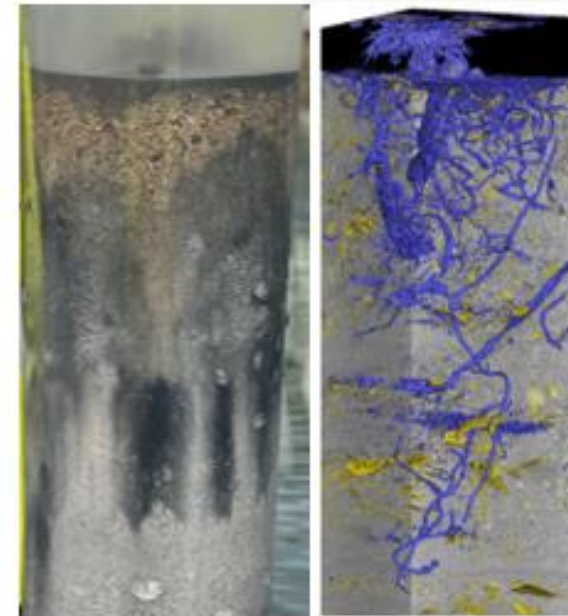
Rapportdato: 31.08.2022

Oppdragsgiver: COWI AS

BERGEN KOMMUNE

REKOLONISERING AV BLØTBUNNSFAUNA 6 ÅR ETTER TILDEKKING AV SJØBUNN MED SKJELLSAND OG AKTIVT KARBON

RENERE HAVN BERGEN





BERGEN
KOMMUNE



Statsforvaltaren i Vestland



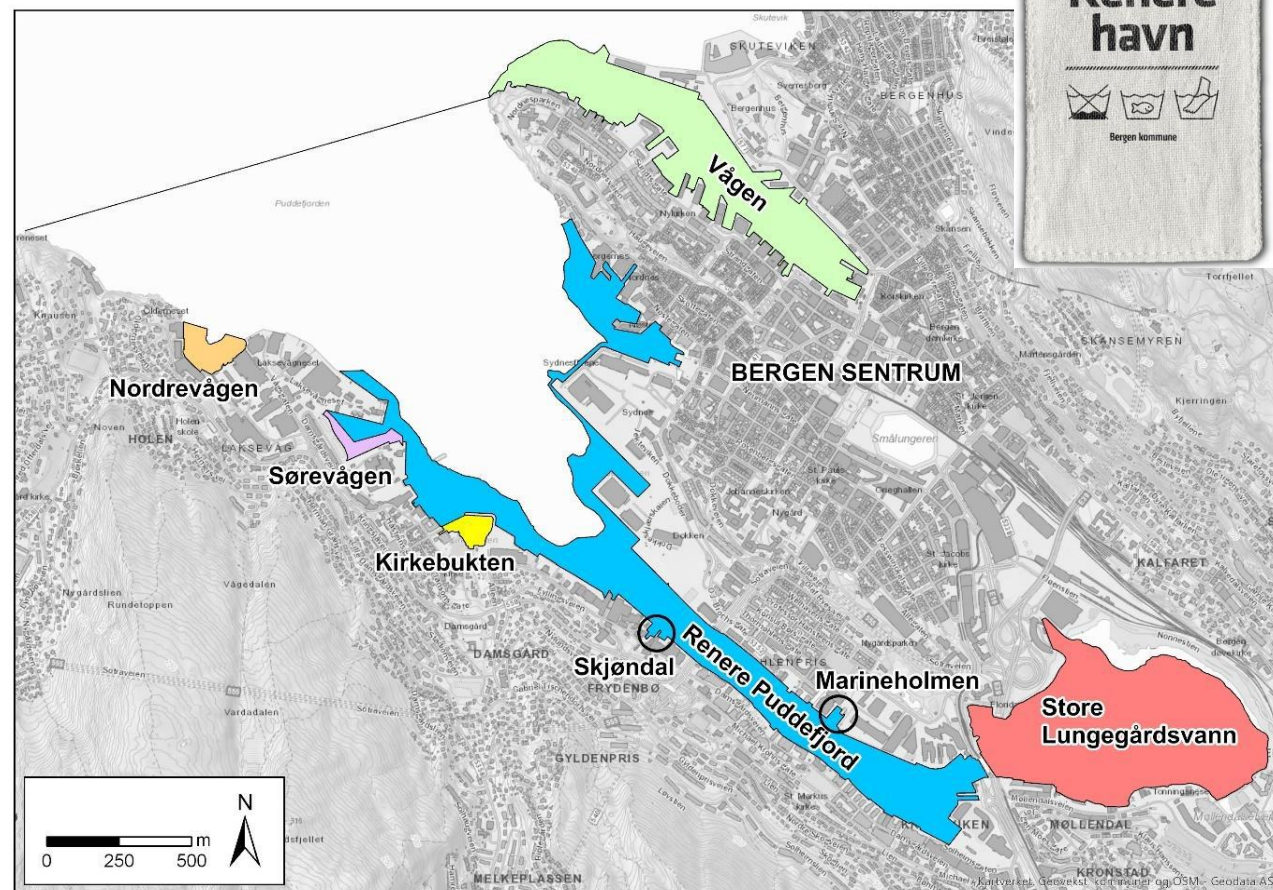
COWI



Sammen for en renere byfjord!

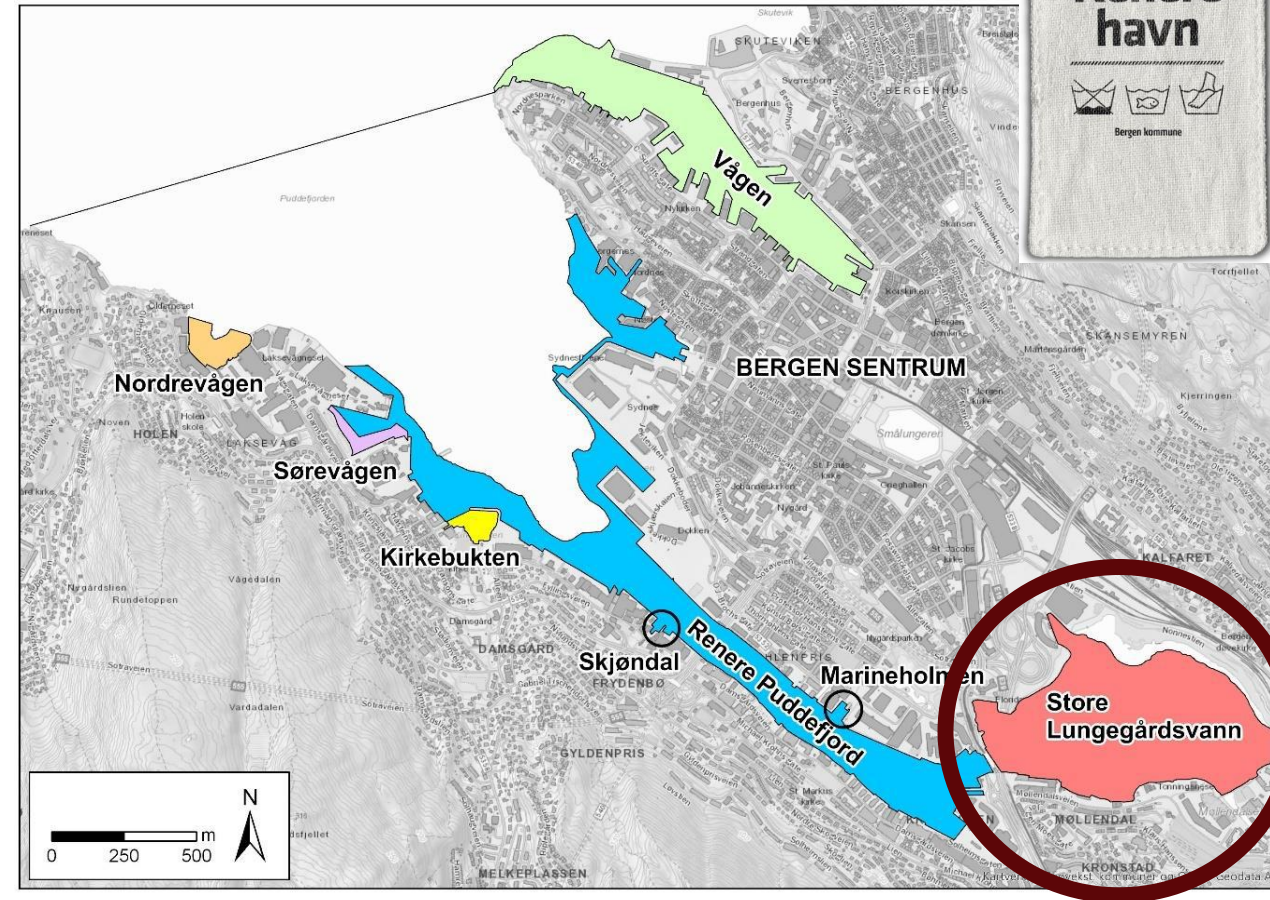
Sjøbunnstiltak i Byfjorden i Bergen

- Dårlig kjemisk tilstand i sjøbunnssediment
 - PCB, PAH, Pb, Cu
 - Stor risiko for spredning
 - PCB og Hg: risiko for human helse
- Prosjektet er finansiert av Miljødirektoratet og Bergen kommune
- Tiltak i Puddefjorden (2018), Store Lungegårdsvannet (2024) og Vågen (??)



Store Lungegårdsvannet

- 3 testfelt etablert i 2017
 - 15 000 m²
 - Vurderer egnethet av forskjellige tildekkingsmasser, mektigheter og utleggingsmetodikk
 - Testfelt 1: Maskinsand / Skjellsand
 - Testfelt 2: Aktivt kull (AC) + Skjellsand
 - Testfelt 3: Skjellsand + TBM



- 6 år senere: 84 tonn skrot ryddet og 120 000 m³ ny sjøbunn lagt ut..



Hvorfor AC?

- Behov: dekkende isolerende lag med et minimum av masser, som ikke lekker gammel sjøbunn
- Tynnsjiktstildekking med kun passivt materiale har vist seg å gi liten eller ingen positiv effekt
- Reaktive masser muliggjør tynnsjiktstildekking
 - Aktive materialer binder miljøgifter, reduserer spredning og biotilgjengelighet
 - <15 cm tykkelse (bioturbasjonslaget)
 - velegnet for store områder
 - ved bløte sedimenter med fare for innsynkning av tildekkingslaget
 - kombinert med andre typer masse, som for eksempel sand, øker isolasjonseffekten

Hvorfor AC?

- Behov: dekkende isolerende lag med et minimum av masser, som ikke lekker gammel sjøbunn
- Tynnsjiktstildekking med kun passivt materiale har vist seg å gi liten eller ingen positiv effekt
- Reaktive masser muliggjør tynnsjiktstildekking
 - Aktive materialer binder miljøgifter, reduserer spredning og biotilgjengelighet
 - <15 cm tykkelse (bioturbasjonslaget)
 - velegnet for store områder
 - ved bløte sedimenter med fare for innsynkning av tildekkingslaget
 - kombinert med andre typer masse, som for eksempel sand, øker isolasjonseffekten

Hvorfor IKKE AC?

- Flere undersøkelser har vist negative effekter for antall individer ved bruk av aktivt karbon i forhold til andre tildekkingsstyper Miljødirektoratet, 2014; 2016
- Mulige årsaker NIVA 2014:
 - Partikkelstørrelsen sammenfaller med størrelsen på næringspartikler som foretrekkes av filtrerende organismer. Opptaket av næring kan dermed forstyrres.
 - De aktive kullpartiklene binder til seg næringsstoffer og reduserer dermed tilgjengeligheten av næring.

All tildekking påvirker bunndyrssamfunnet

- Tildekking av forurenset sjøbunn med rene masser innebærer en null-stilling av bunndyrssamfunnet der
 - Eksisterende bunndyrssamfunn begravnes
 - Tildekkingen isolerer forurensingen og skaper et nytt rent bunnssubstrat
 - Ny fauna må/kan/vil re-etablere seg i området
- Forventning
 - Økt arts mangfold og/eller økt forekomst av arter
 - Bedret levevilkår for arter i området
 - Lavere nivå miljøgifter oppover i økosystemet
 - 3 år etter mineralsk tildekking forventet rekoloniseringstid til normalt tilstand DNV 2004
 - Etablert bløtbunnssamfunn representativt for substratet det lever på
 - Etablert tilstrekkelig tykt lag naturlig sediment fra sedimentasjon -> "naturlig" bløtbunnssamfunn



Bunndyr

- Bløtbunnsfauna
 - domineres i hovedsak av børstemark, krepsdyr og muslinger
 - lever på, eller graver i leire, mudder og sandbunn
 - relativt stasjonære og må være tilpasset miljøforholdene på stedet hvor de lever
- Overvåking av bløtbunn er en viktig metode for
 - å dokumentere miljøtilstanden og påvise mulige endringer over tid.
 - opplysninger om miljøforholdene ved en lokalitet og utvikling over tid da de fleste marine bløtbunnsarter er flerårige og relativt lite mobile
 - miljøforholdene er avgjørende for antall arter og antall individer innenfor hver art i et bunndyrsamfunn

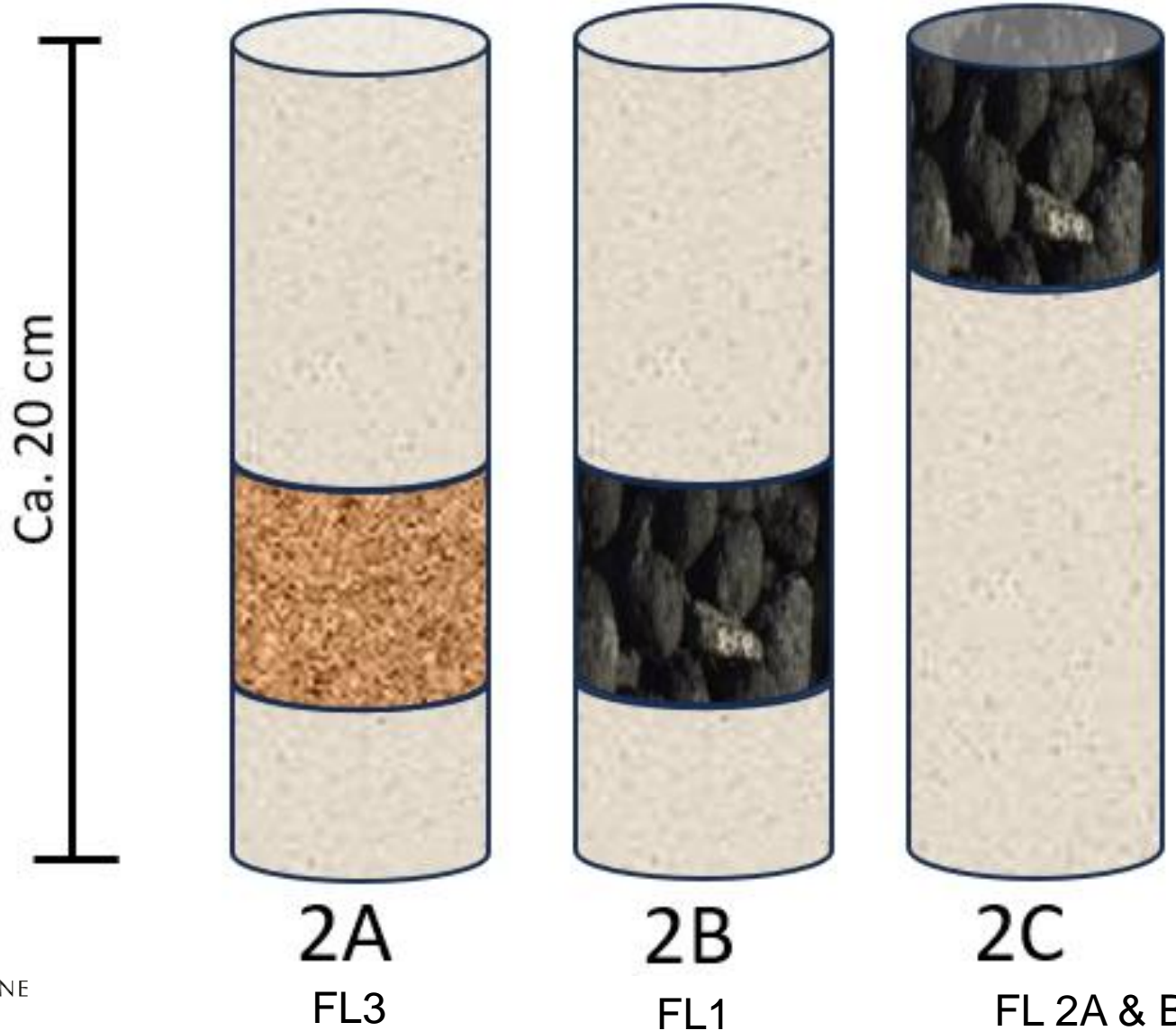


Testfelt 2: skjellsand og AC

- 6765 m², 0-5m dyp, hovedsakelig flatt, både fast bunn og bløt bunn
- Overvåkingsprogram:
 - 1 årskontroll (2018)
 - 4 årskontroll (2021)
 - 6 års kontroll (2023)
- Fokus: rekolonisering og utvikling bunnfauna med/uten AC i topplaget



3 delfelt i testfelt 2



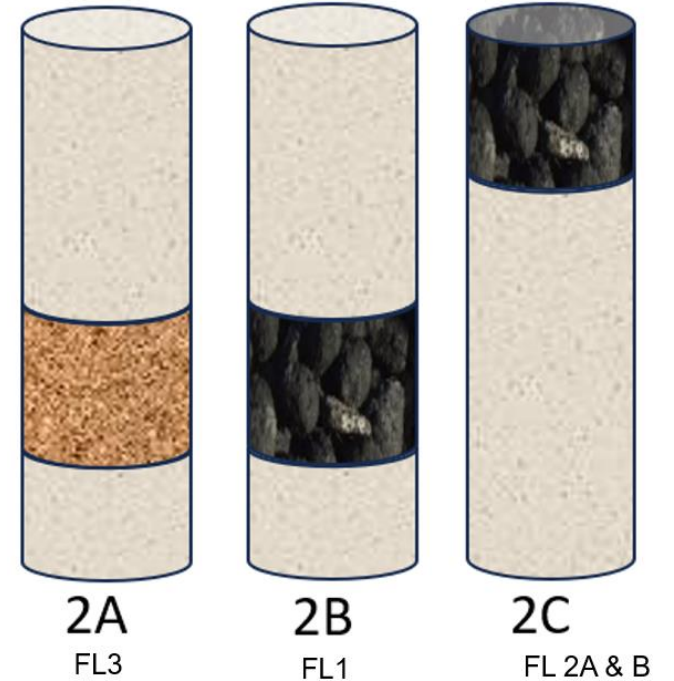
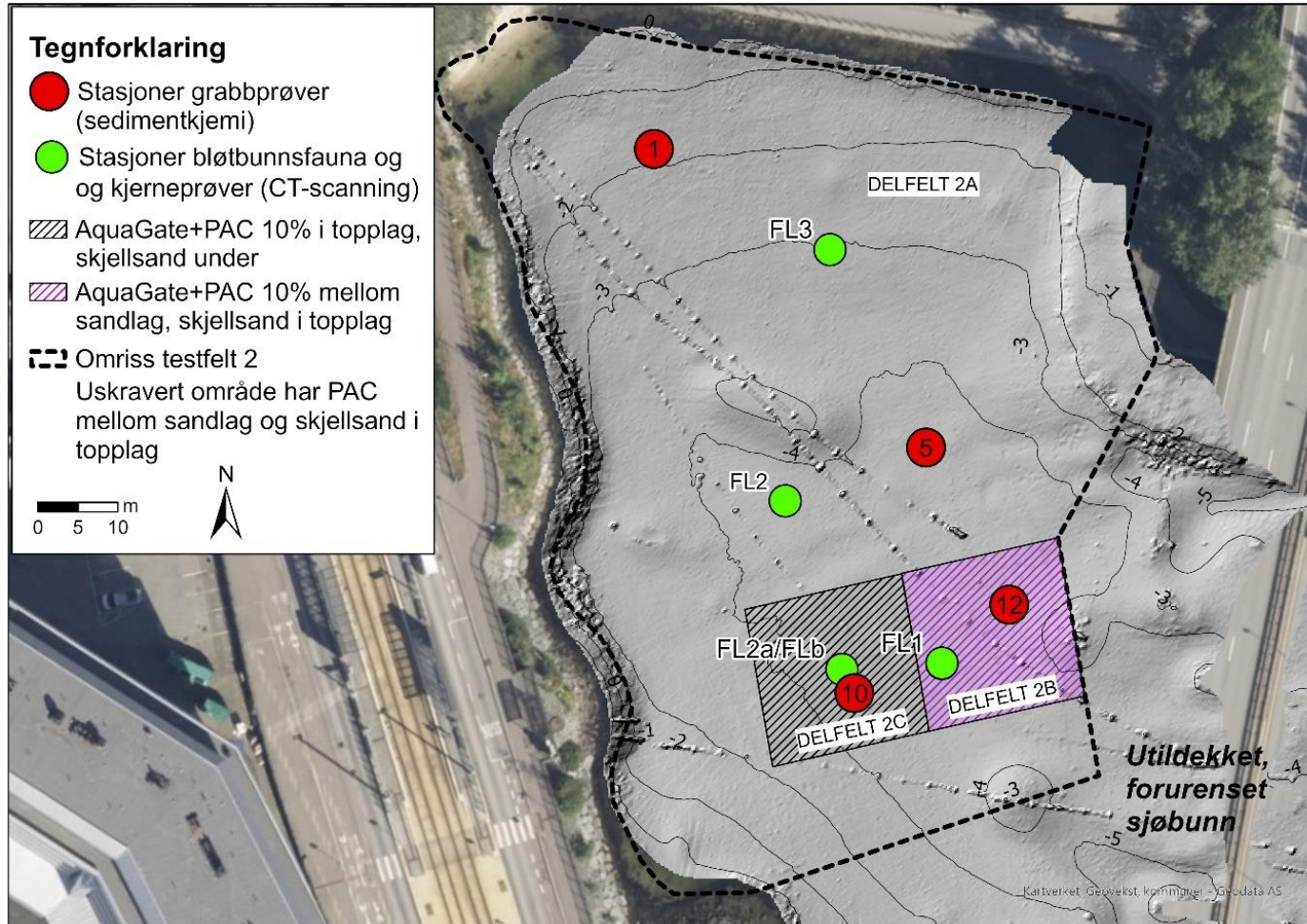
Grå = skjellsand

Brun = PAC (Jacobi AquaSorb CP 1)

Svart = AquaGate+PAC 10%
(gruskjerner (5-8 mm), 15 %
bentonittleire i pulverform, 10 %
pulverisert aktivt karbon og en
biologisk nedbrytbar polymer






6 år etter – hva sjekket vi?

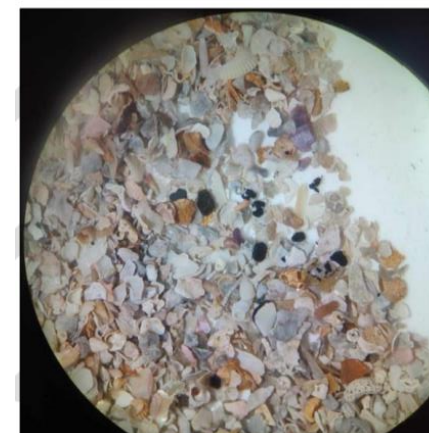


Bunndyr utvikling fra 2017-2023

Ved **alle stasjonene** har det vært en kontinuerlig forbedring i samlet nEQR-tilstand fra 2017 og frem til 2023.

Artstallet i 2023 er det høyeste som har vært registrert på samtlige stasjoner.

Stasjon	År	Lab	Arter	Individer	nEQR	
 2B	FL1	2023	RB	58	962	0,724
	2021	STIM	41	793	0,704	
	2018	STIM	30	1049	0,423	
	2017	STIM?	23	303	0,496	
 2C	FL2a	2023	RB	57	991	0,714
	2021	STIM	20	87	0,615	
	2018	STIM	16	67	0,513	
 2A	FL3	2023	RB	47	483	0,737
	2021	STIM	43	823	0,619	
	2018	STIM	25	219	0,61	
	2017	STIM	18	79	0,531	



FL1 i delfelt 2B



FL2a i delfelt 2C



FL3 i delfelt 2A

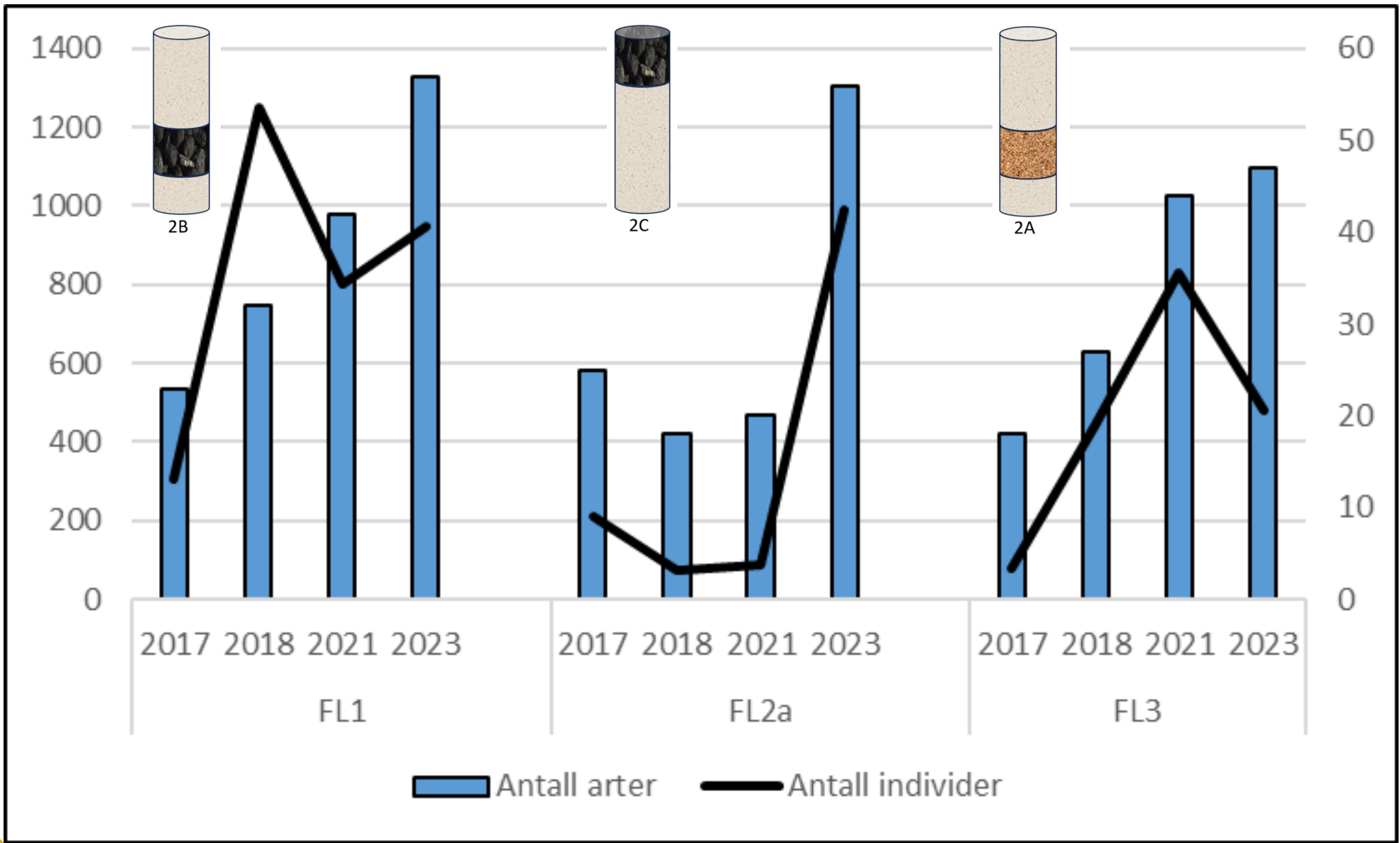


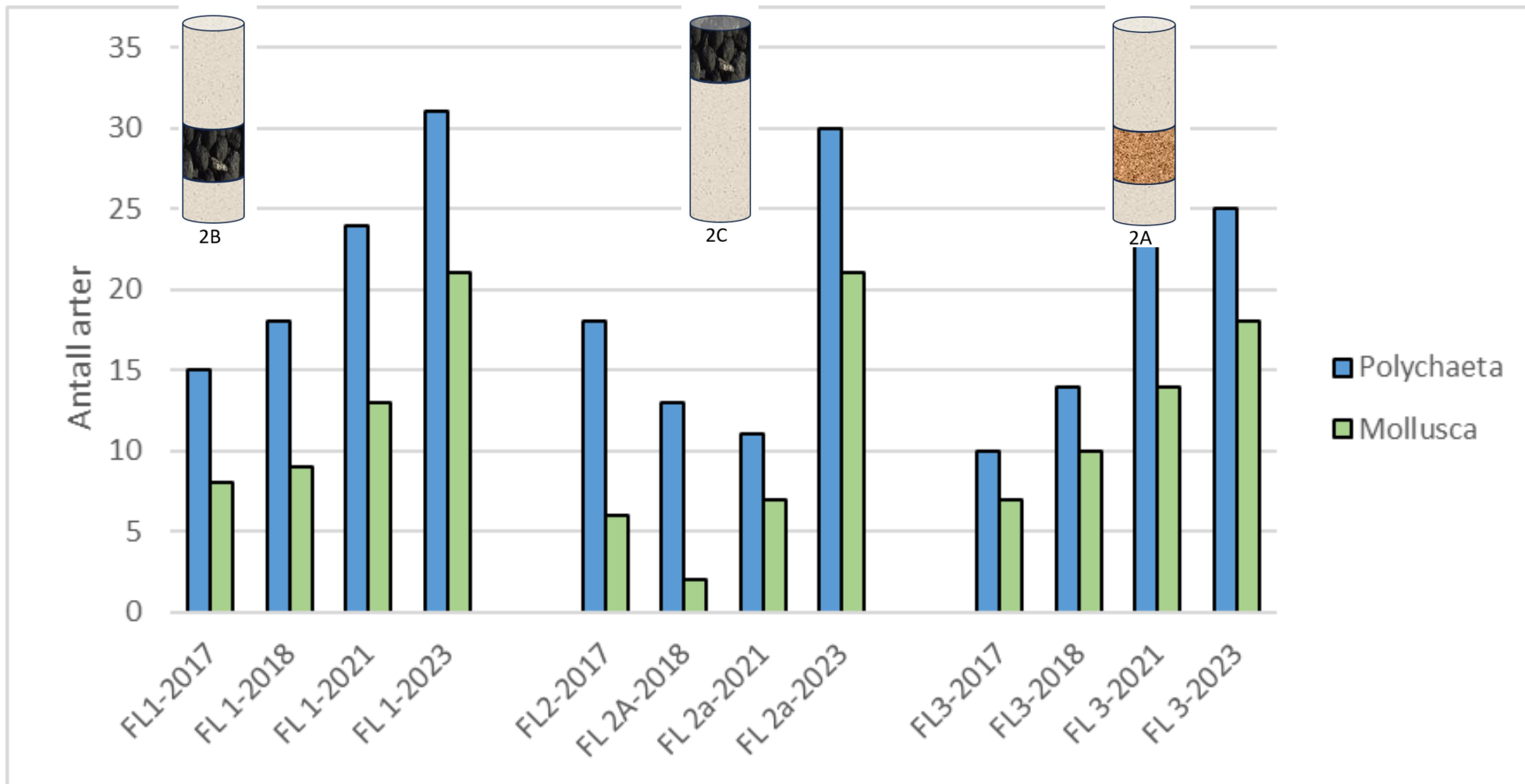
Skjellsand i topplag

AquaGate+PAC 10% i topplag

Skjellsand i topplag







Bunndyrundersøkelsene oppsummert

Indeks	FL1				FL2/FL2a				FL3			
	2017	2018	2021	2023	2017*	2018	2021	2023	2017	2018	2021	2023
Arter	23	30	41	58	25	16	20	57	18	25	43	47
Individer	303	1049	793	962	194	67	87	991	79	219	823	483
NQI1	0,55	0,38	0,65	0,698	0,58	0,57	0,78	0,668	0,58	0,52	0,69	0,759
H'	0,50	0,45	0,81	0,841	0,64	0,57	0,58	0,847	0,68	0,57	0,68	0,84
ES ¹⁰⁰	0,5	0,5	0,7	0,777	0,60			0,788		0,6	0,6	0,813
ISI ²⁰¹²	0,34	0,52	0,67	0,651	0,31	0,33	0,42	0,667	0,31	0,57	0,56	0,643
NSI	0,59	0,33	0,66	0,652	0,56	0,59	0,68	0,601	0,55	0,81	0,57	0,63
nEQR	0,496	0,423	0,704	0,724	0,530	0,513	0,615	0,714	0,531	0,610	0,619	0,737

Skjellsand i topplaget (FL1+3):

- lik utvikling mht. antall arter relativt lik, med en økning for hver undersøkelse.
- antall arter av børstemark og bløtdyr følger også hverandre med en økning for hver undersøkelse.

Aktivt kull i topplaget (FL2a),

- skiller seg fra de to øvrige stasjonene mht. rekoloniseringen over tid
- nedgang i antall arter og individer større ved 1 årskontrollen
- rekoloniseringen går saktere
- 2 år og 4 år etter var det færre arter bløtdyr (Mollusca) ved stasjonen.

I 2023 er antall arter og individer inkludert antall bløtdyrsarter i forhold til børstemarkarter likt på alle stasjoner

- Artsantallet på FL2a faktisk høyere enn FL3
- Individantallet høyere enn begge skjellsandfeltene



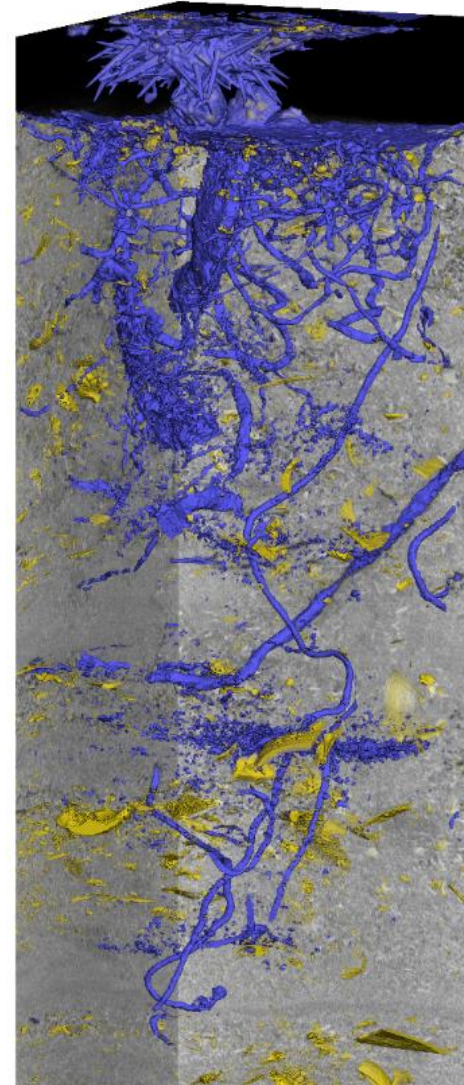
CT skanning av kjerneprøver



- Metode utviklet av COWI og Earth Surface Sediment Laboratory (EARTHLAB) ved Universitetet i Bergen (UiB) for å visualisere tildekkingslag
- 2D og 3D visualiseringer av tetthet viser at graveganger etter bioturbasjon etterlater seg et spor i sedimentene med lavere tetthet enn de uberørte sedimentene rundt
- 4 sedimentkjerner tatt i testfeltet
 - Uwitec kjernetaker med $\text{Ø}=90\text{mm}$ rør.
 - CT-skanning med en ProCON-X-ray CT Alpha Core CT skanner
 - 130kV, 580mA, 267 ms eksponeringstid med et 0,5 mm kobberfilter for å redusere stråleherdingseffekt. Det ble tatt 2400 bilder per rotasjon i skanneren for å generere et datasett med $200\mu\text{m}$ oppløsning.



Kjerneprøver



Blå = lav tetthet i graveganger etter bioturbasjon, og soner med høy porøsitet eller sprekker i sedimentkjernen

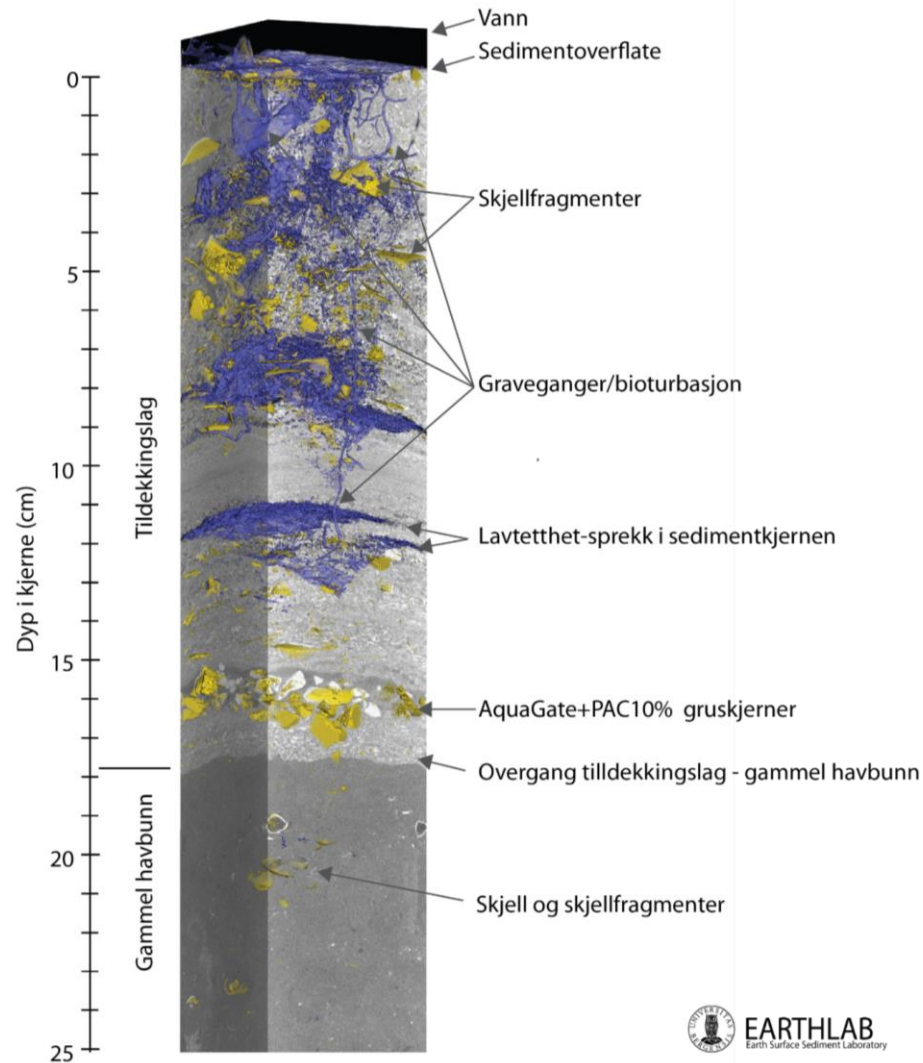
Gul = skjell og skjellfragmenter med høy tetthet, og gruskjerner i AquaGate+PAC10 %

Lys grå: høy tetthet

Mørk grå: lavere tetthet



FL1



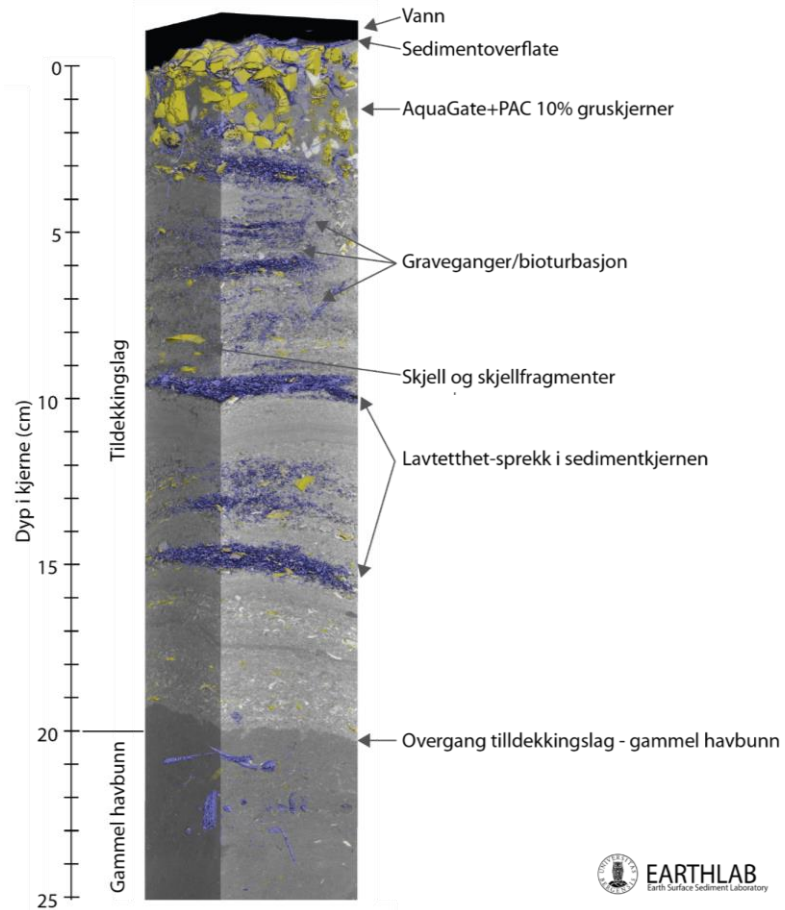
Blå = lav tetthet i graveganger etter bioturbasjon, og soner med høy porøsitet eller sprekker i sedimentkjernen

Gul = skjell og skjellfragmenter med høy tetthet, og gruskjerner i AquaGate+PAC10%

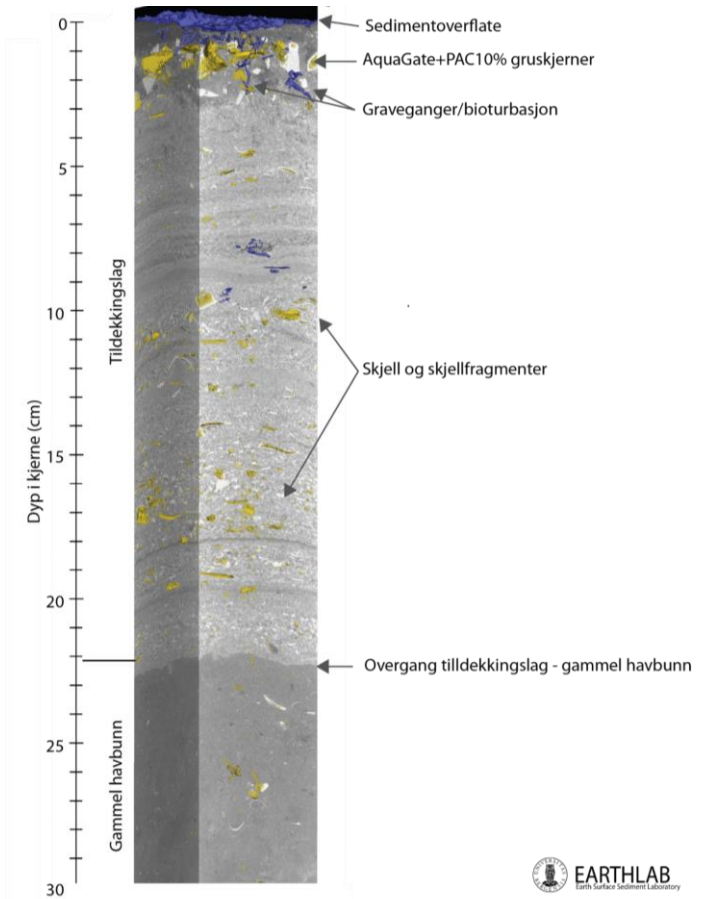
Lys grå: høy tetthet

Mørk grå: lavere tetthet

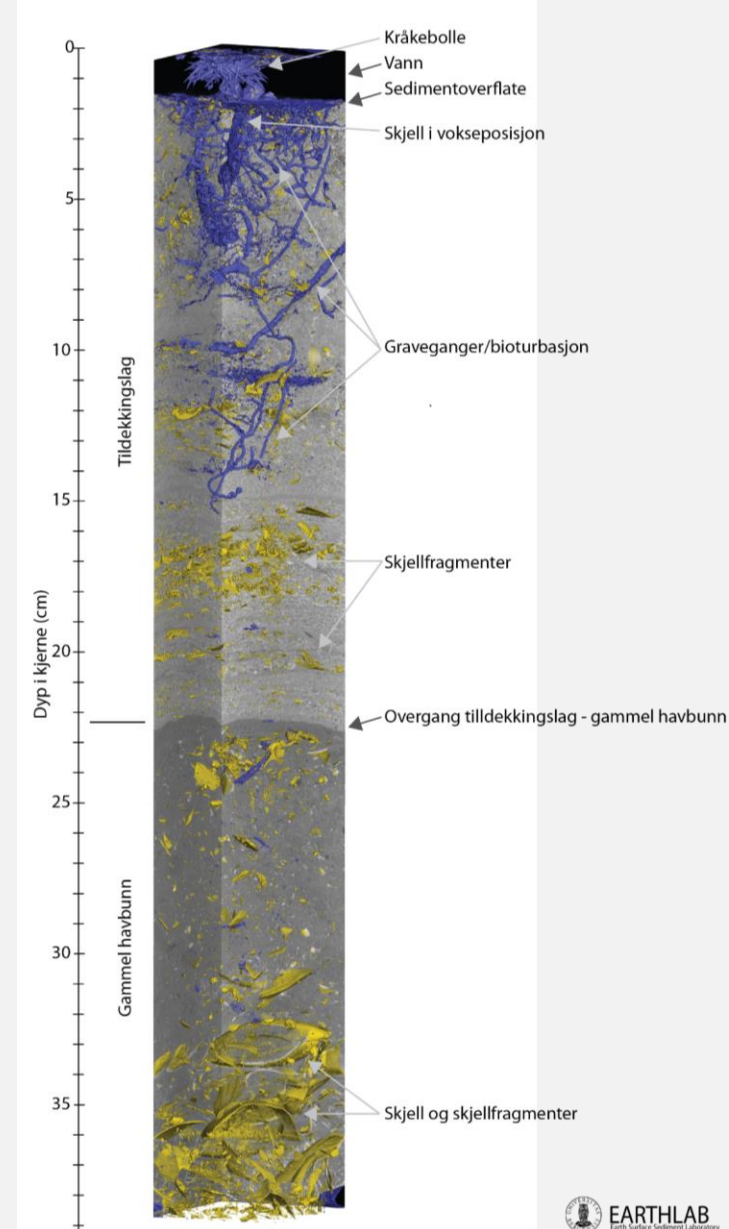
FL2a







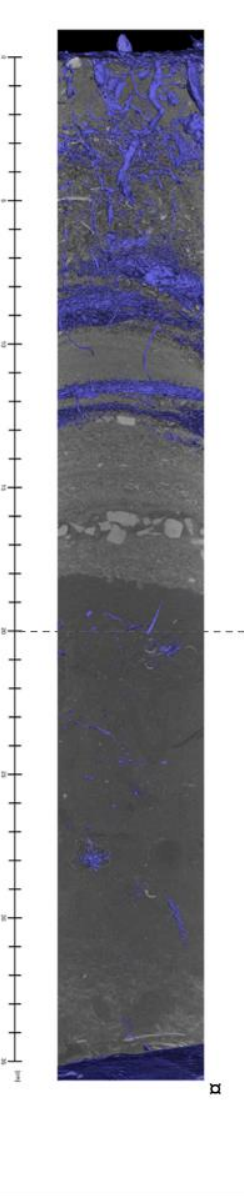
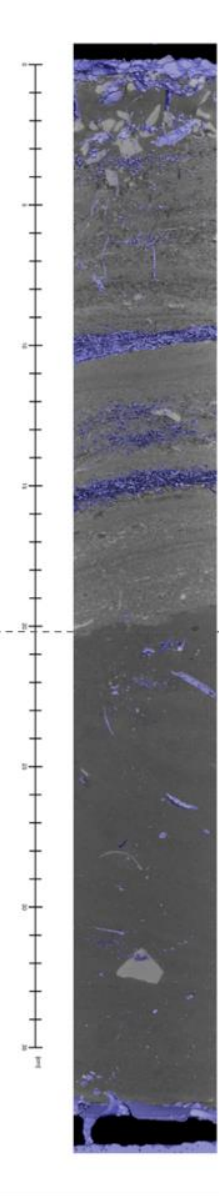
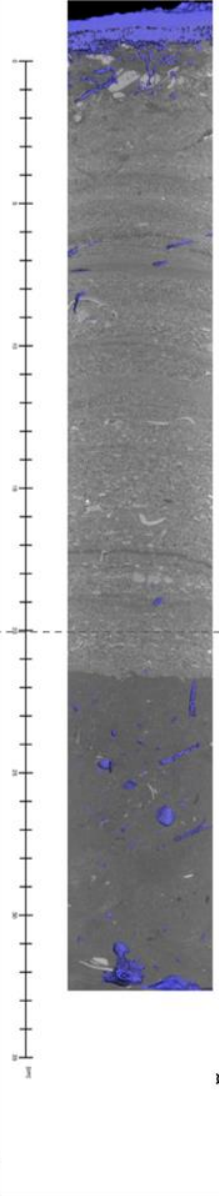
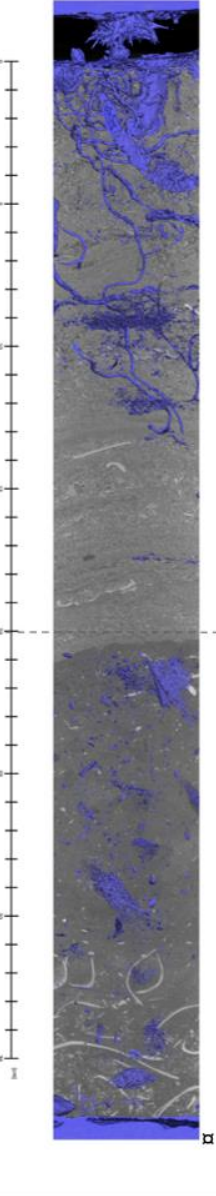
FL2b



FL3: flest og dypest graveganger



FL1-i-felt-2B	FL2a-i-felt-2C	FL2b-i-felt-2C	FL3-i-felt-2A
			
AquaGate+PAC·10%· mellom·lag·av· skjellsand.	AquaGate+PAC·i·topplag, med·skjellsand· under.		PAC·mellom·lag·av· skjellsand.

FL1-i-felt-2B	FL2a-i-felt-2C	FL2b-i-felt-2C	FL3-i-felt-2A
			
AquaGate+PAC·10%· mellom·lag·av· skjellsand.	AquaGate+PAC·i·topplag, med·skjellsand· under.		PAC·mellom·lag·av· skjellsand.

Fungerte CT-scan metoden for bunndyr?

- JA, man kan identifisere og visualisere bioturbasjon i tildekkingslag
- Visualisering av graveganger der de har ulik tetthet sammenlignet med de omliggende sedimentene
- Graveganger etter bioturbasjon er tydelig identifiserbare i CT-bildene og kan vurderes og kvantifiseres

Men..

- Lite datagrunnlag
- I tildekkingslag med relativt høy tetthet som i testfeltene i Store Lungegårdsvann blir tetthetskontrasten stor og bioturbasjonen kommer tydelig fram
 - Mulig at det finnes bioturbasjon i sedimentene som ikke kommer fram med denne metoden



Sedimentkjemi

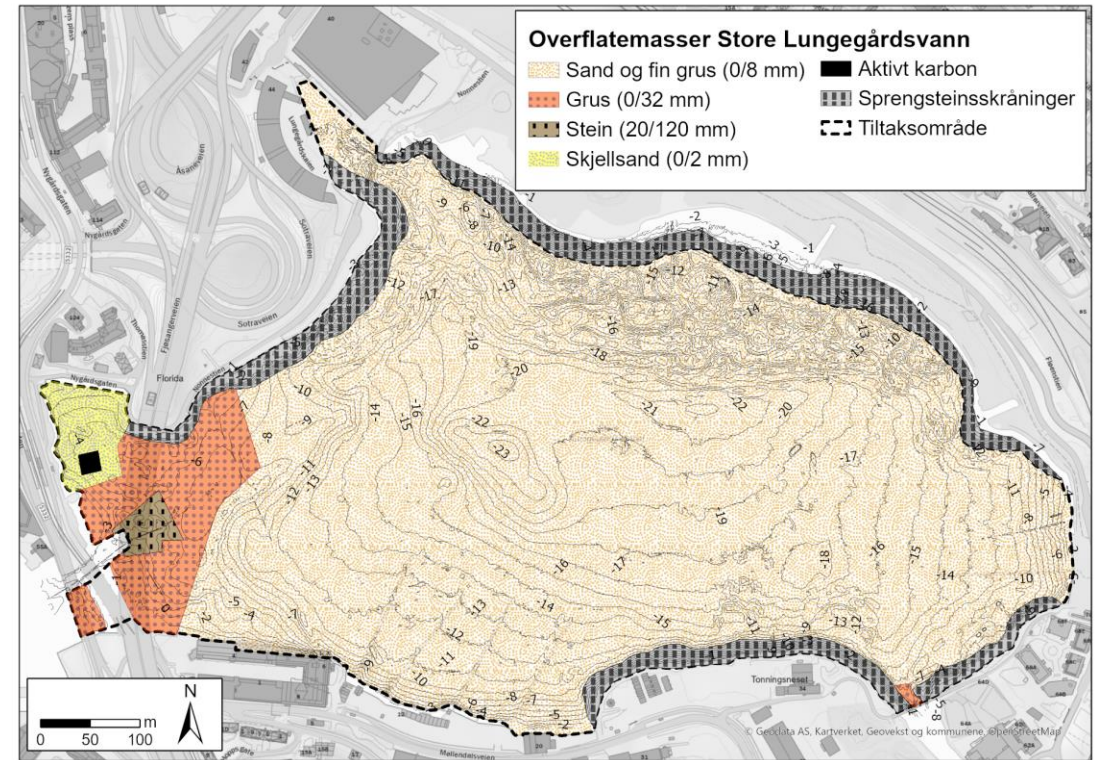
- Det er funnet høyere konsentrasjoner av miljøgifter i det øverste sedimentlaget (0-2 cm sedimentdyp), sammenlignet med sedimentlaget 0-10 cm
- Dette tyder på rekontaminering av tildekkingslaget fra land eller forurenset sjøbunn

I Bakgrunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
Bakgrunnsnivå	Ingen toksiske effekter	Kroniske effekter ved langtids-eksponering	Akutt toksiske effekter ved kort-tidseksponering	Omfattende toksiske effekter

	Enhet	1A	1B	5A	5B	10A	10B	12A	12B
		0-10cm	0-2cm	0-10cm	0-2cm	0-10cm	0-2cm	0-10cm	0-2cm
As (Arsen)	mg/kg TS	1,1	13	1,9	3,5	1,1	1,5	2,6	4,2
Pb (Bly)	mg/kg TS	2,4	48	7,8	14	3,9	4,4	15	22
Cu (Kopper)	mg/kg TS	3,4	66	13	22	6,4	6,9	22	34
Cr (Krom)	mg/kg TS	3,3	27	7,1	10	4,3	4,4	10	14
Cd (Kadmium)	mg/kg TS	0,11	0,28	0,14	0,14	0,071	0,063	0,15	0,2
Hg (Kvikksølv)	mg/kg TS	0,029	0,49	0,092	0,17	0,048	0,039	0,19	0,32
Ni (Nikkel)	mg/kg TS	1,5	14	3,3	4,7	1,8	1,8	4,6	6,3
Zn (Sink)	mg/kg TS	9,6	170	38	52	18	21	49	72
Naftalen	µg/kg TS	*	*	<10	<10	<10	<10	<10	27
Acenaftalen	µg/kg TS	*	*	<10	<10	<10	<10	12	28
Acenaften	µg/kg TS	*	*	<10	<10	<10	<10	<10	22
Fluoren	µg/kg TS	*	*	<10	<10	<10	<10	12	28
Fenantren	µg/kg TS	*	*	38	40	<10	10	54	130
Antracen	µg/kg TS	*	*	14	14	<4,6	<4,6	24	49
Fluoranten	µg/kg TS	*	*	92	110	18	31	170	440
Pyren	µg/kg TS	*	*	75	89	15	22	150	370
Benzo[a]antracen	µg/kg TS	*	*	34	34	<10	<10	55	110
Krysen/Trifenylene	µg/kg TS	*	*	35	31	<10	<10	51	96
Benzo[b]fluoranten	µg/kg TS	*	*	85	99	17	21	150	470
Benzo[k]fluoranten	µg/kg TS	*	*	26	32	<10	<10	44	120
Benzo[a]pyren	µg/kg TS	*	*	53	53	11	14	92	270
Dibenzo[a,h]antracen	µg/kg TS	*	*	10	<10	<10	<10	19	50
Benzo[ghi]perylene	µg/kg TS	*	*	50	59	12	15	90	290
Indeno[1,2,3-cd]pyren	µg/kg TS	*	*	51	59	12	16	88	270
Sum PAH(16) EPA	µg/kg TS	*	*	560	620	85	130	1000	2800
PCB 28	µg/kg TS	*	*	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
PCB 52	µg/kg TS	*	*	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	1,2	1,9
PCB 101	µg/kg TS	*	*	0,69	0,78	<0,50	<0,50	1,5	4,7
PCB 118	µg/kg TS	*	*	<0,50	0,74	<0,50	<0,50	1,1	3,9
PCB 153	µg/kg TS	*	*	1,5	1,4	<0,50	<0,50	3	8,4
PCB 138	µg/kg TS	*	*	1,3	1,5	<0,50	<0,50	2,7	6,8
PCB 180	µg/kg TS	*	*	0,76	0,9	<0,50	<0,50	1,6	3,9
Sum 7 PCB	µg/kg TS	*	*	4,3	5,3	nd	nd	11	30
Monobutyltinn (MBT)	µg/kg tv	8,5	38	10	30	8,7	9,5	43	45
Dibutyltinn (DBT)	µg/kg tv	9,3	40	14	37	8,8	9,7	76	78
Tributyltinn (TBT)	µg/kg tv	6,8	55	12	20	4,6	4,5	42	41

Oppsummering

- 6 år etter tildekking er bunnfauna preget av god diversitet på alle 3 stasjoner mtp antall arter og individer
- 2 stasjoner med skjellsand i topplaget har relativt lik utvikling
- 1 stasjon med AC i topplaget tar lengre tid å nå samme nivå som de uten
- **Rekolonisering på aktivt karbon ser ut til å gå senere enn rekoloniseringen på annen tildekking, men undersøkelsen i testfelt 2 i Store Lungegårdsvann indikerer at det over tid også vil rekoloniseres på aktivt karbon**



Kart. Ref 1.

Espen Rekdal,
2021



Dette området ble filmet i 2018. Da var det bare grus og sand etter tildekking. Området nå har fine kolonier av oskjell og mye hvitrørsmark og kongsnegl.





Kongsnegl som legger egg.



SE Lundstrøm, 2024



Mer informasjon:

<https://www.bergen.kommune.no/hvaskjer/tema/rekere-havn-bergen>



Renere_havn_bergen



Epost: AC.Knag@bergen.kommune.no