

SEDIMENT MONITORING MARTIN LINGE

Sedimentovervåking Martin Linge 2016

Total E&P Norge AS

Rapportnr.: 2016-1118, Rev. 01

Dokumentnr.: 110PD9T4-5

Dato: 2017-11-17



Prosjektnavn:	Sediment monitoring Martin Linge	DNV GL AS Oil & Gas
Rapporttittel:	Sedimentovervåking Martin Linge 2016	Environmental Risk Management
Oppdragsgiver:	Total E&P Norge AS, Postboks 168 Sentrum 4001 STAVANGER Norway	P.O. Box 300 1322 Høvik Norway
Kontaktperson:	Laurence Pinturier	Tel: +47 67 57 99 00
Dato:	2017-11-17	NO 945 748 931 MVA
Prosjektnr.:	PP157166	
Org. enhet:	Environmental Risk Management	
Rapportnr.:	2016-1118, Rev. 01	
Dokumentnr.:	110PD9T4-5	

Levering av denne rapporten er underlagt bestemmelsene i relevant(e) kontrakt(er):
Nbr 4100P13088/Call-off Order 4210004926

Oppdragsbeskrivelse: Mandatory sediment survey at Martin Linge field # 2016., incl. mobilisation and demobilisation of offshore sampling crew and equipment, offshore sediment sampling, biological and chemical analyses of sediment samples and reporting.

Utført av:	Verifisert av:	Godkjent av:
------------	----------------	--------------

Sam Arne Nøland
Senior Principal Consultant/ Marine
Biologist

Thomas Møskeland
Principal Consultant/ Marine Biologist

Tor Jensen
Head of Section

Helene Tvette
Analytiker/M.Sc.

Lucy Brooks
Senior Consultant/ Marine Biologist

Fredrik Melsom
Consultant/ Marine Biologist

Beskyttet etter lov om opphavsrett til åndsverk m.v. (åndsverkloven) © DNV GL 2017. Alle rettigheter forbeholdes DNV GL. Med mindre annet er skriftlig avtalt, gjelder følgende: (i) Det er ikke tillatt å kopiere, gjengi eller videreformidle hele eller deler av dokumentet på noen måte, hverken digitalt, elektronisk eller på annet vis; (ii) Innholdet av dokumentet er fortrolig og skal holdes konfidensielt av kunden, (iii) Dokumentet er ikke ment som en garanti overfor tredjeparter, og disse kan ikke bygge en rett basert på dokumentets innhold; og (iv) DNV GL påtar seg ingen aktsomhetsplikt overfor tredjeparter. Det er ikke tillatt å referere fra dokumentet på en slik måte at det kan føre til feiltolkning. DNV GL og Horizon Graphic er varemerker som eies av DNV GL AS.

DNV GL distribusjon:

☒ Fri distribusjon (internt og eksternt)

☐ Fri distribusjon innen DNV GL

☐ Fri distribusjon innen det DNV GL-selskap som er kontraktspart

☐ Ingen distribusjon (konfidensiell)

Nøkkelord:

Sedimenter, hydrokarboner, metaller, bunnfauna

Rev.nr.	Dato	Årsak for utgivelser	Utført av	Verifisert av	Godkjent av
0	[yyyy-mm-dd]	First issue			



Innholdsfortegnelse

1	RESYMÉ/ RESUMÉ	1
1.1	Resymé	1
1.2	Resumé	2
2	INNLEDNING.....	3
2.1	Generelt	3
2.2	Utslipps- og boreaktiviteter	3
2.3	Tidligere undersøkelser	4
2.4	Program 2016	5
3	MATERIALE OG METODER	6
3.1	Feltarbeid	6
3.2	Biologiske analyser	7
3.3	Biologiske analyser	7
3.4	Kjemiske analyser og sedimentkarakterisering	10
3.5	Avvik fra program/retningslinjer	17
4	RESULTATER.....	18
4.1	Prøvetaking	18
4.2	Sedimentkarakterisering	19
4.3	Kjemiske analyser	20
4.4	Biologiske analyser	25
4.5	Konklusjoner og anbefalinger	31
5	REFERANSER	32

Appendix på minnepinne:

- Toktrapport
- Prøvingsrapport-biologi, inkl. kvalitetssikring
- Analyserapport-kjemi, inkl. kvalitetssikring

Forord

Sedimentundersøkelsen på Martin Linge i 2016 er utført i fellesskap av DNV GL (tidligere Det Norske Veritas) og Sintef Molab, og koordinert av Total E&P NORge v/Laurence Pinturier.

Rapporten beskriver resultatene av de kjemiske/fysiske analysene av sjøbunnsedimentene samt analyser av bløtbunssamfunnet ved Martin Linge i Nordsjøen. Følgende personell deltok i undersøkelsen:

Tokt:

Jon Kristian Haugland (DNV GL), toktleder

Tormod Glette (DNV GL)

Fredrik Melsom (DNV GL)

Kjemiske analyser/sedimentkarakterisering:

Kornstørrelsesfordeling: Terje Kolberg, Eli Ellingsen

Totalt organisk karbon: Karl Olav Bratland, Terje Pedersen

Metaller: Terje Pedersen, Hanne Skog Lillevik, Gunn Mari Michaelsen, Lene Sivertsen, Maja L. Olsen, Anne Berdal, Arne Åsheim, Helene Tvete

THC: Helene Tvete

NPD og PAH: Elena Petrovich, Helene Tvete

De kjemiske analysene er utført hos SINTEF Molab AS, avdeling i Oslo, Mo i Rana og i Porsgrunn.

Kornstørrelsesfordelingen er bestemt hos SINTEF Molab AS, avdeling Glomfjord. Totalt organisk karbon er bestemt hos SINTEF Molab AS, avdeling Mo i Rana.

Biologiske analyser:

Jon Kristian Haugland (krepsdyr)

Fredrik Melsom (pigghuder)

Amund Ulfesnes (bløtdyr)

Fredrik Melsom (børstemark, varia)

Sortering er utført på DNVs Biolaboratorium på Høvik. Ludvig Søgnen Jensen og Jørgen Nordstrøm har vært ansvarlig for sortering av biologiske prøver.

Univariate analyser: Lucy Brooks

Multivariate analyser: Fredrik Melsom, Sam Arne Nøland

Utarbeidelse av rapport:

Kjemi: Helene Tvete, Hege Karlsen

Biologi: Lucy Brooks, Fredrik Melsom, Sam-Arne Nøland

Hovedrapport: Sam-Arne Nøland

Verifikasjon: Thomas Møskeland

Prosjektleder: Sam-Arne Nøland

1 RESYMÉ/ RESUMÉ

1.1 Resymé

Sedimentene er karakterisert ved kornstørrelsesfordeling og innhold av totalt organisk karbon (TOC), samt analysert for makrofauna og innhold av totalmengde hydrokarboner (THC), NPD, PAH og metaller.

Miljøundersøkelsen 2016 ved Martin Linge viser:

- Sedimentet er klassifisert som fin- og medium sand.
- Innholdet av TOC varierer fra 0,19 – 0,55 %.
- Innholdet av THC varierer fra 2 – 42 mg/kg. På fem stasjoner er det påvist forhøyede THC-konsentrasjoner, dvs. > LSC som benyttes i 2016 (5,4 mg/kg).
- Det er påvist en økning i THC-konsentrasjonene på stasjonene 250 m nord, øst og sør for feltsenteret (ML1, ML3 og ML5).
- Ba-konsentrasjonen varierer fra 21 – 1500 mg/kg.
- Ved stasjonene nærmest feltsenteret er det høye konsentrasjoner av Ba, men ingen økning i mengde Ba sammenliknet med undersøkelsen i 2015. Åtte stasjoner inneholder forhøyede konsentrasjoner av Ba sammenliknet med LSC benyttet i 2016 (108 mg/kg).
- Det er påvist en økning av Cu ved stasjonene 250 og 500 meter nord, sør og øst for senter.
- Det er ingen tydelige tegn på forstyrrelse i bunndyrsamfunnet i 2016. Ingen av de dominerende artene er indikatorer på forurensning, og de observerte endringene over tid betraktes som naturlig variasjon.

De viktigste parameterne og variasjonen på feltet:

Martin Linge	Variasjon	Beskrivelse av feltet
THC (mg/kg)	2 – 42	Det er påvist THC > LSC på fem stasjoner, alle 250 – 500 m fra feltsenteret. Konsentrasjonen har økt ved stasjonene 250 m nord, øst og sør for senteret.
Ba (mg/kg)	21 – 1500	Det er påvist Ba > LSC på åtte stasjoner, alle 250 – 500 m fra feltsenteret. Det er ingen økning i Ba-konsentrasjon.
H'	3,6 – 4,9	Ingen tydelige tegn på forstyrrelse i bunndyrsamfunnet
ES ₁₀₀	26 - 37	

1.2 Résumé

The sediments are characterized by grain size distribution and total organic carbon (TOC), and analyzed for macro fauna, hydrocarbons (THC), NPD, PAH and metals.

The 2016 survey at Martin Linge shows:

- The sediments are characterized as fine- and medium sand
- The content of TOC varies from 0.19 – 0.55 %. There is no change in TOC compared to the previous survey.
- The concentration of THC varies from 2 – 42 mg/kg. Five stations have elevated concentrations, i.e. > LSC from 2016 (5.4 mg/kg).
- There is an increase in THC concentrations at the stations 250 m north, east and south of the center (ML1, ML3 and ML5)
- The concentration of Ba varies from 21 – 1500 mg/kg.
- There are high concentrations of Ba at the stations closest to the center, but there is no increase in Ba compared to the 2015 survey. Eight stations have elevated concentrations of Ba compared to LSC from 2016 (108 mg/kg).
- There is an increase of Cu at the stations 250 and 500 meter north, south and east of the center.
- There are no significant indications of disturbance in the macro benthic community in 2016. None of the dominating species are indicators of pollution, and the observed faunal changes are considered natural variation.

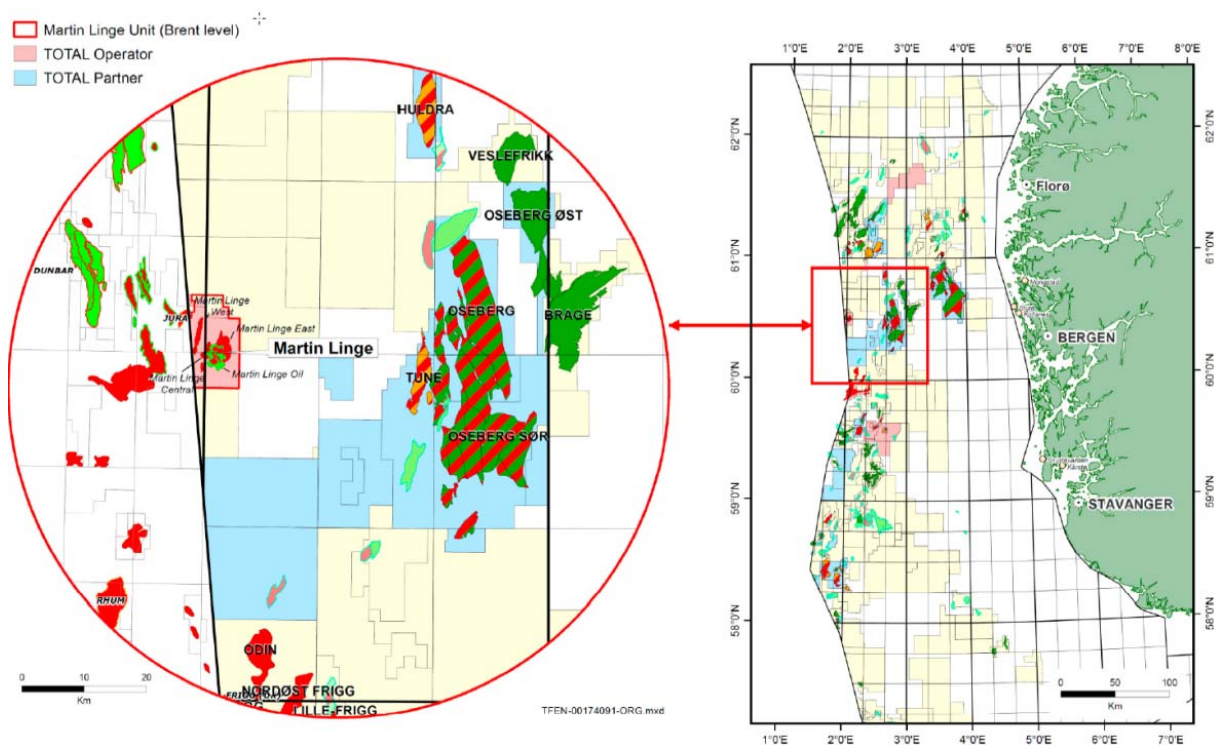
The most important parameters and variations for Martin Linge:

Martin Linge	Variation	Description
THC (mg/kg)	2 – 41	There are five stations > LSC, all 250 – 500 m from the center. The concentrations have increased at the stations 250 m north, east and south of the center.
Ba (mg/kg)	21 – 1500	There are eight stations > LSC, all 250 – 500 m from the center. There is no increase in Ba concentrations.
H'	3,6 – 4,9	No indications of disturbance in the macro benthic community.
ES ₁₀₀	26 - 37	

2 INNLEDNING

2.1 Generelt

Martin Linge er et felt under utbygging i blokk 29/6, tett opp til britisk sektor i PL 043. Total E&P Norge er operatør på feltet. Vanddyptet i området er 115 – 125 m og feltet ligger ca. 42 km vest for Oseberg. Feltet vil bli bygd ut med en integrert fast produksjonsinnretning og med FSO for lagring av olje og kondensat. Produksjonsstart av feltet er planlagt i løpet av 2018.



Figur 2.1-1 Plassering Martin Linge.

2.2 Utslipps- og boreaktiviteter

Det er til sammen boret 12 letebrønner på Hildstrukturen fra 1975 til 1982. Det ble i tillegg boret en avgrensningsbrønn i 2009/2010 (30/4-2) og et pilothull i 2013 (30/4-D). Første fase av produksjonsboringen på Martin Linge begynte i september 2014 og skal vare fram til våren 2018. Det er boret til nå 7 brønner: 3 gass/kondensatbrønner, 3 oljeprodusenter og 1 brønn for reinjeksjon av produsert vann.

Utslippstall siden forrige undersøkelse er vist i Tabell 2.2-1. Både vannbasert og oljebasert borevæske er brukt for boring av brønnene. TOTAL E&P Norge fikk i 2014 tillatelse til å slippe ut borekaks med vedheng av oljeborevæske etter termomekanisk behandling. Det ble sluppet ut ca 9 tonn olje på kaks; hvorav ca. halvparten etter forrige undersøkelse i juni 2015. Det har ikke vært utslipp av borekaks med olje vedheng etter september 2016.

Tabell 2.2-1 Utslippstall Martin Linge. Forrige undersøkelse ble utført i juni 2015. Før juni ble det sluppet ut ca. 5 tonn TCC-olje på kaks og 1500 tonn TCC-oljebasert borekaks. Etter juni var tallene henholdsvis ca. 4 og 900 tonn.

Martin Linge	2012	2013	2014	2015	2016*
Type utslipp/ aktivitet		Pilothull	Produksjonsboring	Produksjonsboring	Produksjonsboring
Antall brønner boret	0	1	6 (topphull)	4	2
Utslipp (tonn)					
Baritt	0	75	596,4	1040	170
Borekaks	0	142,5	6753,6	209	1648
Vannbasert borevæske (inkl. borevæske på kaks)	0	537,6	11750,1	1530	1844
TCC-Oljebasert borekaks	0	0	0	2460	0
TCC-Olje på kaks	0	0	0	9	0
Sementeringskjemikalier	0	1,5	239,2	39	9
Kompletteringskjemikalier	0	0	0	1154	0
Olje i produsert vann/forurenset vann-kg	0	0	25,25	200,36	16,08
Uhellsutslipp (m ³)	0	0	0		
Vannbasert borevæske		0	0	0	0
Oljebasert borevæske		0	0	5	0
Andre oljeutslipp/ lekkasjer		0	0	0	0

*: 1. halvår

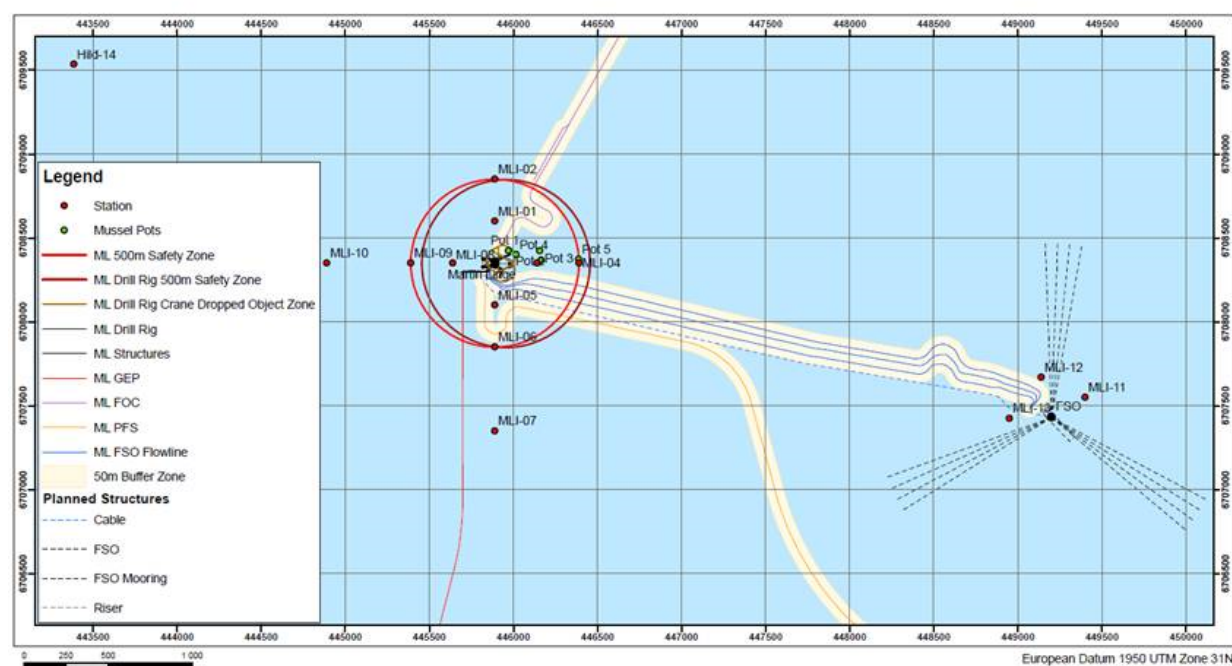
2.3 Tidligere undersøkelser

En oversikt over Martin Linge feltet er vist i Figur 2.3-1.

TOTAL E&P NORGE AS

Geosciences June 2015

Martin Linge



Figur 2.3-1 Oversiktskart over Martin Linge med undervannsstrukturer og sedimentstasjoner 2015.

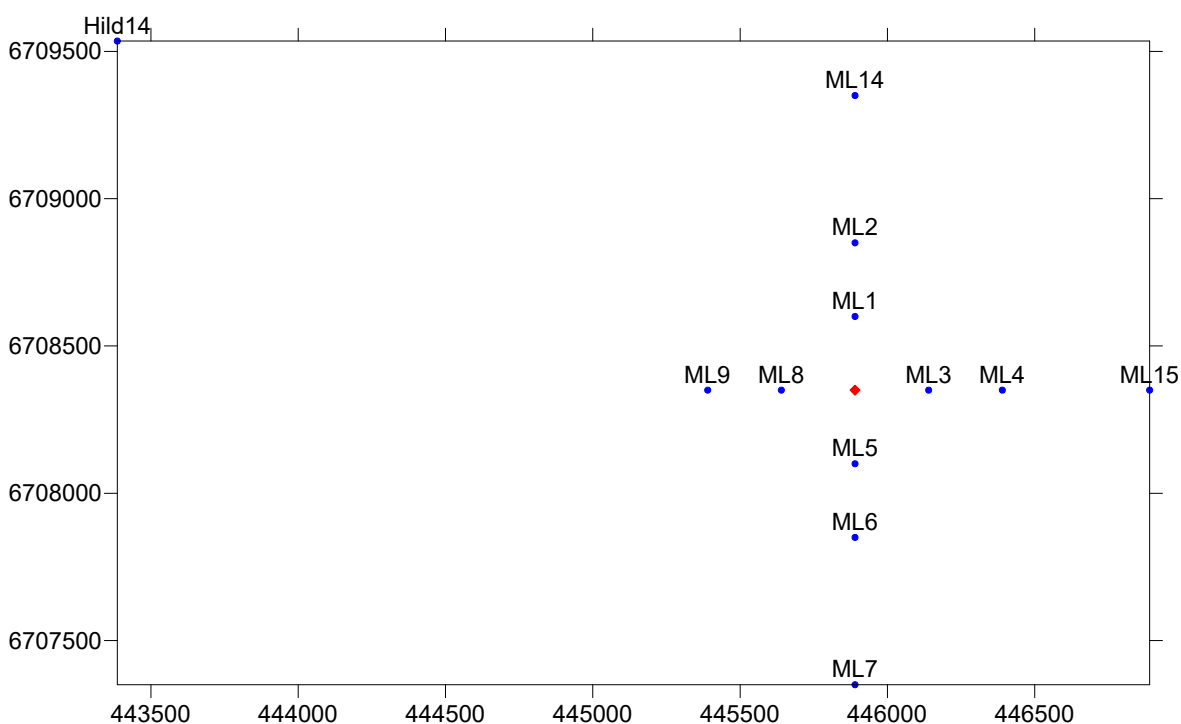
Det ble gjennomført grunnlagsundersøkelser i 2007 (Heggøy et al., 2008) og 2013 (Mannvik et al. 2014). Grunnlagsundersøkelsen i 2013 bestod av et aksekors med den kommende Martin Linge-installasjonen som senter. Feltlokasjon ble forskjøvet ca. 1,5 km vest i forhold til avgrensningsbrønn 30/4-2. Orienteringen i aksekorset var nord-sør da hovedstrømretning ble antatt å være i sørlig retning. Det ble i tillegg lagt inn tre punkter rundt FSOen som er lokalisert ca. 3 km øst for Martin Linge-plattformen. Det er ingen planlagte prosessutslipp i tilknytning til FSOen.

Undersøkellesprogrammet i 2015 (DNV GL, 2016) var det samme som i 2013 med unntak av at stasjonene rundt avgrensningsbrønnen 30/4-2 (HIL-01, -02, -03 og -04) ble utelatt samt at ML12 ble flyttet østover pga. konflikt med undervannsinstallasjoner. Plasseringen av ML12 var tidligere 314°/350m, og i 2015 ble den endret til 346°/247m.

2.4 Program 2016

Programmet for 2016 er noe endret siden 2015 basert på resultater fra 2015-undersøkelsen: stasjonene ML10, -11 og -12 er utelatt, mens det er inkludert to nye stasjoner i 1000 m avstand mot nord og øst, se Figur 2.4-1. Som i 2007, 2013 og 2015 er Hild14 benyttet som referansestasjon. Den regionale stasjonen R22, som ble etablert i 2010, er ikke inkludert ettersom Martin Linge ikke inngår i en regional undersøkelse i 2016.

Detaljerte kart med sedimentstasjoner er gitt i kap. 4.



Figur 2.4-1 Stasjonskart for Martin Linge, 2016.

3 MATERIALE OG METODER

3.1 Feltarbeid

3.1.1 Gjennomføring

Undersøkelsen omfattet innsamling og kjemiske og biologiske analyser av sedimenter, samt karakterisering av sedimentene. Prøvetaking og analyser er gjennomført iht. *Miljøovervåking av petroleumsvirksomheten til havs* (M 300|2015) og DNV GLs og SINTEF MOLABs akkrediterte metoder for denne type arbeid (Test 083 og 032).

Toktet foregikk fra Polar King 24 - 27. mai 2016. Sedimentprogrammet omfattet stasjoner og parametere som oppgitt i Tabell 3.1-1 og Tabell 3.1-2.

Tabell 3.1-1 Stasjonsopplysninger for Martin Linge, 2016 (ED50, UTM sone 31).

St. nr.	Dyp	Grader	Avstand (m)	UTM Øst	UTM Nord	Kommentar
Senter				445890	6708350	
ML1	113	0	250	445890	6708600	
ML2	112	0	500	445890	6708850	
ML3	110	90	250	446140	6708350	
ML4	111	90	500	446390	6708350	
ML5	112	180	250	445890	6708100	
ML6	111	180	500	445890	6707850	
ML7	107	180	1000	445890	6707350	
ML8	110	270	250	445640	6708350	
ML9	108	270	500	445390	6708350	
ML14		0	1000	445890	6709350	Ny
ML15		90	1000	446890	6708350	Ny
Hild14	106	295	2770	443386	6709535	

Tabell 3.1-2 Analyseprogram for Martin Linge 2016.

St. nr.	Korn	TOM	THC	NPD/PAH	Metaller	Bio
ML1	1	1	3		3	5
ML2	1	1	3		3	5
ML3	1	1	3		3	5
ML4	1	1	3		3	5
ML5	1	1	3	3	3	5
ML6	1	1	3	3	3	5
ML7	1	1	3		3	5
ML8	1	1	3		3	5
ML9	1	1	3		3	5
ML-14	1	1	3		3	5
ML-15	1	1	3		3	5
Hild14	1	1	3	3	3	5
Sum	12	12	36	9	36	60

Prøvetakingen som ble utført er standard for denne type undersøkelser og følgende utstyr ble benyttet:

- Langarmet van Veen grabb, offshore type (Delprodukter merket B15)
- Ekstra langarmet van Veen grabb, offshore type (Delprodukter merket B1)
- Kortarmet van Veen grabb (B26)
- Kombigrabb – modifisert van Veen (0, 15m² overflateareal, tar kjemi- og biologiprøver i samme hugg) (merket B23)
- Mottaksbord i rustfritt stål
- Målesylinder
- Vaskebord
- Sikter (5 mm og 1,0 mm runde hull)
- DNVs vinsj med aggregat leid inn fra Karmøy Winch.

De biologiske prøvene ble tilsatt formalinløsning (bufret med hexamin) med fargestoff (bengalrosa). Prøvene ble oppbevart på plastspann, og lagret i finérkasser. Sedimentprøver til kjemiske analyser ble oppbevart i rilsanposer eller i plastbegere. Medbrakt dypfryser ble benyttet for lagring av kjemiske prøver.

3.1.2 Kvalitetssikring

Prøvetaking ble utført i henhold til akkrediterte prosedyrer beskrevet i Biolaboratory Management System; *Prøvetaking av marint sediment og bløtbunnsanalyser*. Det ble spesielt lagt vekt på at sedimentoverflaten i prøven var uforstyrret og at vasking/sikting av faunaprøvene ble utført skånsomt. Alle prøvene ble dobbeltmerket og pakket i solide kasser for å unngå skade på prøve-emballasjen.

3.2 Biologiske analyser

3.3 Biologiske analyser

3.3.1 Makrobenthos – en introduksjon

Bunnfauna er dyr som lever på og i sediment (sand, silt eller leire) og inkluderer følgende taksonomiske dyregrupper: børstemark (Polychaeta), krepsdyr (Crustacea), bløtdyr (Mollusca), pigghuder (Echinodermata) og Varia (samlegruppe for øvrige grupper). Kun dyr større enn 1 mm (makrobenthos) ble tatt med i undersøkelsen.

Metodene som er benyttet er i overensstemmelse med Retningslinjer for Miljøovervåking (TA 2848) og prosedyrene er beskrevet i DNV GLs Biolaboratoriets kvalitetssystem: "Prøvetaking av marint sediment og bløtbunnsanalyser".

Sammensetningen av bunndyrsamfunn gir informasjon om effekt av utslipp rundt oljeinstallasjoner. Grunnen til at bunndyr foretrekkes i denne typen undersøkelse er at de fleste artene er relativt stasjonære (de kan ikke flykte fra utslipp), noe som gjør at forandringer i artssammensetning og tetthet relativt lett kan påvises. De forekommer også i relativt høyt antall, noe som er gunstig ved statistisk behandling.

Sammensetningen av faunaen kan relateres til naturlig variasjon av miljøparametere som dyp og sedimenttype, samtidig som den kan relateres til forurensningsparametere som f.eks. metall- og hydrokarboninnhold i sedimentet. Bunnfauna nær olje- og gassinstallasjoner påvirkes av en rekke faktorer som kan spores tilbake til installasjonenes utslipp (borekaks, borevæske, olje og andre kjemikalier) samt fysiske forstyrrelser. Med utslipp menes både planlagte og ikke-planlagte utslipp.

Et flytdiagram som viser de forskjellige trinn i opparbeidelsen av makrofauna er vist i Figur 3.3-1.

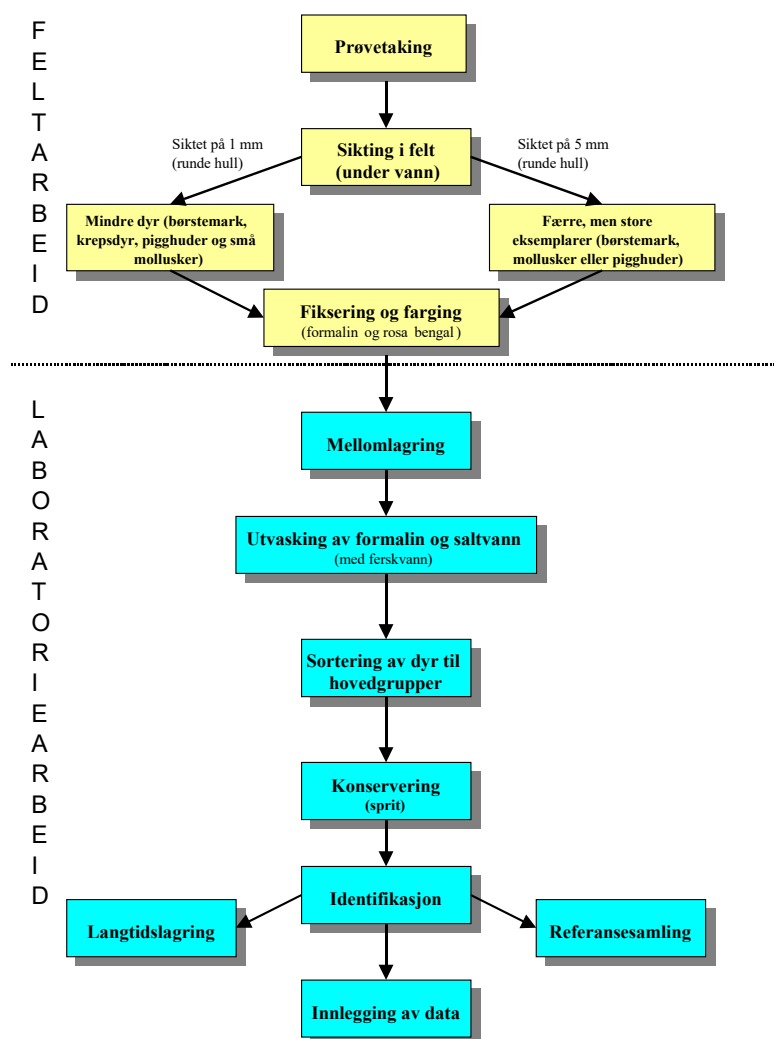
3.3.2 Sortering og artsbestemmelse

Under feltarbeidet ble prøvene vasket og siktet på 1 mm sikter. På laboratoriet ble prøvene vasket i 1 mm sikter for å fjerne formalin og rester av sedimentet. Sikteresten ble overført til en bakk. Deretter ble individene plukket ut for hånd under lupe.

Dyrene ble delt inn i taksonomiske hovedgrupper og oppbevart i 70 % sprit før artsbestemmelse.

Med unntak av dyregruppene som er nevnt under, ble alle individer bestemt til lavest mulig taksonomisk nivå (fortrinnsvis til artsnivå). Nematoda, Foraminafera og kolonidannende dyr (f.eks. Porifera og Bryozoa) ble kun registrert som tilstedeværende eller fraværende og ingen av disse er tatt med i analysene. Noen grupper (f.eks. Platyhelminthes, Nemertini, Tunicata, Tanaidacea) ble kvantifisert, men ikke bestemt videre til art.

Små individer som ikke lot seg artsbestemme fordi karaktertegn manglet, ble registrert som juvenile. Det er utarbeidet en egen referansesamling for undersøkelsen.



Figur 3.3-1 Flytdiagram fra prøvetaking til innlegging av artsdata i programvare.

3.3.3 Statistiske metoder

Følgende matematiske og statistiske metoder er brukt som verktøy til å tolke resultatene:

- Antall arter pr. arealenhet.
- Antall individer pr. art.
- Shannon-Wieners diversitetsindeks, H' (Shannon & Weaver 1963). Indeks for artsmangfold.
- Forventet antall arter i per 100 individer (ES100) (Sanders rarefaction 1968). Indeks for artsmangfold.
- Enkelte indekser fra vannrammedirektivet er inkludert:
 - NSI og ISI: Sensitivitetsindekser som er tilpasset norsk fauna (Rygg og Norling 2013), beskriver i hvilken grad faunasamfunnet består av tolerante eller følsomme arter.
 - NQI1: Gir et samlet mål for artsmangfold og førsomhet, basert på AMBI-indeksen for faunaforstyrrelse (Borja et al. 2000) og antall arter og individer i en prøve.

Disse indeksene er oppgitt sammen med eksisterende indekser, men er ikke normalisert for bruk i vannrammedirektivets klassifiseringssystem for tilstandsklasser ettersom dette ikke relevant for offshoreundersøkelser.

- Alle analysene er basert på vedlagte artslistene (på minnepinne). Det er i tillegg benyttet ulike multivariate analyseteknikker (se nedenfor).
- Faunalikhet mellom stasjonene er undersøkt ved utregning av Bray-Curtis likhets indeks δ_{jk} (Bray & Curtis 1957). Likhetsmatrisen ble benyttet i multivariate analyser for å se på gradienter og grupperinger stasjonene i mellom. Metodene som ble brukt var hierarkisk grupperingsteknikk som grupperer stasjoner etter gjennomsnittlig likhet (hierarchical agglomerative classification) (Lance & Williams 1967), og ordinasjon med "non-metric Multi-Dimensjonal Scaling (MDS)", (Kruskal and Wish 1978).
- Klassifikasjon, MDS- og PCA-ordinasjon samt BIOENV og SIMPER ble gjennomført med programpakken PRIMER (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research).
- Tabell over de 10 tallmessig dominerende arter ved hver stasjon er utarbeidet.

Rådata er lagret i miljøovervåkingsdatabasen (MOD) og finnes i appendiks B på vedlagte minnepinne.

3.3.4 Kvalitetssikring

Kvalitetssikringen av resultater og rapport er basert på egensjekk og intern verifikasjon.

Prosedyrer inkl. rutiner for kvalitetskontroll i forbindelse med opparbeiding, artsbestemmelse og registrering av bløtbunnsprøver, er gitt i *Biolaboratory Management System* (for metoden "Prøvetaking av marint sediment og bløtbunnsanalyser").

I korte trekk ble følgende gjennomført:

I felt ble stasjonsposisjoner sjekket ved hjelp av to ulike systemer, alle grabbhugg journalført og prøvene dobbeltmerket. Prøvene ble fraktet i spesialkasser, og i laboratoriet ble all sortering loggført

(hvem som sorterte når, tidsforbruk for hver prøve, antall glass til oppbevaring, spesielle observasjoner). Hver prøve ble kontrollert av en på forhånd godkjent kontrollør.

Hver artsbestemmer har utarbeidet en egen referansesamling som ved tvil ble sammenlignet med DNV GLs referansesamling. Ved tvil i artsbestemmelsen er dette påpekt i artslisten. For å oppnå sporbarhet har hver artsbestemmer signert ut hvilke grabber og dyregrupper vedkommende har bestemt. Referansesamlingen er lagret hos DNV GL.

Alle registrerte artsnavn blir sjekket i WoRMS (World Register of Marine Species) for å oppdatere artssystematikken som er i kontinuerlig endring. Alle artsnavn på listene i rapportens vedlegg er WoRMS-validerte artsnavn (der parenteser i artsnavnene forekommer, er disse slik de er registrert i WoRMS), med tre unntak:

- Til tre arter blir suffiksen *complex* brukt: i) *Chaetozone setosa complex*- Grunnet flere arter som er vanskelige å skille fra hverandre under stereomikroskopet, blir disse sett på som en vanskelig gruppe. For å kunne identifisere artene riktig trengs chaetae å undersøkes under mikroskop. Definisjonen som blir brukt for denne gruppen er: «Bakre segmenter med en nesten komplett ring av modifiserte chaetae/kroker». ii) *Lumbrineris scopa complex* og iii.) *Lumbrineris aniara complex*. Etter ekskludering av andre arter som har lett gjenkjennelige morfologiske trekk under stereomikroskopet, som *Augenaria*, *Abyssoninoe* m.m., blir de øvrige registrert under "complex" gruppen. *Scopa complex*: spiss prostomium. *Aniara complex*: rund prostomium.
- Endelsen *juv.* står for juvenile individer.
- *Cf* indikerer usikkerhet i artsbestemmelsen, brukt for arter som likner en kjent art men har noen forskjellige morfologiske trekk. Eksempelvis indikerer *Byblis c.f. gaimardii* at det trolig er denne arten men at det er usikkert på artsnivå (ikke slektsnivå).

Detaljer om kvalitetssikringsrutiner og -resultater er omtalt i Appendiks B.

3.4 Kjemiske analyser og sedimentkarakterisering

3.4.1 Oversikt over analyseparametere

Analyse	Parameter
<u>Sedimentkarakterisering</u>	
Kornstørrelsesfordeling:	- Fordeling av silt og leire (< 63µm) og sand (>63µm) - Kumulativ vekt% fordeling fra 63-2000µm - Median partikkeldiameter (Md), standard avvik (SD), skjevhet (Sk) og kurtosis (K)
Totalt organisk karbon:	- % TOC i sedimentet
<u>Kjemiske analyser</u>	
Hydrokarboner	-THC, sum C12-C35 -NPD, naftalener, fenantrener og dibenzotiofener, sum og enkeltforbindelser -PAH, 16 EPA forbindelser, sum og enkeltforbindelser
Metaller	- Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ti, Zn

3.4.2 Sedimentkarakterisering

3.4.2.1 Kornstørrelsesfordeling

Metoden for bestemmelse av kornstørrelsesfordeling i sedimentprøver er beskrevet i Buchanan (1984). Metoden består av en hurtig, mekanisk separasjon av sandfraksjonen ($> 63 \mu\text{m}$) fra silt og leire. Denne sandfraksjonen tørkes og siktes gjennom et sett med graderte sikter.

De tre grabbprøvene fra 0-5 cm sjiktet på hver stasjon ble blandet og homogenisert, og en homogenisert prøve ble analysert. Ca. 10 g ble veid ut til nærmeste 0,01 g før våtsikting på en $63 \mu\text{m}$ sikt. En egen prøve ble innveid, tørket og tørrvekten ble bestemt. Prosent silt og leire ($< 63 \mu\text{m}$) i tørr prøve ble så beregnet.

Den gjenværende sandfraksjonen ($> 63 \mu\text{m}$) ble tørket ved 105°C , og siktet på nytt i tørr tilstand. En serie Retsch graderte sikter (Endecott Test Sieves, London) med mesh størrelser fra 2000 til $63 \mu\text{m}$ ble brukt. Prøven ble ristet på en Retsch KG testing sieve shaker i ti minutter. Vekten av hver fraksjon ble bestemt til nærmeste 0,01 g. En kumulativ vekt % fordeling ble beregnet, og beregningene ble videre brukt til å bestemme median partikkel diameter og avvik, skjevhet og kurtosis for partikkelstørrelsesfordelingen. Fordi partikkelstørrelsesfordelingen for fraksjonen $< 63 \mu\text{m}$ ikke ble bestemt, ble ϕ -verdien for denne samlefraksjonen satt lik 8 (beskrevet i Faksness 1998). Verdiene for $Md\phi$, $SD\phi$, $Sk\phi$ og $K\phi$ må derfor betraktes som ekstrapolerte resultater.

Formler brukt for beregninger av $Md\phi$, $SD\phi$, $Sk\phi$ og $K\phi$:

$Md\phi$ (median partikkel diameter):

$Md\phi$ = verdien til midtpunktet (dvs. 50 %) til den kumulative % vektkurven.

$SD\phi$ (standard avvik):

$SD\phi$ estimeres ved:

$$SD\phi = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$$

$SD\phi$ gir et mål for spredning i partikkelstørrelse rundt $Md\phi$, og således et mål for sorteringsgraden.

$Sk\phi$ (skjevhet):

$Sk\phi$ estimeres ved:

$$Sk\phi = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2Md\phi}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2Md\phi}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

$Sk\phi$ beskriver symmetrien av spredningen i fordelingen rundt $Md\phi$. En fullstendig symmetrisk fordeling vil ha $Sk\phi = 0$, negative verdier indikerer forskyvning av fordelingskurven mot grovere sediment, og positiv $Sk\phi$ verdier indikerer forskyvning mot finere sediment.

Kurtosis, $K\phi$:

$K\phi$ estimeres ved:

$$K\phi = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$$

$K\phi$ beskriver toppetheten til fordelingen, dvs. hvor tung halene er (uttrykt ved ϕ_5 og ϕ_{95} fraksjonene) sammenlignet med den sentrale delen av fordelingen. For en normal fordeling vil $K\phi$ verdien være 1,00.

Oversikt over meshverdier og kornstørrelsesparametere er gitt i Tabell 3.4-1 og Tabell 3.4-2.

Tabell 3.4-1 Kornstørrelsefordeling. Mesh størrelser og Wentworth klassifisering (Buchanan, 1984)

Mesh diameter (μm)	ϕ	Beskrivelse
4000	-2	Grus
2000	-1	
1000	0	Grov sand
500	1,0	
355	1,5	Medium sand
250	2,0	
180	2,5	Fin sand
125	3,0	
90	3,5	Veldig fin sand
63	4,0	
<63	>4,5	Silt og leire (pelitt)

ϕ -verdien for silt og leire fraksjonen blir satt lik 8.

Tabell 3.4-2 Tolkning av beskrivende størrelser.

	Indeksverdi	Tolkning
Standardavvik ($SD\phi$)	<0,35	svært godt sortert
	0,35-0,50	godt sortert
	0,50-0,71	moderat godt sortert
	0,71-1,00	moderat sortert
	1,00-2,00	dårlig sortert
	2,00-4,00	svært dårlig sortert
	>4,00	ekstremt dårlig sortert
Skjevhet ($Sk\phi$)	+1,00 til +0,30	meget skjev mot finkornig
	+0,30 til +0,10	skjev mot finkornig
	+0,10 til -0,10	symmetrisk
	-0,10 til -0,30	skjev mot grovkornig
	-0,30 til -1,00	meget skjev mot grovkornig
Kurtosis ($K\phi$)	<0,67	meget platykuritisk
	0,67-0,90	platykuritisk (flat-toppet)
	0,90-1,11	mesokuritisk (nærmest normal)
	1,11-1,50	leptokuritisk (overdreven toppet)
	1,50-3,00	meget leptokuritisk

3.4.2.2 Totalt organisk karbon

De tre grabbprøvene fra 0-5 cm sjiktet på hver stasjon ble blandet og homogenisert, og en homogenisert prøve ble analysert. TOC er bestemt etter NS-EN 13137 metode A ved at total karbon bestemmes i induksjonsovn, og uorganisk karbon bestemmes ved å løse prøven i fortynnet fosforsyre. TOC beregnes da som differansen mellom total karbon og total uorganisk karbon.

3.4.3 Kjemiske analyser

3.4.3.1 Hydrokarboner

Prøveopparbeidelse:

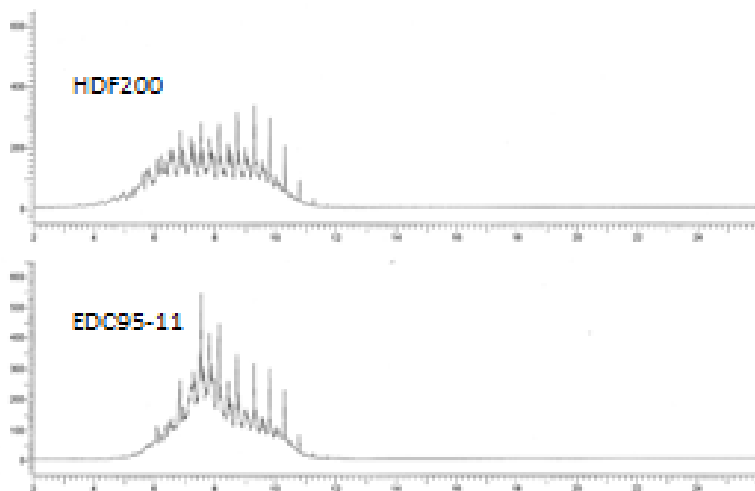
Sedimentprøvene til analyse av THC (n-C12 – n-C35) PAH og NPD ble opparbeidet med forsåpning med påfølgende ekstraksjon med dikormetan og opprensing på silika-kolonne etter bytte av løsningsmiddel til heksan. De viktigste trinnene i analyseprosedyren er vist i Figur 3.4-2.

Kvantifisering:

Innholdet av THC ble bestemt ved bruk av GC-FID, mens innholdet av PAH og NPD ble bestemt ved bruk av GC-MSMS.

THC ble bestemt med gasskromatografi i kokepunktområdet n-C12 alkan til n-C35 alkan. Resultatene ble korrigert for bakgrunnsverdier fra blindprøver.

Kvantifiseringen ble utført med bruk av en ekstern standardkurve av referanseoljen boreslamsolje HDF 200, som er benyttet ved tidligere overvåkningsprosjekter. Boreslamoljen som er foreslått benyttet i forslag til ny aktivitetsforskrift, EDC95-11, ble sammenliknet med HDF200; begge standardkurver viser en $R^2 > 0,999$ i en 4-punkts kurve (0,1-1 mg/ml) og $R^2 > 0,998$ i en 7-punkts kurve (0,1-10 mg/ml). Demings regresjon viser ingen forskjell mellom de to 7 punkts kurvene. (Slope 1,256 [1,098 to 1,413]. Intercept -0,0581 [-0,2362 to 0,1199]).



Figur 3.4-1 GC-FID kromatogram; HDF200 er vist øverst og EDC95-11 nederst.

I tillegg ble fire tilfeldige prøver i ulike konsentrasjonsområder fra fjorårets sedimentovervåking kjørt og beregnet ut fra begge kurvene:

Tabell 3.4-3 Resultater fra sammenlikning av prøver beregnet ved bruk av ulike referanseoljer

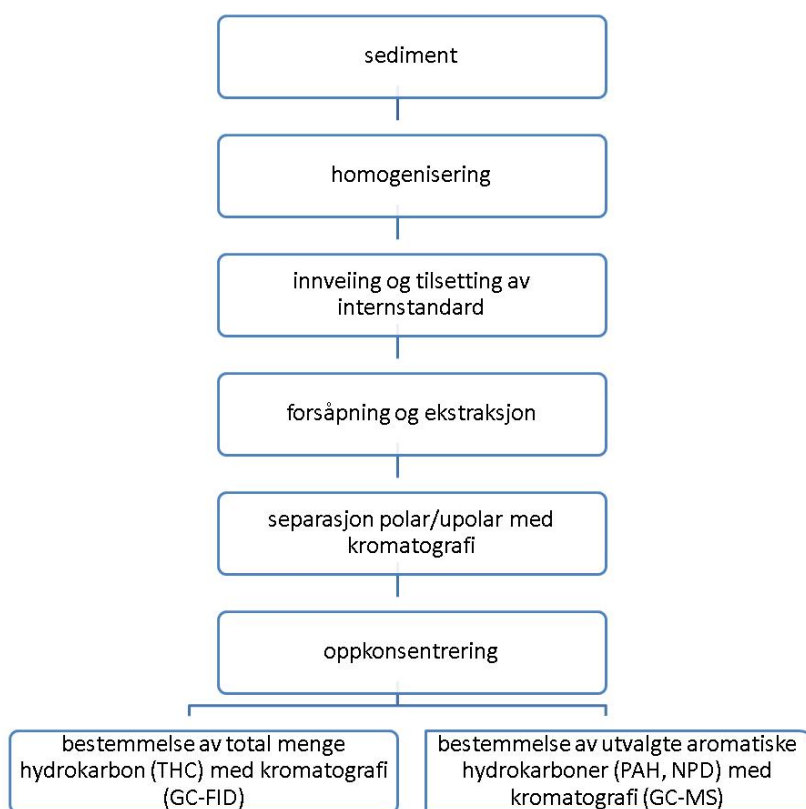
Prøvenummer	Beregnet med EDC95-11	Beregnet med HDF200	Forskjell (%)	Forskjell (mg/kg)
1	5,5	4,8	-12	0,68
2	4,9	4,2	-13	0,65
3	12,8	11,8	-7,7	0,99
4	45,9	43,5	-5,2	2,40

EDC95-11 gir gjennomgående noe høyere resultater enn HDF200, men det er ikke signifikant da forskjellen er mindre enn metodens usikkerhet, og demings regresjon viser heller ingen forskjell mellom de to resultatene i de fire prøvene. (Slope 0,957 [0,956 to 0,958]. Intercept -0,443 [-0,452 to -0,433]).

På bakgrunn av at det ikke er påvist en signifikant forskjell mellom resultater beregnet ut fra de to ulike kurvene, benyttes HDF200 som ekstern standardkurve i årets prosjekt.

PAH og NPD ble bestemt ved GC-MSMS med deuturerte forbindelser som internstandarder samt en ekstern standardkurve.

Alle resultater er korrigert for bidrag fra løsningsmidlene (blindverdier).



Figur 3.4-2 Oversikt over de viktigste trinnene ved bestemmelse av hydrokarboner (THC, PAH, NPD) i sedimenter.

3.4.3.2 Metaller

Den kjemiske analysen av metaller inkluderer bestemmelse av Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ti og Zn med salpetersyreoppslutning (NS 4770).

Sedimentprøven ble tørket ved 40 °C i 2 døgn, homogenisert og siktet gjennom et 0,5 mm nylon nett. 1 g av sedimentfraksjonen < 0,5 mm ble ekstrahert med 20 mL 7 M salpetersyre i en pyrex oppslutningskolbe i en autoklav ved 120° i 30 min. Etter avkjøling ble 80 mL avionisert vann tilsatt. Løsningen ble deretter blandet godt, og etter sedimentering ble den klare løsningen dekantert over i en polyetylenflaske.

Det ble ved bestemmelsen av Ba, Cr, Cu, Ti, Pb og Zn benyttet ICP-AES, induktivt koplet plasma optisk emisjonsspektrometer. Cd ble bestemt ved bruk av ICP-MS, induktivt koplet plasma massespektrometer (ICP-MS), mens Hg ble bestemt ved bruk av CV-AAS, atomadsorpsjon kald damp teknikk. Bestemmelsene av Ba, Cr, Cu, Ti, Pb og Zn er utført i hht. NS-EN ISO 11885/ICP-AES. Bestemmelse av Cd er utført i hht. NS-EN 14385. Hg er bestemt etter intern metode i hht. NS-EN 1483.

3.4.3.3 Kvantifiseringsgrenser

Deteksjonsgrense og kvantifiseringsgrense

Deteksjonsgrensen (limit of detection LOD) og kvantifiseringsgrensen (limit of quantitation LOQ) er beregnet som henholdsvis 3 og 10 standardavvik over gjennomsnittsverdien for blindprøvene. Dette er kriterier gitt av ACS Committee on Environmental Improvements (1980). Deteksjonsgrensene (LOD) og kvantifiseringsgrensene (LOQ) kan finnes i Tabell 3.4-4.

Tabell 3.4-4 Deteksjonsgrenser (LOD) og kvantifiseringsgrenser (LOQ), hydrokarboner og metaller

Analyseparameter	LOD	LOQ
	mg/kg	mg/kg
THC*	1	3
Sum NPD	0,01	0,03
Sum PAH	0,001	0,02
Ba	1	3
Cd (ICP-MS)	0,01	0,03
Cr	0,1	0,3
Cu	0,5	2
Hg	0,01	0,03
Pb	0,5	2
Ti	1	3
Zn	1	3

* anslått ut fra analyse av blindprøver

3.4.4 Kvalitetssikring

Sintef Molab as er akkreditert av Norsk Akkreditering for kornstørrelsesfordeling og kjemiske analyser under akkrediteringsnr.: Test 032. Akkrediteringen er i henhold til NS-EN ISO/IEC 17025. Detaljerte resultater finnes i Appendiks C.

Kvalitetskontroll for kornstørrelsesfordeling

Metoden er sjekket med referanseprøver som er siktet ved et annet akkreditert laboratorium. En husstandard blir analysert for hver 10. prøve etter samme prosedyre som de reelle prøvene og resultatene blir plottet inn på kontrollkortet.

Kvalitetskontroll for totalt organisk karbon

Analysen av totalt organisk karbon er ikke akkreditert i 2015, men det er gjort sammenliknende tester (SLP) med andre laboratorier med tilfredsstillende resultat. En husstandard, basert på en blandprøve fra ulike sedimenter, er validert internt og utvekslet med akkreditert laboratorium med god overenstemmelse. Analyse av TOC vil bli akkreditert i løpet av første kvartal 2016.

Kvalitetskontroll for hydrokarboner

Analyseprosedyrene blir kontrollert regelmessig ved analyse av kvalitetssikringsprøver og blindprøver. Standardprøver med mineralolje analyseres hver gang det utføres en THC analyse. Husstandarder analyseres regelmessig, og resultatene plottes inn på kontrollkort. Sertifiserte referansematerialer analyseres for kontroll av nøyaktigheten.

Laboratoriet deltar regelmessig i sammenlignende laboratorieprøvinger internasjonalt for THC og PAH. For PAH og NPD gjennomføres i tillegg en sammenligning med et annet akkreditert laboratorium.

Kvalitetskontroll for metaller

Alle reagenser er av graden pro analyse. Et sertifisert referansemateriale, husstandarder og blindprøver blir analysert sammen med prøvene i hver analyserunde.

De sertifiserte verdiene gjelder total oppslutning. Sertifiserte verdier for NS 4770 (partiell oppslutning) finnes ikke. På laboratoriet er det imidlertid etablert en "referanseverdi" for partiell oppslutning ved analyse av det sertifiserte referansematerialet i perioden 1999-2012. Prøvene blir analysert på nytt dersom resultatene for referansematerialet ligger utenfor gitte krav.

Nøyaktighet og reproduserbarhet kontrolleres ved analyse av det sertifiserte referansematerialet.

3.4.5 Grenseverdier for kontaminering

For THC, utvalgte hydrokarboner og metaller vil det alltid være et naturlig bakgrunnsnivå i sedimentene. En statistisk behandling av analyseresultatene gjør det mulig å bestemme et nivå hvor vi kan si at sedimentprøven inneholder signifikant høyere verdier av hydrokarboner og metaller enn referansenivået (ikke forurensset nivå).

For innholdet av THC, NPD, PAH og metaller i sedimentene er det beregnet en grense for signifikant kontaminering. Denne grenseverdien kalles LSC (Limit of Significant Contamination).

De statistiske beregningene av LSC-verdier er basert på en normalfordeling av dataene og en ensidig t-test ved et konfidensintervall på 95 %.

LSC-verdiene (Tabell 3.4-5) som er benyttet i denne rapporten er LSC beregnet for grunn subregion i Region 3 i 2016 (LSC Reg III 2010-16Grunn). Verdiene er utarbeidet av Akvaplan-niva i forbindelse med regional overvåking av Region 3 2016 (rapporten er under utarbeidelse).

Tabell 3.4-5 Grenseverdier for kontaminering (LSC) for Region 3 i 2016 (pers. med. Ingar Wassbotten, Akvaplan-
niva 2016).

	THC	NPD	16 EPA	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn	As
LSC Reg III 2010-16Grunn	5,4	0,031	0,028	108	0,028	6,4	1,6	0,097	4,5	7,5	1,9
LSC Reg III 2010-16 Dyp	34,2	0,563	0,712	563	0,115	66,2	20,5	0,360	52,5	97,4	13,5

3.5 Avvik fra program/retningslinjer

I tabeller i rapporten er konsentrasjoner ned til deteksjonsgrensen (LOD) oppgitt. I henhold til Norsk Akkreditering er ikke verdier mellom LOD og LOQ akkreditert.

TOC er ikke akkreditert.

4 RESULTATER

4.1 Prøvetaking

Stasjonsnett og bilde av typisk sediment fra feltet er vist i Figur 4.1-1 og Figur 4.1-2.

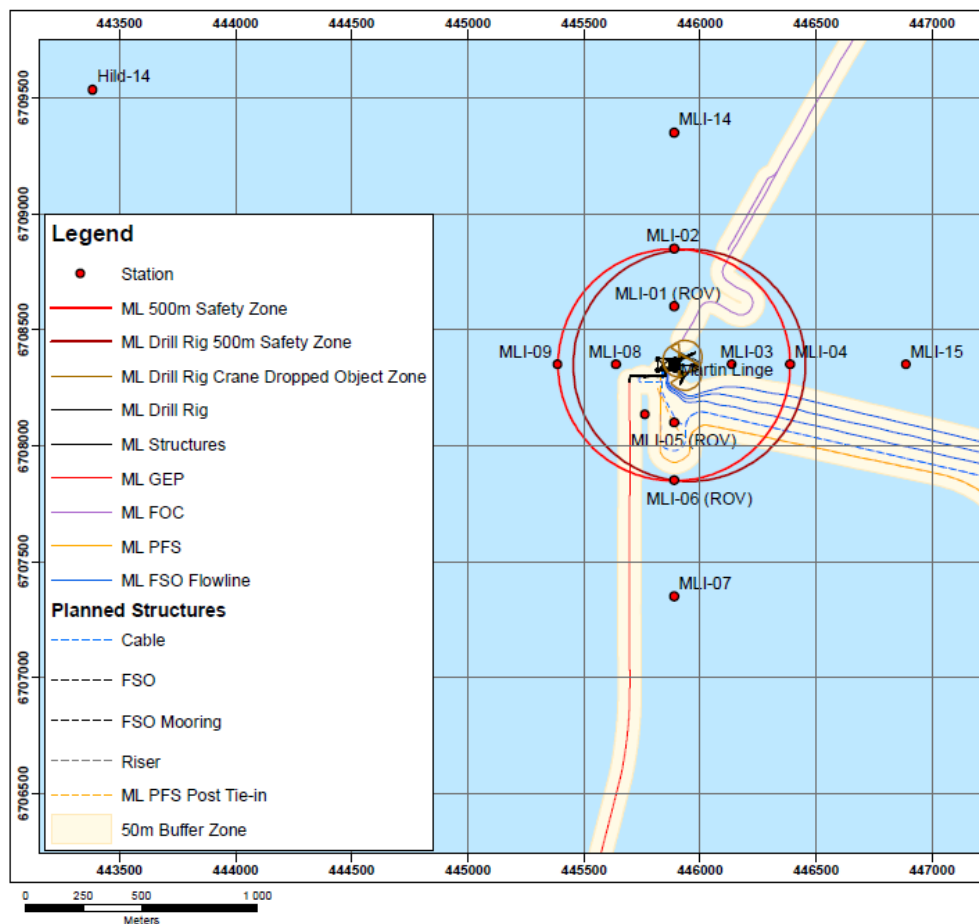
På tre av stasjonene ble det gjennomført visuell inspeksjon med ROV før prøvetaking på grunn av potensielle konflikter med installasjoner på havbunnen.

Prøvetaking ble utført i henhold til programmet uten nevneverdige problemer. Sedimentet ble beskrevet som fin sand.

Koordinater og detaljer fra prøvetaking finnes i toktrapporten i Appendiks A.



Figur 4.1-1 Typisk sediment (ML14) fra Martin Linge 2016.



Figur 4.1-2 Stasjonsplassering og undervannsstrukturer ved Martin Linge feltcenter.

4.2 Sedimentkarakterisering

Kornstørrelsesfordeling og totalt organisk karbon (TOC)

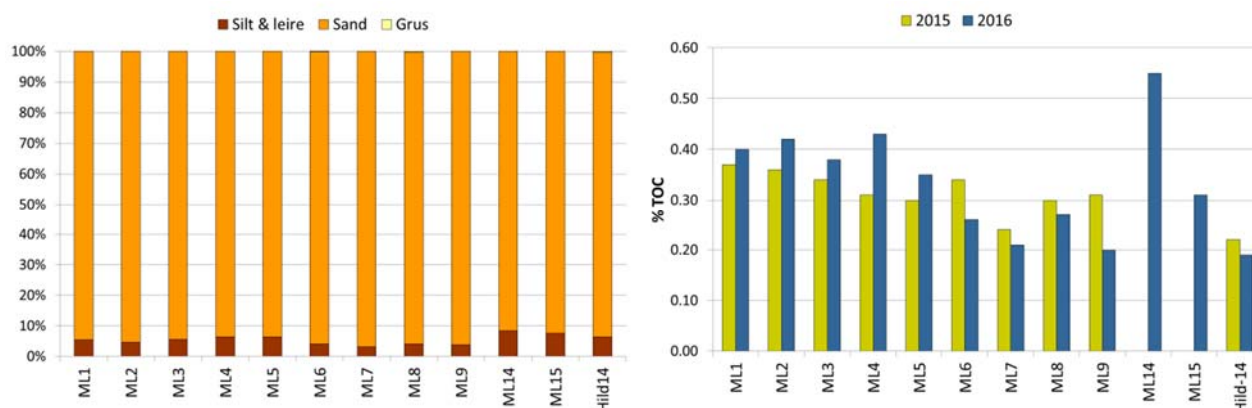
Kornstørrelsesfordeling og innhold av totalt organisk karbon er gitt i Tabell 4.2-1 og Figur 4.2-1. Detaljerte resultater er gitt i Appendiks C.

Sedimentet er klassifisert som fin sand og medium sand, andel sand varierer fra 91,6 til 96,9 %. Høyest andel silt og leire er målt ved ML14 (8,4 %). Andel silt og leire har blitt redusert ved ML1, ML2, ML4 og ML6 sammenliknet med undersøkelsen i 2015, og økt ved ML3. Ved ML1 og ML3 er det vist både i undersøkelsen i 2015 og 2016 at sedimentet ikke er homogent og at det kan være vanskelig å få en representativ prøve. Det er noen endringer fra forrige undersøkelse, men ingen stasjoner inneholder betydelig mer eller mindre silt og leire sammenliknet med referansestasjonen Hild14.

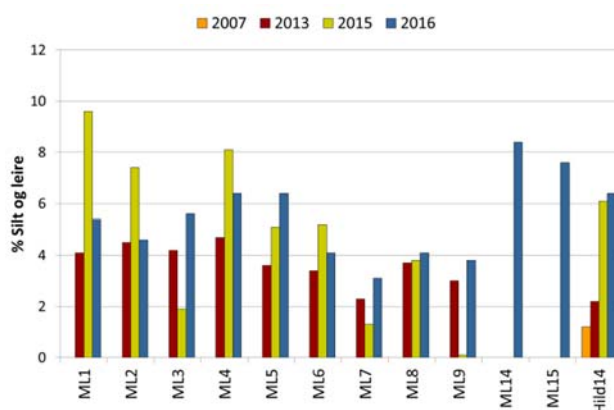
Innholdet av TOC varierer fra 0,19 til 0,55 %. Det er ingen betydelige endringer i TOC-innholdet sammenliknet med forrige undersøkelse. Ved stasjonene lenger enn 250 meter øst og sør for feltcenteret er innholdet av TOC på samme nivå som ved Hild14. Ved den nye stasjonen ML14 er innholdet av TOC og andel finstoff noe høyere enn ved de andre stasjonene og Hild14.

Tabell 4.2-1 Martin Linge, 2016, kornstørrelsesfordeling og totalt organisk karbon (TOC) i % av tørt sediment.

Stasjon	Retning (°)	Avstand (m)	Dyp (m)	TOC (%)	Klassifisering	Silt & leire (%)	Sand (%)	Grus (%)	Median (Φ)
ML1	0	250	117	0,40	Fin sand	5,4	94,6	0,0	2,34
ML2	0	500	117	0,42	Fin sand	4,6	95,4	0,0	2,37
ML3	90	250	116	0,38	Fin sand	5,6	94,4	0,0	2,33
ML4	90	500	117	0,43	Fin sand	6,4	93,6	0,0	2,32
ML5	180	250	118	0,35	Fin sand	6,4	93,6	0,0	2,16
ML6	180	500	116	0,26	Medium sand	4,1	95,8	0,1	1,82
ML7	180	1000	113	0,21	Medium sand	3,1	96,9	0,0	1,73
ML8	270	250	116	0,27	Fin sand	4,1	95,6	0,3	2,12
ML9	270	500	113	0,20	Medium sand	3,8	96,2	0,0	1,83
ML14	90	1000	121	0,55	Fin sand	8,4	91,6	0,0	2,29
ML15	150	1000	120	0,31	Fin sand	7,6	92,4	0,0	2,59
Hild-14	295	2770	106	0,19	Fin sand	6,4	93,4	0,2	2,18
Min.				0,19		3,1	91,6	0,0	1,73
Max.				0,55		8,4	96,9	0,3	2,59



Figur 4.2-1 Martin Linge, 2016, sedimentkarakteristikk (TOC og andel silt og leire). Andel silt og leire, sand og grus for 2016 er vist øverst til venstre. Forts.



Figur 4.2-1 *forts.*

Det skal ikke være forskjell på kaks sluppet ut før og etter juni 2015. Kaksen har vært behandlet på samme måte, og det er ingenting som tilsier nevneverdige forskjeller i partikkelstørrelse. I perioden januar – juni 2016 har det imidlertid vært større mengder vannbasert kaks enn i 2015 (1648 tonn, se Tabell 2.2-1), og denne kan ha en noe annen partikkelfordeling. På stasjonene nærmest senter, og som er mest berørt av utslippet (se neste kapittel), viser resultatene ingen entydig trend. Innholdet av organisk materiale skiller seg marginalt fra 2015-verdiene, og andel finstoff varierer usystematisk.

4.3 Kjemiske analyser

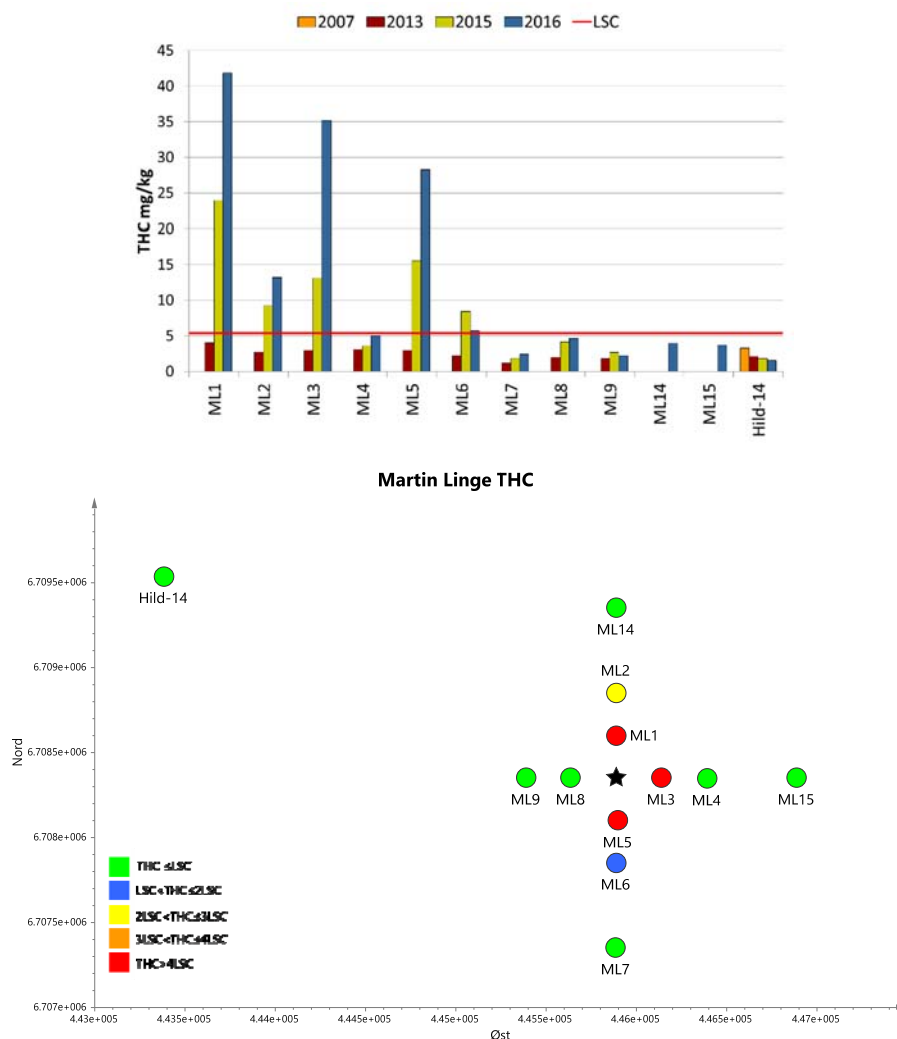
Hydrokarboner

Hydrokarbonresultatene er gitt i Tabell 4.3-1 og Figur 4.3-1. Figur 4.3-1 viser også fordelingen av THC relatert til stasjonsplassering. Detaljerte resultater på grabbnivå er gitt i Appendiks C.

Tabell 4.3-1 *Martin Linge, 2016, gjennomsnittlige konsentrasjoner av hydrokarboner (mg/kg tørt sediment). Verdier > LSC_{10-16 grunnRegIII}¹ er uthevet.*

Stasjon	Retning (°)	Avstand (m)	THC snitt	SD	PAH snitt	SD	NPD snitt	SD
ML1	0	250	42	28				
ML2	0	500	13	1				
ML3	90	250	35	24				
ML4	90	500	5	1				
ML5	180	250	28	19	0,040	0,004	0,05	
ML6	180	500	6	0	0,044	0,017	0,02	
ML7	180	1000	2	1				
ML8	270	250	5	1				
ML9	270	500	2	0				
ML14	90	1000	4	0				
ML15	150	1000	4	0				
Hild-14	295	2770	2	0	0,019	0,006	0,01	
Min.			2		0,019		0,01	
Max.			42		0,044		0,05	
LSC _{10-16 grunnRegIII}			5,4		0,028		0,031	

¹ LSC (Limit of Significant Contamination) fra den regionale undersøkelsen i Region 3 i 2016 er benyttet som sammenligningsgrunnlag.



Figur 4.3-1 Martin Linge 2016. Over: THC-innhold (mg/kg) i toppsedimentet (0 – 1 cm) fra tre parallelle prøver.

Under: Fordeling av THC relatert til stasjonsplassering. Stasjonene er farget etter innhold av THC. Grønne sirkler (●) markerer stasjoner med THC < LSC_{10-16 grunnRegIII}.

THC-konsentrasjonene ved Martin Linge varierer fra 2 til 42 mg/kg. Fem stasjoner har THC-konsentrasjoner over LSC_{10-16 grunnRegIII} (5,4 mg/kg)²: ML1, ML2, ML3, ML5 og ML6. Disse fem stasjonene hadde i 2015 THC-konsentrasjoner over LSC_{07-13 grunnRegIII}, dvs. grenseverdien som ble beregnet i forrige regionale undersøkelse i Region 3 i 2013.

Konsentrasjonene har fortsatt å øke på de nærmeste stasjonene – ML1, ML2, ML3 og ML5. På ML6, 500m sør for senter, har ikke økningen som ble observert i 2015 fortsatt. Nærmeste stasjon vest for senter, ML4, ligger fortsatt under LSC, og hydrokarbonene er ikke spredd i denne retningen.

Konsentrasjonene på de nærmeste stasjonene har altså økt siden undersøkelsen i juni 2015, mens nivåene er uendret ved de øvrige stasjonene. De to nye stasjonene ML14 og ML15 ligger 1000 m unna feltsenteret, og inneholder ikke forhøyede konsentrasjoner av THC. Standardavviket for THC ved ML1, ML3 og ML5 er relativt høyt, noe det også var i fjorårets undersøkelse. Dette tyder på heterogent sediment ved disse stasjonene.

² LSC (Limit of Significant Contamination) fra den regionale undersøkelsen i Region 3 i 2016 er benyttet som sammenligningsgrunnlag.

Undersøkelsen i 2015 ble utført etter 6 måneder med utslipp av olje på varmebehandlet kaks. Det ble sluppet ut ca. 5 tonn olje og 1530 tonn varmebehandlet kaks i denne perioden, dvs. en oljekonsentrasjon på 0,33 % av kaksen.

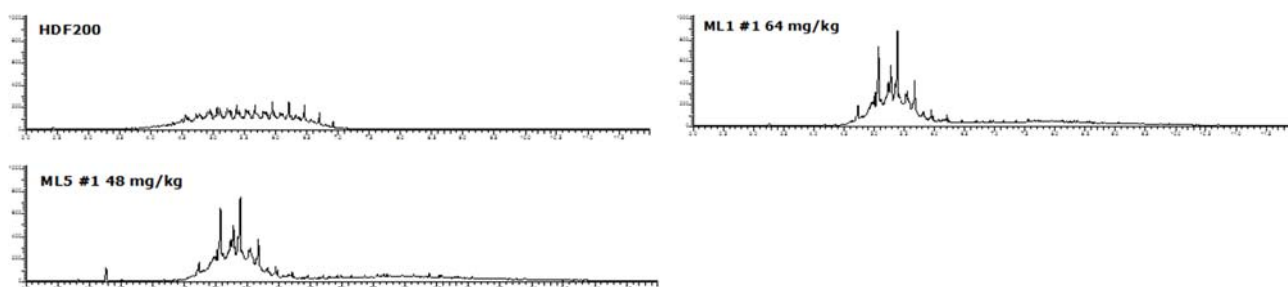
Undersøkelsen i 2016 ble utført ca. 8 måneder etter siste utslipp av varmebehandlet kaks i 2015. Det ble sluppet ut ca. 4 tonn olje og 930 tonn varmebehandlet kaks i denne perioden, dvs. en oljekonsentrasjon på 0,46 % av kaksen.

Mengden av tilførsler til havbunnen er således i samme størrelsesorden i de to periodene, og resultatene (i form av dobling av THC-konsentrasjoner på de nærmeste stasjonene) reflekterer også dette. Det har heller ikke vært noen ytterligere spredning av hydrokarboner.

Det ble sluppet ut ca. 1800 tonn av vannbasert kaks i perioden oktober 2015 til juni 2016, dvs. etter undersøkelsen i 2015. Dersom partikkelstørrelsen i den vannbaserte kaksen skilte seg vesentlig fra den varmebehandlede kaksen skulle dette muligens kunne sees i resultatene fra kornstørrelsesanalysen fra de nærmeste stasjonene (Figur 4.2-1). Det er imidlertid ikke noen sammenheng mellom utvikling i finstoffandelen og THC-konsentrasjonene. Nord for senter har finstoffandelen gått ned mens THC har økt. Øst og sør for senter har både THC og finstoffandel økt.

Alle stasjoner med konsentrasjoner over LSC_{10-16 grunnRegIII} viser det samme kromatografiske mønsteret som vist i Figur 4.3-2 og kromatogrammene er identiske med kromatogrammene fra undersøkelsen i 2015. De lave konsentrasjonene viser kun naturlige bakgrunnsnivåer.

PAH- og NPD-konsentrasjonene på ML5 og ML6 er relativt lave, men noe høyere enn LSC_{10-16 grunnRegIII} (0,028 mg/kg PAH og 0,031 mg/kg NPD).



Figur 4.3-2 Martin Linge 2016, gasskromatogram av boreolje HDF200, samt utvalgte kromatogram for feltet.

Metaller

Gjennomsnittlige metallkonsentrasjoner er gitt i Tabell 4.3-2 og Figur 4.3-4. Fullstendig resultattabell er gitt i Appendiks C. Figur 4.3-3 viser fordelingen av Ba relatert til stasjonsplassering.

Ba-konsentrasjonen ved Martin Linge varierer fra 21 til 1500 mg/kg. Sammenliknet med undersøkelsen i 2015 har det vært en reduksjon av Ba-konsentrasjonene ved de fleste stasjoner. De høyeste verdiene finnes ved ML1, ML3 og ML5 (alle 250 m fra feltsenteret). Det er påvist Ba > LSC_{10-16 grunnRegIII} (108 mg/kg)³ ved 8 stasjoner. Sedimentene ved alle stasjoner inneholder høyere konsentrasjoner av Ba enn ved Hild14.

Det er påvist Cu > LSC_{10-16 grunnRegIII} (1,6 mg/kg) ved seks stasjoner. Disse stasjonene ligger 250-500 m øst, nord og sør for feltsenteret. Ved disse stasjonene har også konsentrasjonen av Cu økt siden forrige undersøkelse. Det er også påvist forhøyede konsentrasjoner av Cr ved flere stasjoner. Dette er flere enn

³ LSC (Limit of Significant Contamination) fra den regionale undersøkelsen i Region 3 i 2016 er benyttet som sammenligningsgrunnlag.

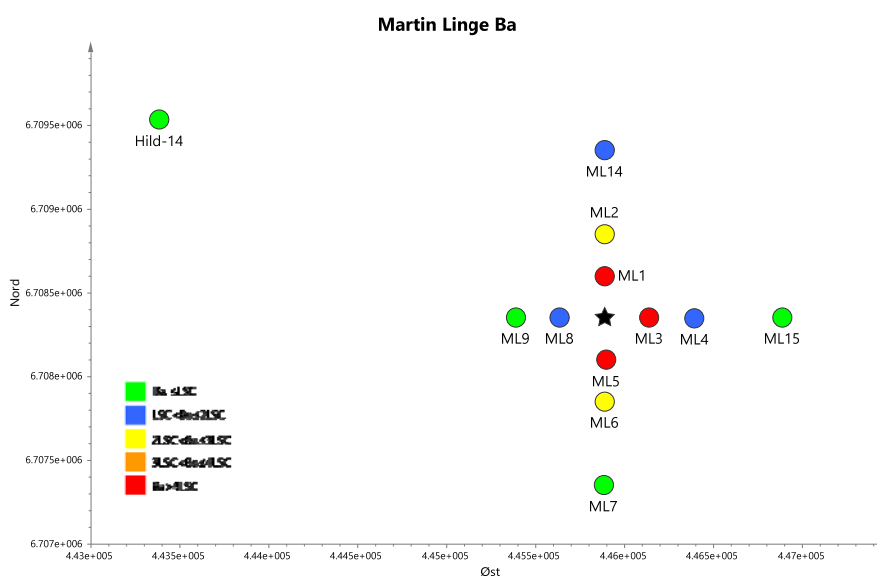
i forrige undersøkelse, noe som skyldes lavere LSC i 2016 enn i 2013, ikke økning i konsentrasjonene. Med unntak av en stasjon er det ikke påvist andre metaller > LSC_{10-16 grunnRegIII}.

Ved ML1, ML3 og ML5 (250 m nord, øst og sør for senter) er det både i 2015 og 2016 påvist høye konsentrasjoner av flere metaller, spesielt Ba. Konsentrasjonen av THC er også forhøyet ved disse stasjonene. Sedimentkarakteriseringen på disse stasjonene er den samme som resten av feltet.

Stasjonene ML14 og ML15 ligger 1000 m fra senter. Her er andelen silt og leire noe høyere enn ved resten av feltet (men lik som ved Hild14), og innholdet av TOC er også noe høyere. Det er påvist Ba over LSC ved ML14, men utover dette er det ikke funnet forhøyet konsentrasjoner av andre metaller eller THC ved disse stasjonene.

Tabell 4.3-2 Martin Linge 2016, gjennomsnittlige metallkonsentrasjoner (mg/kg tørt sediment). Verdier > LSC_{10-16 grunnRegIII} er uthevet.

Stasjon		Ba		Cd		Cr		Cu		Hg		Pb		Ti		Zn	
(°/m)		snitt	SD	snitt	SD	Snitt	SD	snitt	SD	snitt	SD	snitt	SD	snitt	SD	snitt	SD
ML1	0/250	1505	400	<0,01	-	6,9	0,6	3,6	0,5	0,01	0,00	2,8	0,2	69	2	7	1
ML2	0/500	219	62	<0,01	-	6,0	0,2	2,6	0,3	0,01	0,00	2,7	0,2	72	9	6	1
ML3	90/250	720	444	<0,01	-	5,9	0,7	2,8	0,0	0,01	0,00	2,6	0,3	74	9	8	1
ML4	90/500	132	37	<0,01	-	4,7	0,2	1,8	1,2	0,01	0,00	2,4	0,1	74	12	6	1
ML5	180/250	980	267	<0,01	-	7,3	0,0	3,9	0,6	0,01	0,00	2,6	0,0	59	4	7	1
ML6	180/500	271	172	<0,01	-	6,5	0,2	1,9	1,0	0,01	0,00	2,4	0,2	56	1	5	0
ML7	180/1000	44	26	<0,01	-	5,7	0,2	0,8	0,1	<0,01	-	2,8	0,1	63	5	4	1
ML8	270/250	123	27	<0,01	-	6,8	0,2	1,1	0,1	0,01	0,00	3,1	0,1	70	3	5	1
ML9	270/500	67	25	<0,01	-	6,7	0,1	0,9	0,0	<0,01	-	2,8	0,1	60	2	4	0
ML14	90/1000	183	61	<0,01	-	6,7	0,2	1,6	0,1	0,01	0,00	3,0	0,2	69	5	7	1
ML15	150/1000	96	53	<0,01	-	5,8	0,2	1,3	0,1	0,01	0,00	2,7	0,2	61	8	6	0
Hild-14	295/2770	21	4	<0,01	-	6,6	0,1	0,8	0,0	<0,01	-	3,4	0,3	76	10	4	0
Min.		21		<0,01		4,7		0,8		<0,01		2,4		56		4	
Max.		1505		<0,01		7,3		3,9		0,01		3,4		76		8	
LSC _{10-16 grunnRegIII}		108		0,028		6,4		1,6		0,097		4,5		-		7,5	



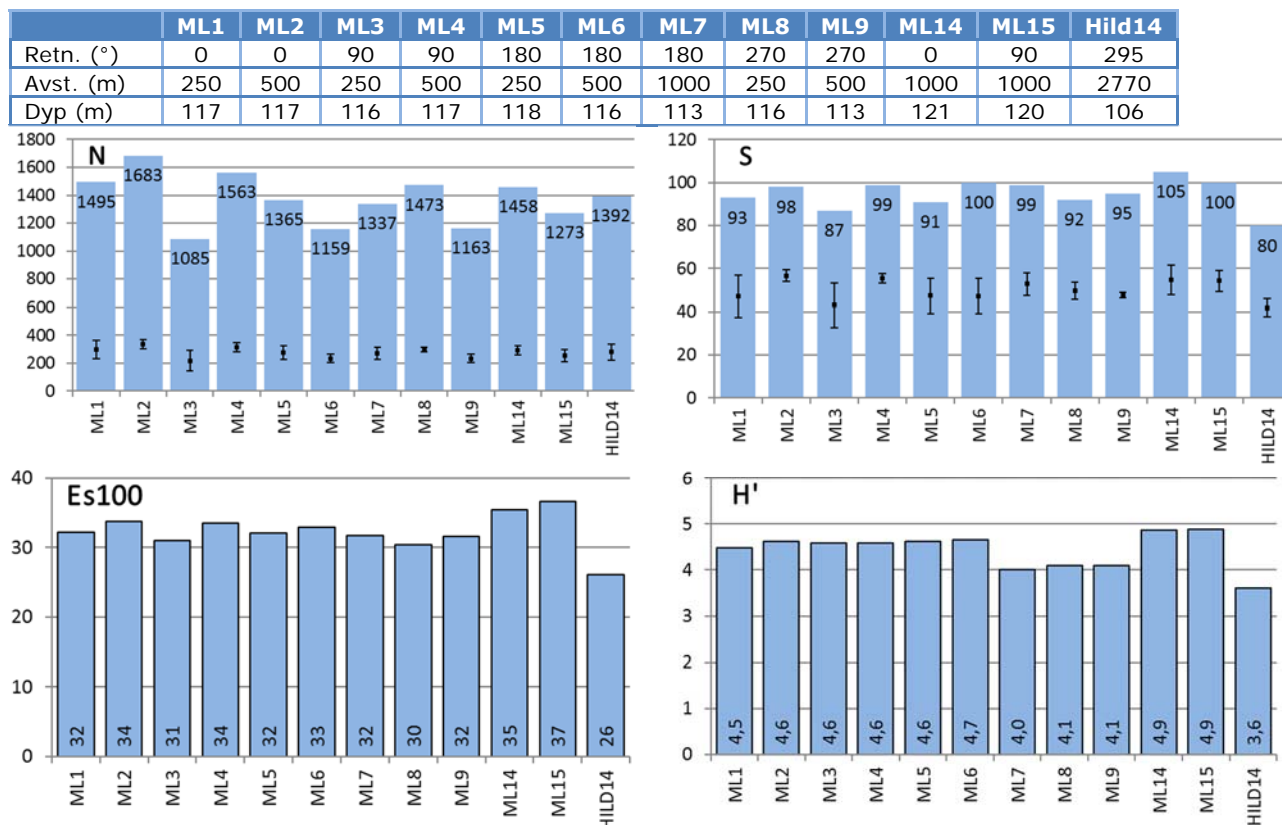
Figur 4.3-3 Martin Linge 2016. Fordeling av Ba relatert til stasjonsplassering. Stasjonene er farget etter innhold av Ba. Grønne sirkler (●) markerer stasjoner med Ba < LSC_{10-16 grunnRegIII}.



Figur 4.3-4 Martin Linge 2016, metallinnhold (mg/kg) i toppsedimentet (0-1 cm) fra tre parallelle prøver. Cd er utelatt da alle resultater er under deteksjonsgrensen.

4.4 Biologiske analyser

Det ble registrert 1578 juvenile individer (hovedsakelig Ophiuroidea) på Martin Linge. Disse er ikke inkludert i tabeller og figurer. Figur 4.4-1 viser antall individer og arter på de enkelte stasjonene samt gjennomsnitt per grabb per stasjon. Figuren viser også diversitetsindeksene H' og ES_{100} , som er relativt høye på alle stasjonene, og høyere enn på referansestasjonen Hild14.



Figur 4.4-1 Univariate indekser på Martin Linge 2016. Antall individer (N) og arter (S) per 0,5m² inkl. snittverdi og standard avvik mellom grabbprøver (0,1m²), ES₁₀₀ og Shannon-Wieners diversitetsindeks H' . Avstand, retning, og dyp per stasjon. Juvenile ikke inkludert.

De ti mest tallrike artene på hver stasjon er vist i Tabell 4.4-1. Disse utgjør 61-78 % av totalt antall individer per stasjon. Børstemarken *Spiophanes bombyx* dominerer faunaen på alle stasjonene og utgjør 24-48 % av totalt individantall per stasjon. På referansestasjonen HILD14 utgjør *S. bombyx* 48 % av totalt individantall. Koralldyret *Cerianthus lloydii* og børstemarkene *Paramphinome jeffreysii* og *Galathowenia oculata* er også vanlige på Martin Linge. Den opportunistiske børstemarken *Chaetozone* er blant de ti mest dominante artene på to av stasjonene nærmest feltsenter (ML1 og ML3) med 36-40 individer.

Tabell 4.4-1 De ti mest vanlige artene for hver stasjon (eks. juvenile), Martin Linge, 2016. Betegnelsene "spp." og "indet." er ikke tatt med i tabellen.

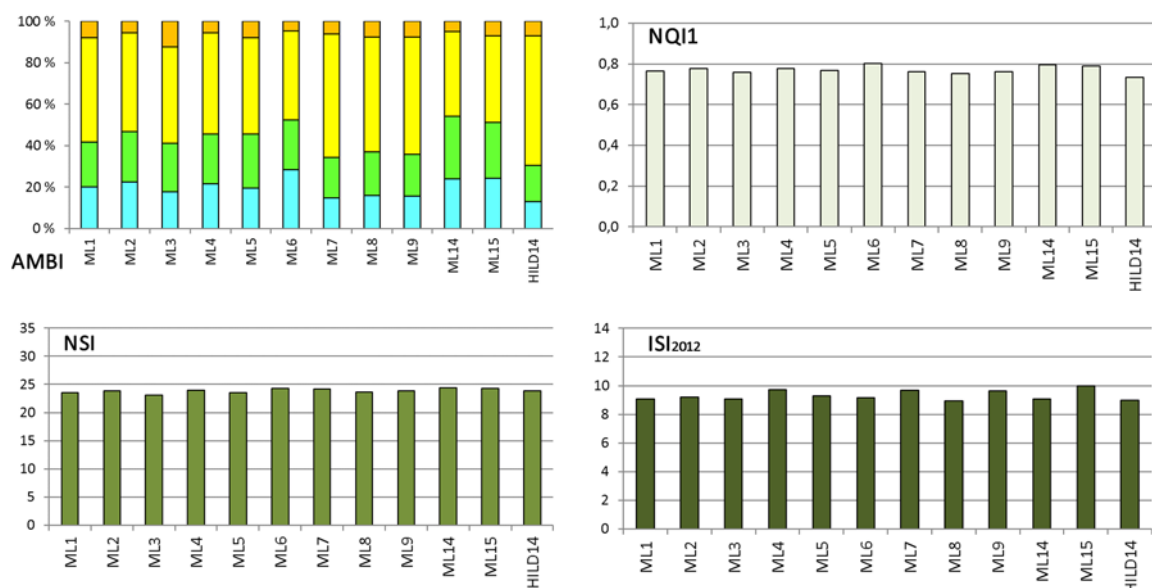
ML1	Antall	%	Kum%
Spiophanes bombyx	481	32	32
Cerianthus lloydii	99	7	39
Paramphinome jeffreysii	90	6	45
Galathowenia oculata	66	4	49
Owenia fusiformis	65	4	54
Ampharete falcata	56	4	57
Thyasira equalis	48	3	61
Chaetozone setosa complex	40	3	63
Phoronis	34	2	65
Aricidea (Aricidea) wassi	33	2	68
Totalt antall taxa 93			
ML3	Antall	%	Kum%
Spiophanes bombyx	259	24	24
Galathowenia oculata	128	12	36
Cerianthus lloydii	65	6	42
Owenia fusiformis	61	6	47
Thyasira equalis	44	4	51
Paramphinome jeffreysii	41	4	55
Dipolydora socialis	40	4	59
Prionospio cirrifera	39	4	62
Chaetozone setosa complex	36	3	66
Amphiura filiformis	32	3	69
Totalt antall taxa 87			
ML5	Antall	%	Kum%
Spiophanes bombyx	351	26	26
Galathowenia oculata	129	9	35
Cerianthus lloydii	99	7	42
Paramphinome jeffreysii	75	5	48
Owenia fusiformis	64	5	53
Phoronis	59	4	57
Ampharete falcata	45	3	60
Amphictene auricoma	45	3	64
Aricidea (Aricidea) wassi	31	2	66
Thyasira equalis	31	2	68
Totalt antall taxa 91			
ML7	Antall	%	Kum%
Spiophanes bombyx	610	46	46
Cerianthus lloydii	61	5	50
Aonides paucibranchiata	58	4	55
Paramphinome jeffreysii	50	4	58
Lanice conchilega	44	3	62
Owenia fusiformis	26	2	64
Phoronis	25	2	65
Galathowenia oculata	25	2	67
Dipolydora socialis	25	2	69
Echinocyamus pusillus	22	2	71
Totalt antall taxa 99			
ML2	Antall	%	Kum%
Spiophanes bombyx	509	30	30
Cerianthus lloydii	115	7	37
Galathowenia oculata	103	6	43
Ampharete falcata	80	5	48
Owenia fusiformis	66	4	52
Thyasira equalis	57	3	55
Paramphinome jeffreysii	55	3	59
Amphictene auricoma	46	3	61
Phoronis	42	2	64
Aricidea (Aricidea) wassi	42	2	66
Totalt antall taxa 98			
ML4	Antall	%	Kum%
Spiophanes bombyx	484	31	31
Galathowenia oculata	104	7	38
Cerianthus lloydii	91	6	43
Paramphinome jeffreysii	78	5	48
Owenia fusiformis	65	4	53
Ampharete falcata	58	4	56
Amphictene auricoma	57	4	60
Amphiura filiformis	45	3	63
Phoronis	35	2	65
Aricidea (Aricidea) wassi	35	2	67
Totalt antall taxa 99			
ML6	Antall	%	Kum%
Spiophanes bombyx	303	26	26
Photis longicaudata	86	7	34
Paramphinome jeffreysii	85	7	41
Amphictene auricoma	81	7	48
Owenia fusiformis	67	6	54
Galathowenia oculata	58	5	59
Cerianthus lloydii	45	4	63
Goniada maculata	28	2	65
Ampharete falcata	27	2	67
Glycera lapidum	22	2	69
Totalt antall taxa 100			
ML8	Antall	%	Kum%
Spiophanes bombyx	604	41	41
Cerianthus lloydii	103	7	48
Owenia fusiformis	77	5	53
Galathowenia oculata	67	5	58
Paramphinome jeffreysii	60	4	62
Dipolydora socialis	38	3	64
Goniada maculata	29	2	66
Ampharete falcata	28	2	68
Prionospio cirrifera	26	2	70
Phoronis	25	2	72
Totalt antall taxa 92			

Forts.

Tabell 4.4-1 forts.

ML9	Antall	%	Kum%	ML14	Antall	%	Kum%
Spiophanes bombyx	493	42	42	Spiophanes bombyx	346	24	24
Paramphinome jeffreysii	91	8	50	Ampharete falcata	130	9	33
Cerianthus lloydii	59	5	55	Galathowenia oculata	110	8	40
Aonides paucibranchiata	34	3	58	Owenia fusiformis	71	5	45
Owenia fusiformis	33	3	61	Cerianthus lloydii	70	5	50
Prionospio cirrifera	28	2	63	Phoronis	48	3	53
Goniada maculata	21	2	65	Thyasira equalis	44	3	56
Echinocyamus pusillus	20	2	67	Amphiura filiformis	43	3	59
Edwardsiidae	19	2	69	Aricidea (Aricidea) wassi	40	3	62
Dipolydora socialis	17	1	70	Paramphinome jeffreysii	39	3	65
Totalt antall taxa 95				Totalt antall taxa 105			
ML15	Antall	%	Kum%	HILD14	Antall	%	Kum%
Spiophanes bombyx	334	26	26	Spiophanes bombyx	672	48	48
Galathowenia oculata	108	8	35	Cerianthus lloydii	78	6	54
Ampharete falcata	57	4	39	Paramphinome jeffreysii	69	5	59
Amphiura filiformis	48	4	43	Aonides paucibranchiata	61	4	63
Owenia fusiformis	45	4	47	Owenia fusiformis	57	4	67
Cerianthus lloydii	39	3	50	Dipolydora socialis	57	4	71
Thyasira obsoleta	39	3	53	Edwardsiidae	29	2	73
Thyasira equalis	38	3	56	Glycera lapidum	24	2	75
Amphictene auricoma	36	3	58	Aricidea (Aricidea) wassi	23	2	77
Harpinia antennaria	35	3	61	Scoloplos (Scoloplos) armiger	20	1	78
Totalt antall taxa 100				Totalt antall taxa 80			

Figur 4.4-2 viser fordeling av individene i økologiske grupper samt tre ulike sensitivitetsindekser. Dette er indekser som benyttes for tilstandsklassifisering i norske kystnære farvann/fjorder i henhold til vanndirektivet. Det er imidlertid ikke etablert grenseverdier/tilstandsklasser for områder til havs (offshore), og disse indeksene er diskutert på generell basis.



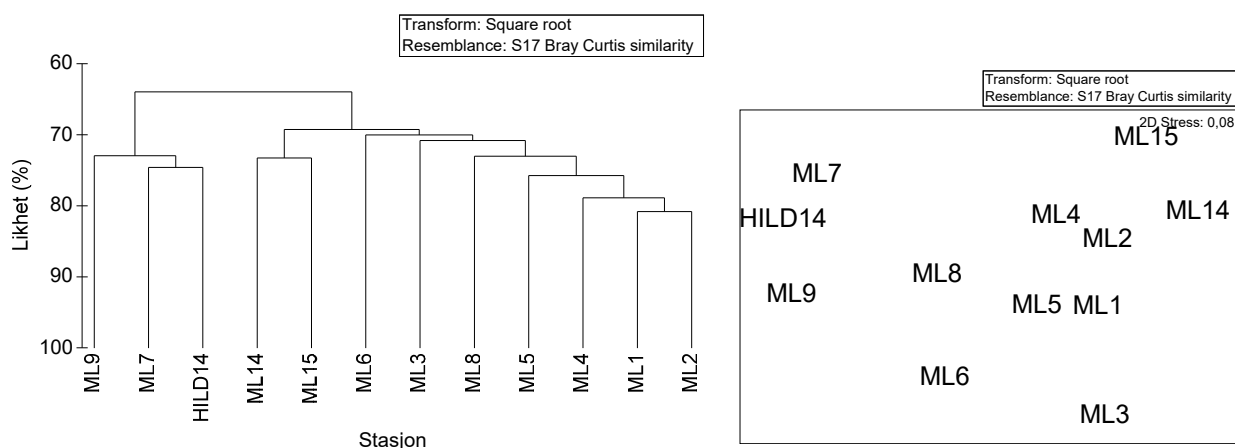
Figur 4.4-2 Prosentvis fordeling av individer i ulike økologiske AMBI-grupper: ● Gr. I - sensitive arter; ● Gr. II - nøytrale arter; ● Gr. III - tolerante arter; ● Gr. IV - opportunistiske arter; ● Gr. V - forurensningsindikerende arter. Sensitivitetsindeksene NQI1, NSI og ISI per stasjon (0,5m²), Martin Linge 2016.

Andel individer som i følge AMBI er sensitive eller nøytrale (gr. I og II i Figur 4.4-2) er høy (35-50 %) på de fleste stasjonene. Andel opportunistiske (gr. IV) arter er relativt lav på alle stasjoner, med høyest andel på ML3 (13 %). Det er ingen forurensningsindikerende (gr. V) arter på feltet. Sensitivitetsindeksene NQ11, NSI og ISI er høye, og i følge Veileder 02:2013 typiske verdier for norske kystområder.

Stasjonene ML1, ML3 og ML5 har betydelig høyere innhold av hydrokarboner enn de øvrige stasjonene. Med unntak av en så vidt høyere andel av opportunistiske arter på ML3 viser de univariate analysene imidlertid ingen tegn til at bunnfaunaen på disse stasjonene er påvirket av dette.

Likhetsanalyser

Likhetsanalyser av faunasammensetningen på de ulike stasjoner ble utført basert på likhetsmatriser utregnet fra forskjeller i antall av ulike arter på de enkelte stasjonene (likhetsindekser). Klassifikasjon og ordinasjon er gjennomført på stasjonsnivå. Analysene er utført etter at juvenile individer er fjernet fra datasettet. Resultatene er vist i Figur 4.4-3.



Figur 4.4-3 Clusterdiagram og MDS-plot, Martin Linge 2016.

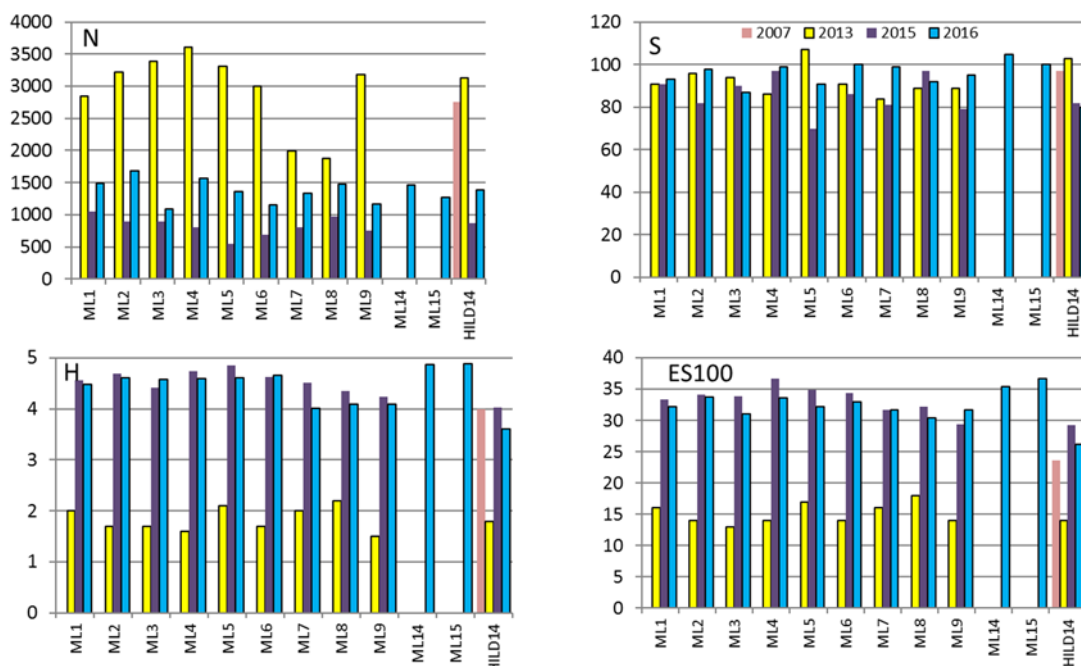
Dendrogrammet er svært likt det som fremkom i 2015, der ML7, ML9 og Hild14 utgjorde en egen gruppe. De tre stasjonene ligger noen få meter grunnere enn de øvrige, men sedimentkarakteristikken skiller seg ikke ut. Den geografiske plasseringen tilsier heller ikke at disse tre stasjonene skal danne en separat gruppe.

I både 2015 og 2016 er det et noe høyere antall *S. bombyx* og *Aonides paucibrachiata* på ML7, ML9 og Hild14 som skiller de to gruppene. Dessuten har *G. oculata* kommet inn på feltet, mest på de øvrige feltstasjonene. Denne arten er kjent for å tidvis forekomme i høye antall i ulike områder i Nordsjøen. I 2015 var den ikke blant topp ti på noen av stasjonene. «Oppblomstringer» av denne arten har imidlertid ingen sammenheng med påvirkning eller forstyrrelse.

De multivariate analysene viser ikke noe spesielt på stasjonene med høyest innhold av THC. En Bioenv-analyse som kombinerer de abiotiske faktorene (miljøvariablene) med faunasammensetningen avdekker ingen korrelasjon mellom fauna og innhold av THC (eller barium). Best korrelasjon (0,78) ble oppnådd for sand og sink. Disse faktorene varierer i svært liten grad, og den relativt høye korrelasjonskoeffisienten tillegges ingen vekt.

Sammenligning med tidligere undersøkelser

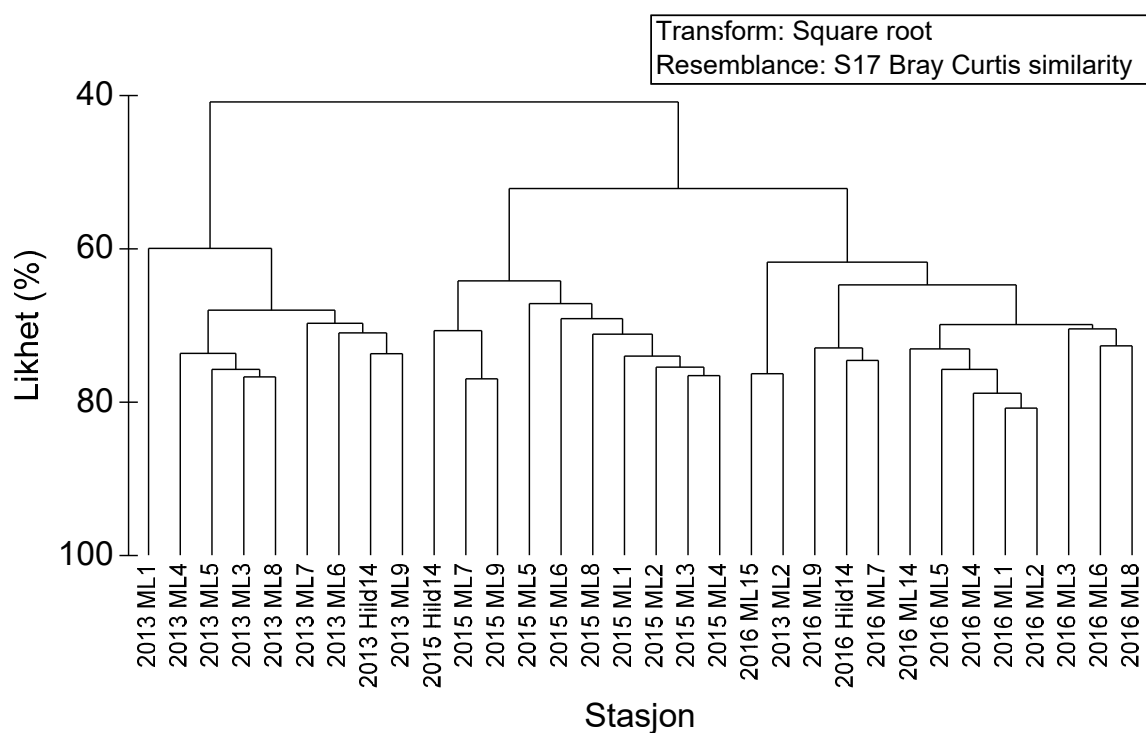
Figur 4.4-4 viser antall individer og arter samt diversitetsindeksene på Martin Linge i perioden 2013, 2015 og 2016. Etter en betydelig reduksjon i antall individer fra 2013 til 2015 er antallet på vei opp igjen i 2016. Økningen er noe mindre på ML3 enn de øvrige stasjonene. Også antall arter er noe høyere på de fleste stasjonene. Resultatet blir diversitetsindekser på samme nivå eller noe lavere enn ved forrige undersøkelse, men betraktelig høyere enn i 2013. Utviklingen på referansestasjonen Hild14 er den samme som for feltstasjonene.



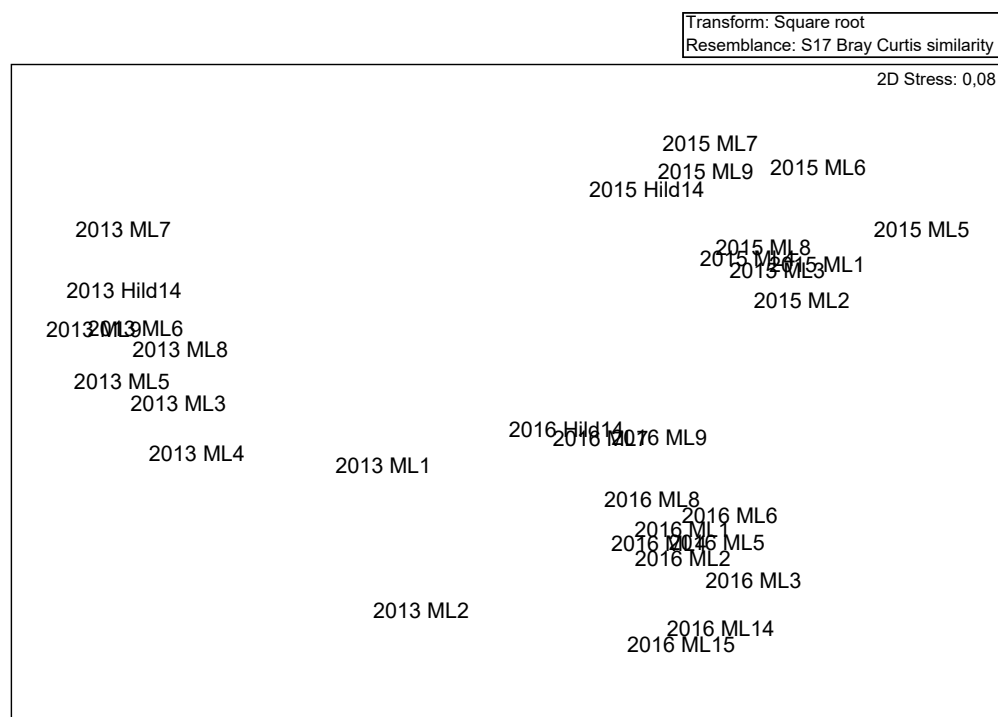
Figur 4.4-4 Antall individer og arter samt diversitetsindeksene H' og ES_{100} på Martin Linge, 2007-2016.

Clusteret i Figur 4.4-5 og Figur 4.4-6 viser at faunaen deler seg inn etter år, noe som ofte er tilfelle i slike undersøkelser. Unntaket er ML2 fra 2013 (kun 4 replikater) som legger seg blant 2016-stasjonene. Hild14, ML7 og ML9 danner en gruppe i alle tre årene. Hovedforskjellene mellom gruppene er et vesentlig høyere antall av *S. bombyx* og noe flere *Lanice conchilega* i 2013 (det var et langt høyere antall individer dette året). I 2015 var det *O. fusiformis* som dominerte sammen med *S. bombyx*, mens *S. bombyx* er tilbake i høyere antall i 2016.

Dette er vanlige arter som fra de regionale undersøkelsene i Nordsjøen alle er kjent for å dominere faunaen i ulike områder til ulike tider, og utviklingen indikerer ingen forverring av forholdene for bunndyrsamfunnet.



Figur 4.4-5 Dendrogram som viser faunalikhet over årene 2013, 2015 og 2016 (ML1 og ML2 fra 2013 bestod av kun 4 replikater).



Figur 4.4-6 MDS-plot for 2013, 2015 og 2016, Martin Linge.

4.5 Konklusjoner og anbefalinger

THC-konsentrasjonene ved Martin Linge varierer fra 2 til 42 mg/kg. Konsentrasjonene har fortsatt å øke på 250m-stasjonene mot nord, øst og sør siden forrige undersøkelse i 2015. På disse stasjonene er det store variasjoner, dvs. heterogent sediment.

Økningen som ble observert 500m sør for senter i 2015 har ikke fortsatt. Som i 2015 er det ikke registrert forhøyede konsentrasjoner av hydrokarboner i vestlig retning.

Utslipet av olje på varmebehandlet kaks var i samme størrelsesorden (4-5 tonn) i forkant av undersøkelsen i 2015 og i 2016. Økningen i THC-konsentrasjonene er også sammenlignbare i 2015 og 2016, dvs. en markert økning av THC-innholdet i 2015 og deretter en dobling fra 2015 til 2016 på de nærmeste stasjonene. Det har ikke vært noen ytterligere spredning av hydrokarboner fra 2015 till 2016.

Det har også vært sluppet ut vannbasert kaks, antakelig med en annen partikkelstørrelse, i relativt store mengder etter at varmebehandlet kaks ble sluppet ut. Resultatene avdekker imidlertid ingen åpenbar sammenheng mellom utviklingen i THC-konsentrasjoner og endringer i andel finstoff på de nærmeste stasjonene.

Med unntak av stasjonen 250m nord for senter har innholdet av Ba minket på samtlige stasjoner siden forrige undersøkelse, men er fremdeles høyere enn grenseverdien for kontaminering på de fleste stasjonene. Av de andre undersøkte metallene skiller kobber seg ut ved en økning på alle de nærmeste stasjonene fra 2015. Utviklingen i Cu-innholdet har fulgt et lignende mønster som THC.

Hverken de uni- eller multivariate fauna-analysene indikerer tydelige forstyrrelser i faunasamfunnet. På bakgrunn av forhøyede THC-verdier på stasjonene nærmest senter samt en så vidt høyere andel opportunistiske arter på en av 250m-stasjonene, bør utviklingen i faunasamfunnet følges opp i fremtidig overvåking. Det er imidlertid ingen tydelige tegn på forstyrrelse i 2016. Ingen av de dominerende artene er indikatorer på forurensning, og de observerte endringene over tid betraktes som naturlig variasjon.

Neste overvåkingsundersøkelse på Martin Linge bør inkluderes i den regionale overvåkingen i 2019. Resultatene fra den regionale undersøkelsen i 2013 viser at R3-17 antakelig er den stasjonen som har mest til felles med sedimentene på Martin Linge.

5 REFERANSER

- ACS Committee on Environmental Improvements (1980). *Guidelines for Data Acquisition and Data Quality Evaluation in Environmental Chemistry*. Anal.chem. 52 (1980) p. 2242-2249.
- Borja, A., Franco, J., Pe´rez, V., 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.
- Bray, J.R. & J.T. Curtis 1957. *An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin*. Ecol. Monogr. 27: 325-349.
- Buchanan, J.B. (1984), *Sediment analysis*. In "Methods for the study of marine benthos". Editors: Holme, N.A., and A.D. McIntyre. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, pp. 41-65.
- Faksness, L. G., 1998. *Miljøundersøkelser Vøring og Barentshavet 1998: Kornstørrelsesfordeling*. Sintef rapport STF66 F98151.
- Heggøy, E., Botnen, H., Johansen, P. O., Vassenden, G. 2008. *Grunnlagsundersøkelser ved Gjøa, Vega, Troll O2, Hild, Tune sør og Ragnarrock i 2007*. Unifob AS.
- Jackson, J. E., 1991. *A user's guide to principal components*, Wiley, 1991, pp 45-47.
- Kingston, P.F., 1987. *Field effects of platform discharges on benthic macrofauna*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, 316, 545-565.
- Kruskal, J.B. & M. Wish. 1978. *Multidimensional scaling*. Sage Publishers. California. 93s.
- Lance, G. N. & W.T. Williams, 1967: *A general theory of classificatory sorting strategies. II*. Clustering systems. -Computer Jour. 10: 271-277.
- Mannvik, H.P., Wassbotten, I.H., Cochrane, S., Andrade, H. 2014. *Miljøundersøkelse i Region III, 2013*. Akvaplan-niva rapp. Nr. 6244-03.
- Rygg B, Norling K. 2013. *Norwegian Sensitivity Index (NSI) for marine macroinvertebrates and an update of Indicator Species Index (ISI)*. NIVA report 6475-2013. 46 s.
- Shannon, C.E. & W.W. Weaver 1963: *The mathematical theory of communities*. University
- Sanders, H. 1968. *Marine Benthic Diversity: A Comparative Study*. The American Naturalist 102 (925): 243-283
- Shannon, C.E. & W.W. Weaver 1963: *The mathematical theory of communities*. University of Illinois Press. Urbana, Illinois. 117 pp.



About DNV GL

Driven by our purpose of safeguarding life, property and the environment, DNV GL enables organizations to advance the safety and sustainability of their business. We provide classification and technical assurance along with software and independent expert advisory services to the maritime, oil & gas and energy industries. We also provide certification services to customers across a wide range of industries. Operating in more than 100 countries, our professionals are dedicated to helping our customers make the world safer, smarter and greener.